

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

---

*Посвящается 80-летию академика РАН, доктора экономических наук,  
профессора, почетного гражданина Санкт-Петербурга,  
президента Метрологической академии РФ В. В. Окрепилова*

VI Международный форум  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник статей  
под редакцией академика РАН  
В. В. Окрепилова



Санкт-Петербург  
2024

УДК 006.91  
ББК 30.10  
М54

М54 Метрологическое обеспечение инновационных технологий: VI Междунар. форум: сб. ст. / под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2024. – 550 с.  
ISBN 978-5-8088-1909-2

В сборнике представлены статьи, отражающие спектр научных работ в области метрологии, стандартизации и управления качеством. Их авторы – представители ведущих НИИ, производственных компаний, вузов и образовательных центров России, Европы и Азии.

Форум проводится при поддержке:



#### Программный комитет

- |  |   |
|--|---|
| Сопредседатель программного комитета             | президент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Дистанционное инженерное образование», академик Метрологической академии РФ, доктор технических наук, профессор <i>А. А. Оводенко</i>  |
| Сопредседатель программного комитета             | заведующий кафедрой метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, президент Метрологической академии РФ, доктор экономических наук, профессор, академик РАН <i>В. В. Окрепилов</i> |
| Заместитель сопредседателя программного комитета | генеральный директор ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», вице-президент Метрологической академии РФ <i>А. Н. Пронин</i>  |

#### Оргкомитет

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| Председатель оргкомитета | доктор экономических наук, профессор <i>Ю. А. Антохина</i>   |
| Члены оргкомитета        | доктор технических наук, доцент <i>Е. А. Фролова</i><br>кандидат технических наук, доцент <i>К. В. Епифанцев</i> |

ISBN 978-5-8088-1909-2

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024

## ДОРОГИЕ КОЛЛЕГИ!

С активным развитием промышленности, экономики, Индустрии 4.0 и теперь уже Индустрии 5.0 повышается интерес к метрологическому обеспечению инновационных технологий. Сегодня техническое образование крайне важно в индустриализации и развитии технологий будущего. Индустрия ставит перед нами новые задачи, новые вызовы, требующие решений в вопросах развития промышленности, технологий, приборостроения и науки в целом. Технологии, которые казались неприменимыми 5, 10, 15 лет назад, сегодня активно используются в нашей жизни. Поэтому важно оставаться конкурентоспособным как в науке, так и в наукоемких производствах и экономике страны в целом.

Целью VI Международного форума «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» является обмен опытом в области применения инноваций в современных технологиях метрологического обеспечения, современных методах математического моделирования и интеллектуальных системах в высокотехнологичном производстве, как в теоретическом, так и в прикладном аспекте, включая метрологическое обеспечение промышленных объектов, образовательные технологии.

Основные направления работы форума позволили максимально широко охватить весь спектр научной проблематики – работа форума в 2024 году проводится по 8 секциям, среди которых – «Экономика метрологии. Цифровая трансформация в метрологии», «Новые эталоны», «Информационно-измерительные системы в приборостроении и радиоэлектронике», «Стандартизация и управление качеством в машиностроении и приборостроении» и др. Всего в рамках работы форума было заслушано свыше 200 докладов, которые позволили ведущим ученым страны обменяться опытом и обсудить злободневные проблемы развития метрологического обеспечения для устойчивого повышения конкурентоспособности наукоемких производств.

Несмотря на сложную ситуацию в стране и мире, успешный опыт нашего университета в организации дистанционного формата мероприятий позволил собрать зарубежных ученых, расширив тем самым географию мероприятия. Участие в Международном форуме приняли более 250 ученых, научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и студентов образовательных организаций, научно-исследовательских институтов, производственных предприятий как России, так и иностранных государств.

Надеюсь, что проведение VI Международного форума «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» в ГУАП привлечет к плодотворной совместной деятельности ученых, специалистов и молодых исследователей, а также представителей предприятий и организаций, работающих в сфере метрологического обеспечения производств и смежных направлений науки и техники.

Особенно хочется отметить, что VI Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» посвящен 80-летию сопредседателя программного комитета форума, президента Метрологической академии, академика РАН, доктора экономических наук, профессора Владимира Валентиновича Окрепилова.

Желаем Вам, Владимир Валентинович, крепкого здоровья, вдохновения, новых интересных проектов и открытий! Пусть Вам и Вашим близким во всем сопутствуют успех, счастье и благополучие!

Всем, кто принимает очное участие в VI Международном форуме «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» или участвует в нем в дистанционном формате, я хочу пожелать плодотворной работы, интересного взаимодействия с единомышленниками, новых научных открытий и удовольствия от общения с коллегами!



**Ю. А. Антохина,**  
*председатель оргкомитета форума,*  
*ректор Санкт-Петербургского государственного университета*  
*аэрокосмического приборостроения, доктор экономических наук,*  
*профессор*

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!



Приветствую всех участников и гостей VI Международного форума «Метрологическое обеспечение инновационных технологий».

Наш форум проводится уже в шестой раз, с каждым годом собирая всё более представительную аудиторию. С полным правом можно утверждать, что форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» стал одним из важнейших событий в сфере метрологии, местом, где на высоком научном уровне происходит заинтересованный диалог ученых, преподавателей вузов и специалистов разных отраслей о важнейших проблемах отечественной и мировой метрологии. Большая заслуга в том, что форум стал традиционным и приобрел подлинный авторитет, принадлежит Санкт-Петербургскому государственному университету аэрокосмического приборостроения, выступающему основным организатором форума.

Особую благодарность хочется выразить ректору университета Юлии Анатольевне Анто-

хиной, президенту ГУАП Анатолию Аркадьевичу Оводенко, руководящим большой организационной подготовкой форума, а также поблагодарить всех, кто своим трудом содействует из года в год его успешной работе.

Поддержку форуму «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» постоянно оказывает Метрологическая академия, что является частью многостороннего сотрудничества академии и университета. Ключевой и в названии, и в содержании выступлений на форуме является ориентация на развитие инновационных технологий и повышение роли в этом метрологии. Инновации стремительно меняют наш мир, ускоряют внедрение всё более совершенных технологий в научные исследования, в сферу образования, в производственные процессы, всё настойчивее проявляют себя в повседневной жизни людей. Но чем сложнее и совершеннее технологии и приборы, которые служат нам на рабочих местах и в быту, тем выше ответственность метрологии, призванной обеспечивать их точность, безотказность и безопасность использования.

В наше сложное время метрология становится в один ряд с важнейшими направлениями науки и практики, обеспечивающими экономический прогресс и обороноспособность страны, ее возможности всестороннего развития в условиях внешних ограничений и санкций. Российская метрология таким требованиям соответствует в полной мере. Об этом свидетельствует тот факт, что по количеству позиций, включенных в базу данных Международного бюро мер и весов и характеризующих признанные мировым метрологическим сообществом измерительные и калибровочные возможности, Российская Федерация вышла на одно из ведущих мест в мире.

В июне 2022 года на очередном съезде Метрологической академии, прошедшем в Санкт-Петербурге, обсуждалась необходимость разработки нового важнейшего документа, призванного законодательно регулировать на период до 2035 года развитие системы единства измерений в стране, составной частью которой является метрология, поскольку положения действующей Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года в основном выполнены. Работа над новым документом уже близка к завершению, в ней активно себя проявили общественные метрологические организации, в первую очередь – наша академия.

Нынешний форум мы также рассматриваем как трибуну для обмена мнениями по самым насущным вопросам развития метрологии. Все ценные предложения будут включены в итоговые документы форума, использованы в работе над новой Стратегией.

Уверен, что очень широкий и представительный состав участников форума обеспечит интересную и содержательную дискуссию, ее высокий научный уровень. А материалы докладов и выступлений в секциях найдут свое эффективное применение на практике, будут способствовать повышению роли метрологии в сфере развития инноваций.

**В. В. Окрепилов,**  
*сопредседатель программного комитета форума,*  
*президент Метрологической академии,*  
*академик РАН, доктор экономических наук, профессор*

# ЭКОНОМИКА МЕТРОЛОГИИ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В МЕТРОЛОГИИ

УДК 004.01

*Д. К. Аутова\**

Студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ

В статье описана необходимость автоматизации оформления бланков с результатами процессов поверки и калибровки, путем внедрения специального программного обеспечения. Также описана ценность аспектов, их актуальность и влияние изменений на рабочие процессы организаций, занимающихся метрологическим обеспечением.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, поверка средств измерений, калибровка средств измерений, автоматизация процессов, документация.

*D. K. Autova\**

Student of the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## AUTOMATION OF THE REPORTING DOCUMENTATION PROCESS FOR THE RESULTS OF VERIFICATION AND CALIBRATION

The article describes the need for automation in the documentation process for verification and calibration results, through the implementation of specialized software. It also discusses the value of these aspects, their relevance, and the impact of changes on the workflow of organizations involved in metrological support.

**Keywords:** metrological support, verification of measuring instruments, calibration of measuring instruments, process automation, documentation.

Реализация программного обеспечения для оформления документации при проведении поверки и калибровки, внедрение в процесс оформления документов цифровых технологий, несет за собой ряд преимуществ и выгод не только для организаций, но и для специалистов, занимающихся поверкой и калибровкой средств измерений. Ниже приведены высокоценные аспекты реализации данной системы.

1. Экономические преимущества: Автоматизация процесса оформления свидетельств, сертификатов и извещений о непригодности, существенно сокращает необходимое для выполнения этих операций время и оптимизирует рабочие процессы каждого отдельно взятого сотрудника. Заполнение и обработка соответствующей документации вручную, является трудоемким процессом. Автоматизация данных операций позволяет значительно повысить эффективность рабочего процесса, освободить сотрудников от рутинных операций и ускорить выдачу готовых документов. Оперативное получение готовой документации особенно важно при работе с крупными объемами поверок и калибровок.

2. Повышение точности и надежности: Ручное заполнение документов часто оставляет место для человеческих ошибок, таких как опечатки, пропуски и неправильное заполнение полей. Правильно настроенное программное обеспечение, в свою очередь, позволяет автоматически заполнять необходимую информацию, автоматически заполнять некоторые поля, проверять соответствие требованиям и контролировать правильность оформления документов. В данном контексте, создание программного обеспечения для формирования документации существенно снижает возможность возникновения ошибок и значительно повышает точность и надежность рабочих процессов.

3. Соблюдение нормативных требований: При проведении поверки и калибровки средств измерений и оборудования, необходимо соблюдать определенные стандарты и нормативы. Программное обеспечение может быть настроено таким образом, чтобы гарантировать соблюдение всех требований, указанных в нормативных документах. Это упрощает процесс управления качеством и обеспечивает соблюдение установленных стандартов.

4. Организация хранения и управление данными: Правильно настроенное программное обеспечение, дает возможность сохранять результаты поверки и калибровки в электронном формате, обеспечивая их сохранность и целостность. Это оказывает положительный эффект на организацию процессов хранения, поиска документов, а также предоставляет возможность легкого доступа ко всей необходимой информации, упрощая при этом процедуру выдачи дубликатов, по запросу заказчика.

5. Улучшение аналитики и отчетности: В программное обеспечение можно включить генерацию разнообразных отчетов и аналитических данных на основе собранных результатов проверок и калибровок. Это дает возможность проводить детальный анализ, контролировать выполнение плана сотрудниками, выявлять тренды и проблемные участки, а также принимать обоснованные решения по оптимизации рабочих процессов и улучшению качества предоставляемых услуг.

Таким образом автоматизация процессов оформления документации по результатам поверки и калибровки, облегчает выполнение задач по управлению документацией, дает возможность централизованно хранить информацию, обеспечивает быстрый доступ к данным и повышает оперативность работы. Все это является залогом повышения эффективности рабочих процессов организаций в целом и каждого специалиста в, занимающихся поверкой и калибровкой средств измерений или технического оборудования.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества».
2. Артемьев, Б.Г., Лукашов, Ю.Е. Справочное пособие для специалистов метрологических служб / Б. Г. Артемьев, Ю. Е. Лукашов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 648 с.
3. Лифиц, И. М. Стандартизация, метрология и сертификация / И.М. Лифиц. – У.: ЮРАЙТ, 2005. – 348 с.
4. Рогожин, М. Ю. Документационное обеспечение управления: учебно-практическое пособие / М. Ю. Рогожин. – М.: ТК Велби, Изд. Проспект, 2017. – 384 с.

*Н. А. Вихарев\**

аспирант, инженер ОАСУ

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ: СУЩНОСТЬ, ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ

В статье рассматривается роль и значение горно-металлургических предприятий в экономической системе. Основное внимание уделяется анализу ключевых задач, которые включают добычу руд, их обогащение, металлургическую переработку, а также обеспечение экологической безопасности и техническое обновление. Статья предлагает углубленный взгляд на важность этих предприятий для обеспечения устойчивого развития экономики, а также на вызовы, с которыми они сталкиваются в современном мире, включая экологические и технологические аспекты. Ключевые слова: Горно-металлургические предприятия, добыча полезных ископаемых, металлургическая переработка, экономическое развитие, экологическая безопасность, технологическое обновление

*N. A. Vikharev\**

postgraduate student, engineer of the OASU

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## MINING AND METALLURGICAL ENTERPRISES: ESSENCE, TASKS AND FUNCTIONS

The article examines the role and importance of mining and metallurgical enterprises in the economic system. The main focus is on the analysis of key tasks, which include ore extraction, enrichment, metallurgical processing, as well as ensuring environmental safety and technical renewal. The article offers an in-depth look at the importance of these enterprises for ensuring sustainable economic development, as well as the challenges they face in the modern world, including environmental and technological aspects.

Keywords: mining and metallurgical enterprises, mining, metallurgical processing, economic development, environmental safety, technological renewal.

Горно-металлургическая промышленность является одной из ключевых сфер экономики многих стран. Эта отрасль включает в себя добычу полезных ископаемых, а также их последующую переработку с целью получения металла. Горно-металлургические предприятия играют важную роль в экономическом развитии, создании инфраструктуры и промышленном производстве.

Горно-металлургические предприятия – это комплексы, которые занимаются добычей, обогащением и переработкой минерального сырья для получения металла. Эти предприятия могут быть как горнодобывающими, так и металлургическими. Горнодобывающая часть включает в себя добычу руды, а металлургическая – ее плавку и производство металла. Продукция этих предприятий используется во многих отраслях, включая строительство, автомобилестроение, судостроение и машиностроение.

К основным задачам горно-металлургических предприятий относятся:

Добыча полезных ископаемых: Добыча руд и минералов, необходимых для производства металлов.

Обогащение руды: Удаление ненужных компонентов из руд и повышение ее качества.

Металлургическая переработка: Превращение обогащенной руды в чистый металл или сплав.

Обеспечение экологической безопасности: Минимизация воздействия производственных процессов на окружающую среду.

Техническое обновление и автоматизация процессов: Внедрение новых технологий для повышения эффективности и безопасности производства.

Функции горно-металлургических предприятий

Горно-металлургические предприятия выполняют ряд важных функций:

Производственная функция: Производство металлов и сплавов, которые являются основой для многих отраслей промышленности.

Экономическая функция: Создание рабочих мест и способствование экономическому росту регионов и страны в целом.

Экологическая функция: Рациональное использование природных ресурсов и минимизация воздействия на окружающую среду.

Инновационная функция: Разработка и внедрение новых технологий в процессе добычи и переработки.

Горно-металлургические предприятия представляют собой сложные и многогранные системы, играющие ключевую роль в экономическом и промышленном развитии стран. Они выполняют не только производственные, но и экологические, экономические, инновационные и социальные функции. Эти предприятия стимулируют развитие связанных отраслей, вносят значительный вклад в государственный бюджет и социальное благополучие. В то же время, они сталкиваются с серьезными вызовами, связанными с экологическими нормами, необходимостью технологического обновления и повышением эффективности производства. Успешное решение этих задач определяет не только успех отдельных предприятий, но и благосостояние экономики в целом.

### Библиографический список

1. Пищалькина, И. Ю. Разработка референтной модели современного горно-металлургического предприятия / И. Ю. Пищалькина // Организатор производства. – 2021. – Т. 29, № 4. – С. 25–34. – DOI 10.36622/VSTU.2021.99.44.003. – EDN XXQFKR.

2. Pishchalkina, I. Application of self-organizing maps for risk assessment of mining and metallurgical enterprises / I. Pishchalkina, E. Tereshko, S. Suloeva // Sustainable Development and Engineering Economics. – 2023. – No. 1(7). – P. 28–44. – DOI 10.48554/SDEE.2023.1.2. – EDN OTMTNR.

***В. В. Кабатов\****

Старший научный сотрудник

***В. Н. Прокопишин\****

Начальник лаборатории

\*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр»  
Министерства Обороны Российской Федерации

## КВАНТОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ

Рассмотрены особенности перспективного раздела метрологии, опирающегося на возможности квантовой физики, для решения задач разработки новых эталонов и прецизионных средств измерений. Отмечены некоторые факторы, способствующие постановке новых измерительных задач квантовой метрологии.

**Ключевые слова:** квантовая метрология, фундаментальные физические константы.

***V. V. Kabatov\****

Senior Researcher

***V. N. Prokopishin\****

Head of the laboratory

\*Federal State Budgetary Institution «Metrology Scientific Head Center» Russian Federation Ministry of Defense

## QUANTUM METROLOGY – PROMISING DIRECTION FOR THE DEVELOPMENT OF DOMESTIC METROLOGY

The features of a promising branch of metrology, based on the capabilities to solve the problems of developing new standards and precision measuring instruments. Some factors contributing to the formulation of new measurement problems of quantum metrology are noted.

**Keywords:** quantum metrology, fundamental physical constants.

Квантовая метрология – раздел метрологии, опирающийся на возможности квантовой физики и квантовой механики (квантовых эффектах) и базируется на фундаментальном концепте квантовой запутанности – явлении, при котором частицы становятся взаимосвязанными, причем состояние одной непосредственно влияет на другую независимо от расстояния между ними. Эти уникальные свойства позволяют создавать новые средства измерений (СИ) – квантовые сенсоры (датчики), чрезвычайно чувствительные к измеряемым параметрам, что приводит к улучшению точности измерений [1].

Квантовые технологии базируются на взаимодействии электромагнитного излучения с атомными частицами. Для явлений микромира, которые можно обнаружить на макроуровне выступают, известные с высокой точностью, фундаментальные физические константы (ФФК) (скорость света  $c$ , постоянная Планка  $h$ , гравитационная постоянная  $g$  и др.) или точно рассчитанные коэффициенты [2].

Уникальность квантовых технологий обусловлена:

- стабильностью физических явлений мало или вообще не зависящих от внешних факторов, лежащих в их основе;
- обеспечением предельно возможной чувствительности СИ равной порогу чувствительности, не достижимому на основе применения классических методов;
- значения характеристик квантовых датчиков фиксируются законами природы вне всякой связи с человеком и его деятельностью;
- квантовые сенсоры не будут нуждаться в градуировке и периодической поверке, то есть понятие интервала между поверками постепенно уходит в прошлое.

Отметим некоторые факторы, способствующие постановке новых измерительных задач квантовой метрологии:

- повышение общего уровня измерительной техники и информационных технологий;
- рост номенклатуры измеряемых величин и числа выполняемых функций;
- требование кардинального снижения расходов на метрологическое обеспечение СИ;
- требование создания российской электронно-компонентной базы (сверхбыстродействующие электронные компоненты);
- требование развития передовых технологий при изготовлении СИ;
- требования к измерениям с ограниченным числом видов погрешностей без применения сложных методов коррекции [3];
- требования к увеличению производительности измерительных операций;

- требования к уменьшению зависимости от изменений внешних факторов;
- требования к уменьшению влияния человеческого фактора при взрывном росте конечных потребителей.

На сегодняшний день, на базе квантовых технологий, уже созданы естественные эталоны единиц длины, времени и частоты, электрического напряжения, магнитной индукции, вторичный эталон температуры. Проводятся исследования по созданию эталонов единиц массы, электрического сопротивления, силы тока [4].

В перспективе следуя фундаментальному концепту квантовой спутанности и руководствуясь постулатами современной квантовой физики, в идеальном случае, можно просто наблюдать квантовые шумы объекта и таким способом воссоздавать образ объекта и его состояния в целом.

Таким образом, квантовая метрология с заявленной беспрецедентной точностью измерений представляет собой значительный научно-технический прорыв в области измерений, который обеспечит Российской Федерации технологическую независимость в соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации [5].

#### **Библиографический список**

1. Гуртовцев А. Л. Метрология цифровых измерений. // М.: Журнал «Современные технологии автоматизации (СТА)». – 2008, – № 1. – С.66–74.
2. Ройтман М. С. Квантовая метрология. // М.: Журнал «Датчики и системы». – 2005, – № 6.. – С. 50–61.
3. Кабатов В. В., Прокопишин В. Н. К вопросу цифровой трансформации отечественной метрологии. // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: V Междунар. форум: сб. ст. / под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 11–12.
4. Боков М. М., Гришаев М. Е., Мищенко М. В. Применение методов квантовой метрологии в процессе эксплуатации современных образцов вооружения и военной техники. // М.: Журнал «Фундаментальные исследования», – 2015, – № 4. – С. 28–31.
5. Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации // М.: ООО "НПП "Гарант-Сервис", 2022.

*М. Д. Козлов\**

ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАСЧЕТ ПОЛНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

В работе рассмотрен расчет полного магнитного поля генератора постоянного тока серии ПН-45. Моделирование проводилось в программе для проведения инженерного анализа и двумерного моделирования методом конечных элементов Elcut.

**Ключевые слова:** генератор постоянного тока, магнитное поле, магнитостатика, магнитная индукция.

*М. Д. Kozlov\**

Assistant

\*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## CALCULATION OF THE TOTAL MAGNETIC FIELD OF A DC GENERATOR

The paper considers the calculation of the total magnetic field of a DC generator PN-45 series. The simulation was carried out in a program for engineering analysis and two-dimensional modeling using the Elcut finite element method.

**Keywords:** DC motor, magnetic field, magnetostatics, magnetic induction.

В современной электроэнергетике используется преимущественно переменный ток, но достаточно широко используется и постоянный. Это объясняется теми достоинствами постоянного тока, которые сделали его незаменимым при решении многих практических задач. Генераторы постоянного тока являются источниками постоянного тока, в которых осуществляется преобразование механической энергии в электрическую. Генераторы постоянного тока находят применение в тех отраслях промышленности, где по условиям производства необходимо, или является предпочтительным, постоянный ток (на предприятиях металлургической и электролизной промышленности, на транспорте, на судах и др.).

При проектировании электрических машин, в частности электрических машин постоянного тока, возникает необходимость определения параметров магнитной цепи на этапе расчета основных размеров и обмоточных данных машины. Эта задача решается путем расчета магнитной цепи машины традиционно принято разбивать магнитную цепь на участки с постоянной индукцией по всей длине участка.

Было смоделировано полное поле генератора постоянного тока серии ПН-45. С помощью программного пакета AutoCAD была построена геометрическая модель машины из существующих размеров машины и экспортирована в ELCUT [1-3]. Получившаяся модель представлена на рис. 1.

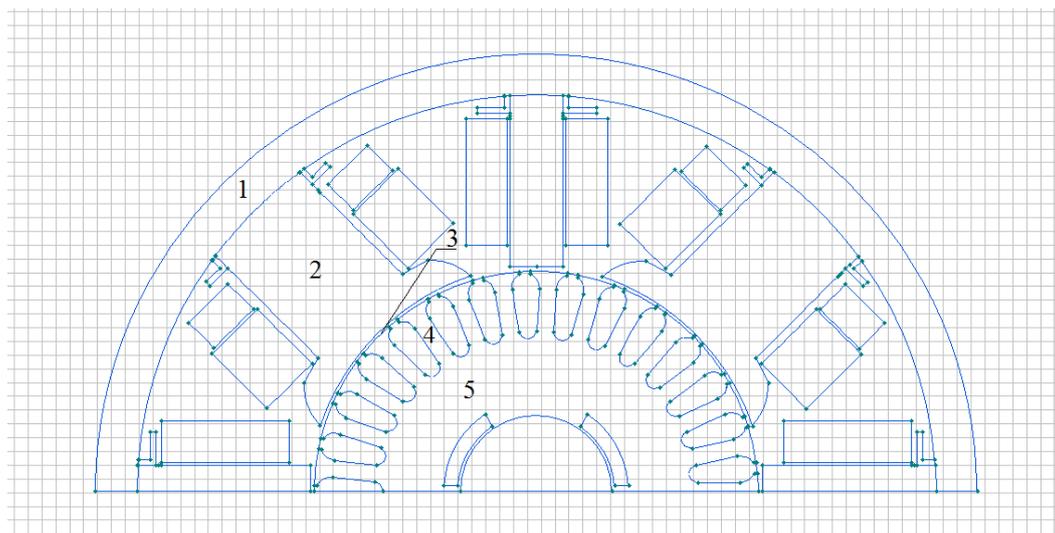


Рис. 1. Геометрическая модель генератора (цифрами показаны участки магнитной цепи):  
1 – Статор, 2 – Главный полюс, 3 – Воздушный зазор, 4 – Зубец якоря, 5 – Спинка якоря

В результате решения задачи магнитостатики была получена картина полного магнитного поля генератора постоянного тока (рис. 2).

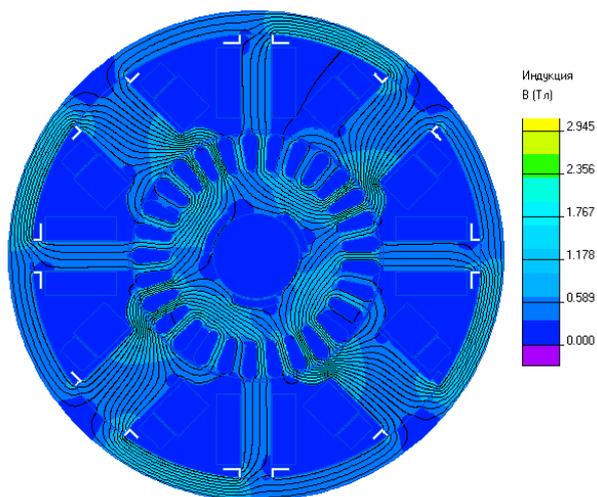


Рис. 2. Картина полного магнитного поля

Распределение магнитной индукции в станине, в главном полюсе, в воздушном зазоре под полюсом, в зубце якоря и в спинке якоря представлены соответственно на рис. 3–7.

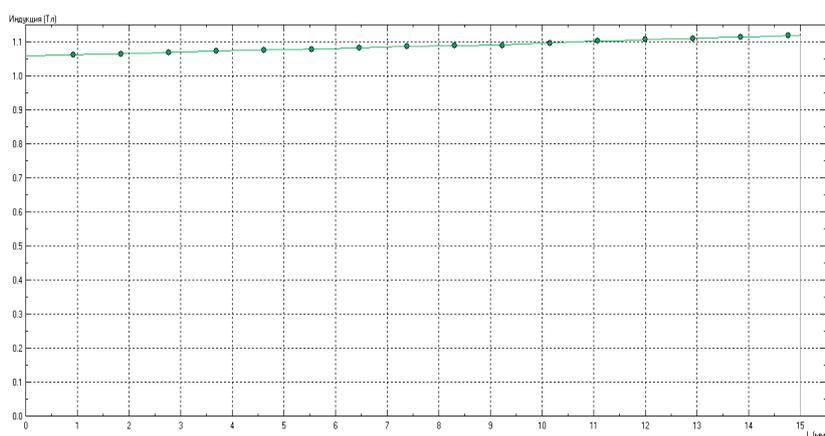


Рис. 3. Распределение магнитной индукции в станине

На рисунке 3 видно, что магнитная индукция в станине распределена равномерно. Среднее значение индукции  $V_{cp} = 1,089$  Тл.

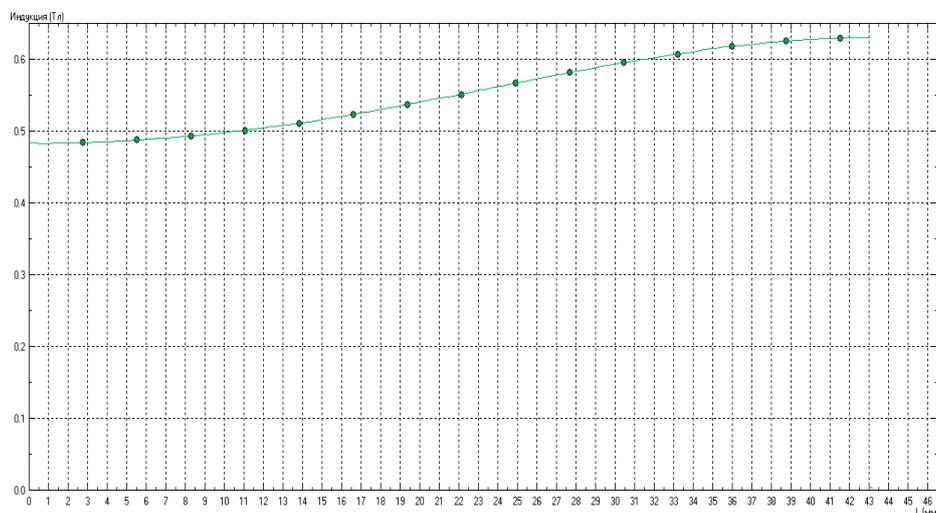


Рис. 4. Распределение магнитной индукции в главном полюсе

На рис. 4 видно, что магнитная индукция в главном полюсе распределена неравномерно. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 0,548$  Тл.

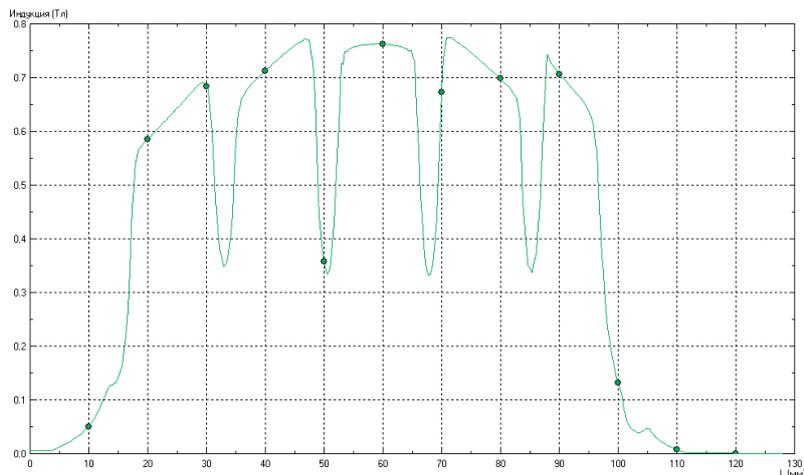


Рис. 5. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре под полюсом

На рис. 5 видно, что значение индукции  $B_{\delta} = 0,732$  Тл. Просадки поля вызваны наличием зубцов на якоре.

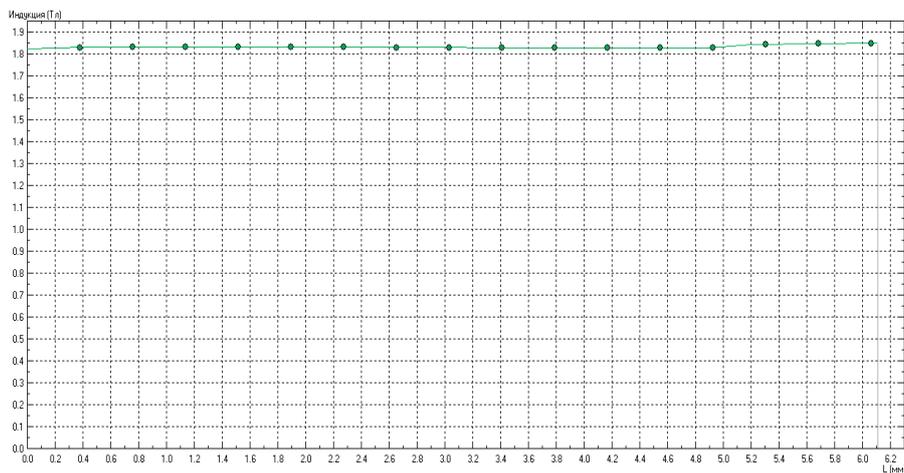


Рис. 6. Распределение магнитной индукции в зубце якоря

По рисунку 6 видно, что магнитная индукция в зубце распределена равномерно. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 1,829$  Тл.

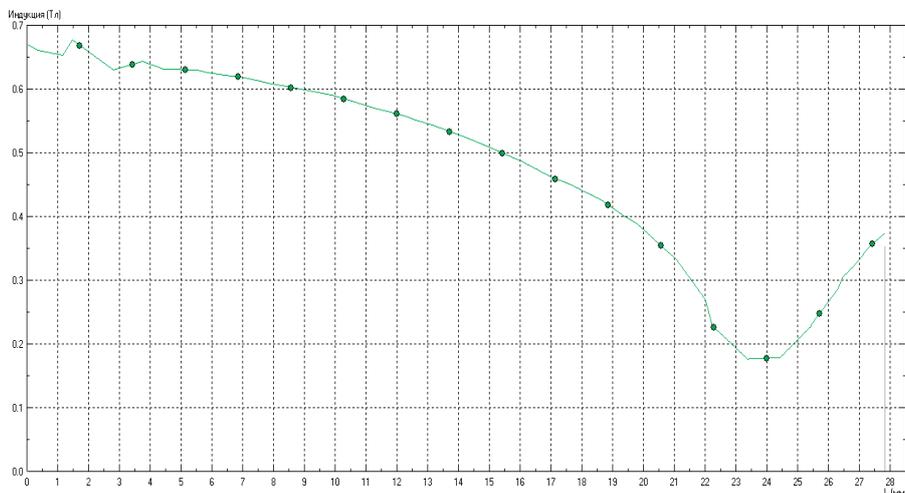


Рис. 7. Распределение магнитной индукции в спинке якоря

Также как и при моделировании поля холостого хода явная нелинейность графика обусловлена наличием вентиляционных каналов, вследствие чего при приближении к ним индукция увеличивается из-за вытеснения магнитных линий из канала. Так же по графику видно, что с приближением к валу генератора, индукция стремится к нулю. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 0,502$  Тл.

#### **Библиографический список**

1. *Сысун В. И., Олещук О.В., Борисков П.П.* С 956 Электротехника и Электроника. Ч.II: Учебное пособие / ПетрГУ. Петрозаводск, 2008. 113 с.
2. [Электронный ресурс]. URL:<https://elcut.ru/> (дата посещения 14.01.2024).
3. Электрические машины [Текст] : [Учебник для электротехн. и энергет. вузов и фак.] : В 3 ч. - 2-е изд., перераб. – Москва; Ленинград: Госэнергоиздат, 1956-1968. – 3 т.; 26 см. Ч. 1: Введение. Ч. 1: Трансформаторы. – 1956. – 224 с.

*М. Д. Козлов\**

ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ХОЛОСТОГО ХОДА ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

В работе рассмотрен расчет магнитного поля холостого хода генератора постоянного тока ПН-45. Моделирование проводилось в программе для проведения инженерного анализа и двумерного моделирования методом конечных элементов Elcut.

**Ключевые слова:** генератор постоянного тока, магнитное поле, магнитостатика, магнитная индукция.

*М. Д. Козлов\**

Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## CALCULATION OF THE NO-LOAD MAGNETIC FIELD OF A DC GENERATOR

The paper considers the calculation of the magnetic field of the idling of a DC generator PN-45 series. The simulation was carried out in a program for engineering analysis and two-dimensional modeling using the Elcut finite element method.

**Keywords:** DC motor, magnetic field, magnetostatics, magnetic induction.

В последнее время в связи с развитием полупроводниковой техники для получения постоянного тока часто применяются выпрямительные установки, но несмотря на это генераторы постоянного тока продолжают находить широкое применение.

Генераторы постоянного тока выпускаются мощностью от нескольких киловатт до 10 000 кВт. Генератор постоянного тока является востребованным, применение возрастает, так как его мощность, в отличие от генератора переменного тока, больше при одинаковых масса-габаритных показателях. При этом генераторы постоянного тока отличаются высокой надежностью.

В ходе проведения проектировании генератора постоянного тока необходимо получить параметры магнитной цепи на стадии расчета основных размеров. Это возможно в следствии выполнения расчета магнитной цепи. Зачастую магнитную цепь электрической машины разбивают на несколько участков для проведения моделирования [1-3].

В ходе работы было смоделировано поле холостого хода генератора постоянного тока.

В программе AutoCAD была создана геометрическая модель генератора постоянного тока серии ПН-45 с учетом реальных размеров и экспортирована в программный пакет ELCUT. Получившаяся модель представлена на рис. 1.

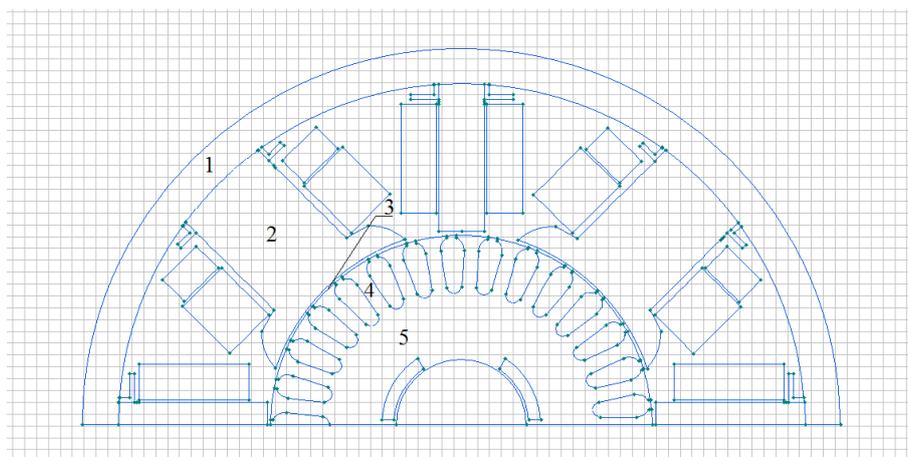


Рис. 1. Геометрическая модель генератора ПН-45 (цифрами показаны участки магнитной цепи):  
1 – Статор, 2 – Главный полюс, 3 – Воздушный зазор, 4 – Зубец якоря, 5 – Спинка якоря

В результате решения задачи магнитостатики была получена картина магнитного поля при работе машины в режиме холостого хода (рис. 2).

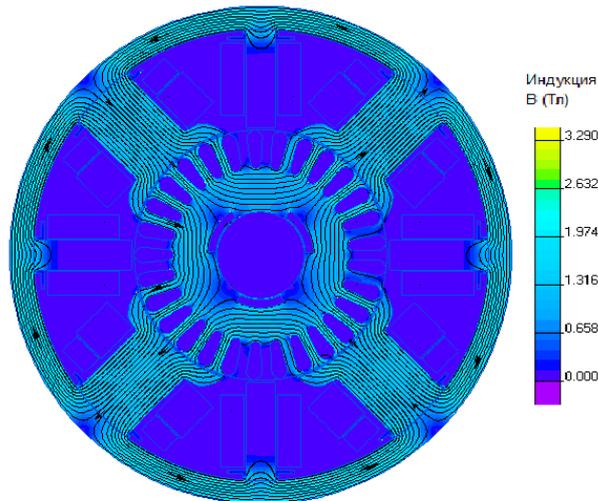


Рис. 2. Картина поля в режиме холостого хода

При помощи выделения контура на каждом участке цепи получается картина распределения индукции в этих участках.

Распределение магнитной индукции в станине, в главном полюсе, в воздушном зазоре под полюсом, в зубце якоря и в спинке якоря представлены соответственно на рис. 3–7.

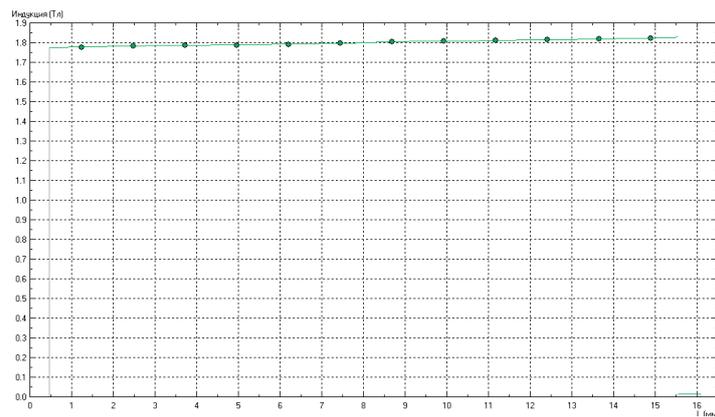


Рис. 3. Распределение магнитной индукции в станине

На рисунке 3 видно, что магнитная индукция в станине распределена равномерно. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 1,799$  Тл.

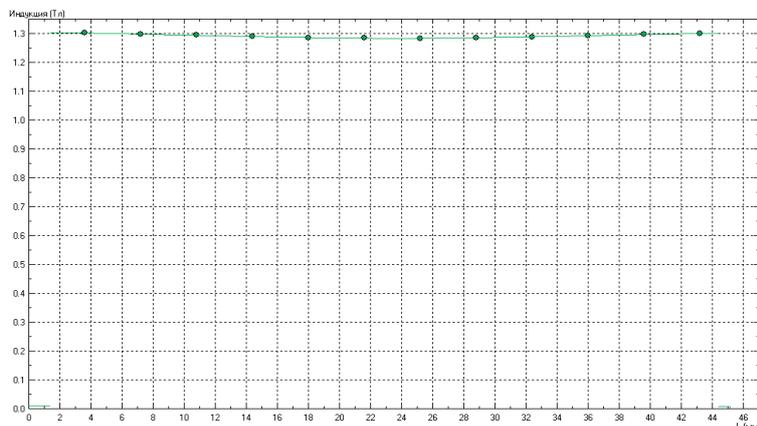


Рис. 4. Распределение магнитной индукции в главном полюсе

На рисунке 4 видно, что магнитная индукция в главном полюсе распределена равномерно. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 1,293$  Тл.

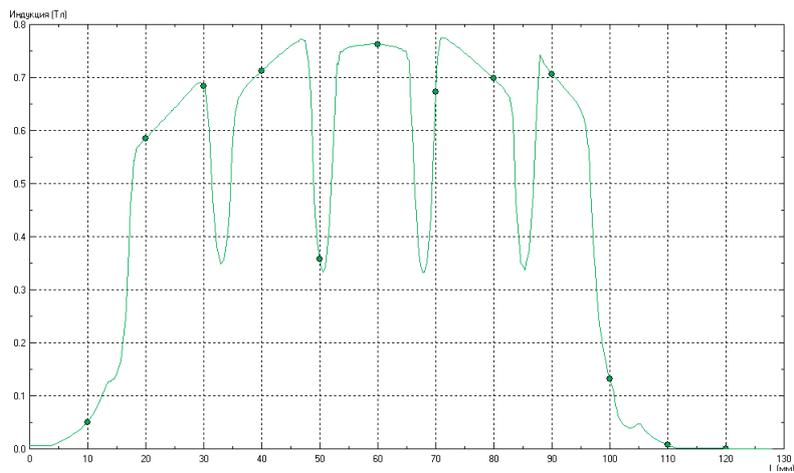


Рис. 5. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре под полюсом

На рис. 5 видно, что значение индукции  $B_{\delta} = 0,732$  Тл. Просадки поля вызваны наличием зубцов на якоре.

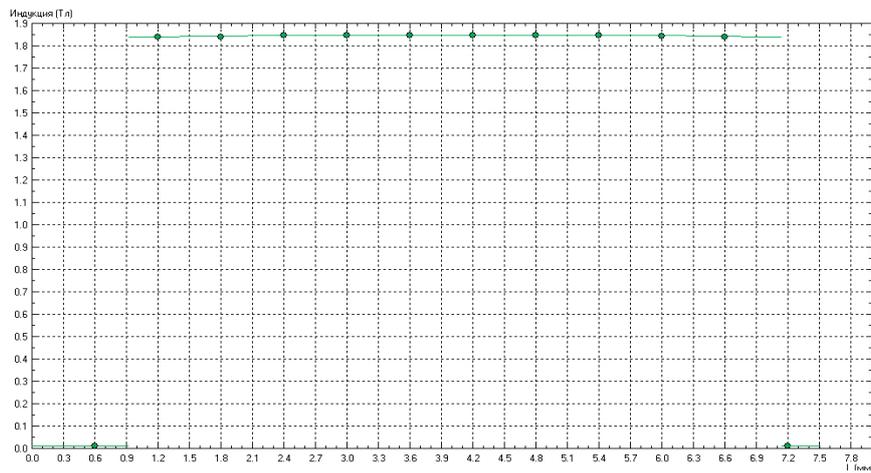


Рис. 6. Распределение магнитной индукции в зубце якоря

На рис. 6 видно, что магнитная индукция в главном полюсе распределена равномерно. Для определения индукции был взят зубец, находящийся по центру главного полюса. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 1,841$  Тл.

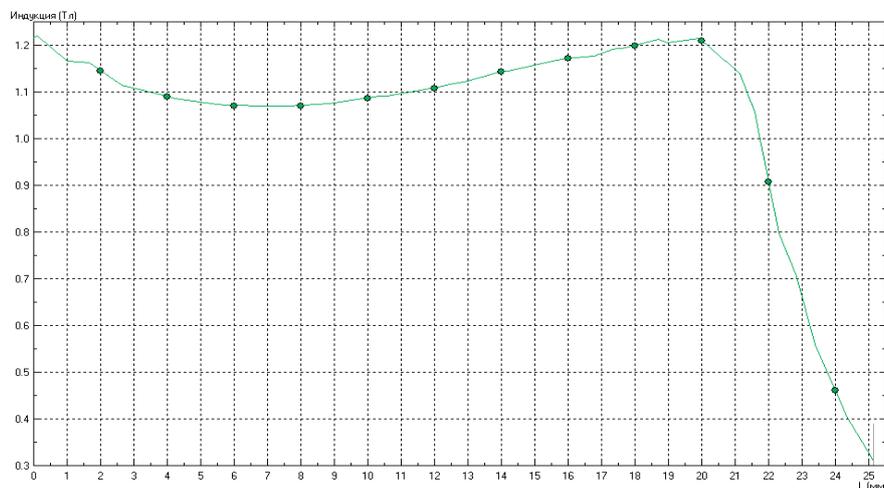


Рис. 7. Распределение магнитной индукции в спинке якоря

Явная нелинейность графика обусловлена наличием вентиляционных каналов, вследствие чего при приближении к ним индукция увеличивается из-за вытеснения магнитных линий из канала. Так же по графику видно, что с приближением к валу генератора, индукция стремится к нулю. Среднее значение индукции  $B_{cp} = 1,118$  Тл.

#### **Библиографический список**

1. Салова И. А. Моделирование в ELCUT: методические указания к выполнению лабораторных работ. М., 2007. 54 с.
2. Тимофеев С. С. Моделирование магнитного поля двигателя постоянного тока ПЛ-072 УЗ: СПб.: ГУАП, 2023. 11 с.
3. [Электронный ресурс]. URL:<https://elcut.ru/> (дата посещения 14.01.2024).

*В. С. Комарова\**

аспирант, преподаватель

*Т. И. Комаров\**

аспирант

*А. В. Чабаненко\**

к.т.н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ

Рассматриваются основные этапы процесса управления рисками, такие как определение, анализ и оценка рисков, а также разработка и реализация мер по управлению рисками. Описывается цель управления рисками и его значение для организации. Также обсуждаются преимущества внедрения системы управления рисками, такие как повышение эффективности, качества продукции и услуг, уровня безопасности и снижение финансовых потерь.

**Ключевые слова:** управление рисками, бизнес-процессы, система менеджмента качества.

*V. S. Komarova\**

graduate student,

*T. I. Komarov\**

graduate student,

*A. V. Chabanenko\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## RISK MANAGEMENT OF BUSINESS PROCESSES IN THE ORGANIZATION'S QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

The main stages of the risk management process are considered, such as the identification, analysis and assessment of risks, as well as the development and implementation of risk management measures. The purpose of risk management and its importance for the organization are described. The benefits of implementing a risk management system are also discussed, such as improving efficiency, product and service quality, security and reducing financial losses.

**Keywords:** risk management, business processes, quality management system.

Управление рисками бизнес-процессов является одним из ключевых элементов системы менеджмента качества организации. Риск – это возможность того, что произойдет событие, которое может повлиять на достижение целей организации. Управление рисками включает в себя определение, анализ и оценку рисков, а также разработку и реализацию мер по управлению рисками.

Определение рисков – это процесс выявления потенциальных угроз и возможностей, которые могут повлиять на бизнес-процессы организации. Для этого необходимо провести анализ внутренней и внешней среды организации, идентифицировать факторы, которые могут повлиять на ее деятельность, и определить возможные последствия.

Анализ рисков – это процесс оценки вероятности возникновения рисков и их последствий. Для этого необходимо провести анализ данных, оценить вероятность возникновения риска, его влияние на бизнес-процессы организации и определить уровень риска.

Оценка рисков – это процесс определения значимости рисков и их приоритетов. Для этого необходимо провести оценку рисков на основе их важности для организации и вероятности возникновения.

Разработка и реализация мер по управлению рисками – это процесс разработки и применения мер, направленных на управление рисками. Для этого необходимо определить стратегии управления рисками, выбрать наиболее эффективные меры по управлению рисками и реализовать их.

Управление рисками бизнес-процессов является неотъемлемой частью системы менеджмента качества организации. Оно позволяет своевременно выявлять и устранять угрозы и возможности, которые могут повлиять на бизнес-процессы организации, повышать эффективность ее деятельности и обеспечивать достижение поставленных целей. Внедрение системы управления рисками в организации способствует улучшению качества продукции и услуг, повышению уровня безопасности и снижению финансовых потерь.

Таким образом, внедрение системы управления рисками в организации позволяет повысить ее эффективность, качество продукции и услуг, уровень безопасности и снизить финансовые потери. Управление рисками является неотъемлемой частью системы менеджмента качества и позволяет организации быть более конкурентоспособной на рынке.

### Библиографический список

1. Ахрамович А. А. Управление рисками на предприятии в соответствии с действующей системой менеджмента качества / А. А. Ахрамович, Е. В. Борисова // Качество. Инновации. Образование. – 2018. – № 6 (157). – С. 33–37.
2. Ахметова С. О. Решение задачи управления риском в существующей системе менеджмента качества / С. О. Ахметова, Г. С. Бекбосын // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 3. – С. 19–26.

**Б. Я. Литвинов\***

доктор технических наук, профессор

**Н. Н. Скориантов\***

кандидат технических наук, доцент

**Р. Н. Целмс\***

кандидат технических наук, доцент

**А. А. Тинкова \***

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕНЕДЖМЕНТ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрены особенности менеджмента измерений в современных условиях. Проведен анализ мероприятий по оценке метрологической пригодности измерительного оборудования. Показана необходимость развития и улучшения текущих измерительных технологий совместно с развитием новых измерительных технологий.

**Ключевые слова:** менеджмент измерений, измерительное оборудование, метрологическое подтверждение пригодности.

**B. Ya. Litvinov\***

Dr. Sc. Tech. Professor

**N. N. Skoriantov\***

PhD, Tech., Associate Professor

**R. N. Tselms\***

PhD, Tech., Associate Professor

**A. A. Tinkova\***

student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## MEASUREMENT MANAGEMENT IN CONDITIONS OF INNOVATION ACTIVITY

The features of measurement management in modern conditions are considered. An analysis of measures to assess the metrological suitability of measuring equipment was carried out. The necessity of developing and improving current measurement technologies together with the development of new measurement technologies is shown.

**Keywords:** measurement management, measuring equipment, metrological confirmation of suitability.

Важнейшей целью экономической деятельности является достижение необходимого качества [1], и достижение этой цели во многом связано с состоянием и развитием метрологии. Инновационное развитие, связанное с внедрением новых технологий, невозможно без соответствующей измерительной информации [2]. Поэтому в современном обществе большую роль имеет развитие систем менеджмента измерений, как на национальном уровне, так и на уровне организаций.

Основным документом в сфере системы менеджмента в России измерения является ГОСТ Р ИСО 10012 – 2008 «Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и обязательному оборудованию» (далее стандарт) [3]. Данный стандарт определяет требования и приводит рекомендации по применению системы менеджмента измерений. Само понятие система менеджмента измерений (measurement management system) определено в стандарте как совокупность взаимосвязанных и/или взаимодействующих элементов, необходимых для обеспечения соответствия процессов измерений метрологическим требованиям и нормам и управления ими. Целесообразно отметить как отдельные моменты: совокупность взаимодействующих элементов, обеспечение соответствия метрологическим требованиям и нормам, управление процессами измерений.

В части взаимодействующих элементов в стандарте введено понятие измерительное оборудование (measuring equipment) -- средства измерений, в том числе эталоны единиц физических величин (далее – эталоны), стандартные образцы, программное обеспечение (кроме входящего в состав средств измерений) и вспомогательная аппаратура или их комбинация, необходимые для реализации процесса измерений. Таким образом, объектами управления являются не только средства измерений (СИ) как это привычно для отечественной метрологии, но и другие технические средства необходимые для получения измерительной информации требуемого качества (например, термостаты). Отдельно выделяется программное обеспечение (ПО). Из этого вытекает, что в понятие управление процессами измерений входит управление не только СИ, но вся вспомогательная аппаратура.

Метрологическое подтверждение пригодности (metrological confirmation) в стандарте трактуется как совокупность операций, необходимых для обеспечения соответствия измерительного оборудования установленным требованиям. В целом, метрологическое подтверждение пригодности включает достаточно большой перечень действий и мероприятий, который включает калибровку, поверку СИ, проверку применяемого в процессе

получения измерительной информации программного обеспечения и вспомогательной аппаратуры, необходимые регулировки и ремонт с последующей калибровкой, поверкой, проверкой, анализ метрологических требований для предполагаемого использования. Сюда же в стандарте относится пломбирование и маркировка. На практике мероприятия по подтверждению пригодности, в основном, проводятся по отношению к СИ. Ведется документация, в которой отражают заводские номера, диапазоны измерений, классы точности, результаты калибровки (поверки), принадлежность к конкретному подразделению организации, статус (годен, выведен из эксплуатации). Проводятся работы по подтверждению сходимости результатов измерений. Основным момент, при этом, заключается в том, что соответствующим исследованиям подвергается уже применяемое измерительное оборудование.

Таким образом, проводятся анализ состояния и мероприятия по текущим улучшениям по отношению к существующему измерительному оборудованию, измерительным каналам. Инновационное развитие предполагает внедрение в организации будущих новшеств. Соответственно, обновлению подлежат и применяемые измерительные технологии, измерительное оборудование. По отношению к менеджменту измерений применим подход с применением сигмоидных (S-образных) кривых [4].

Сигмоидная кривая отражает жизненный цикл применяемых измерительных технологий: фазу начала применения, фазу реального внедрения, фазу активного применения, совершенствования и модернизации, фазу прекращения применения. Смена измерительных технологий происходит синхронно с внедрением в организации новых (инновационных) технологий требующих метрологического обеспечения. Подход с опорой на сигмоидные кривые подразумевает, что работают две группы метрологов. Одна работает с текущими улучшениями применяемых измерительных технологий. Вторая группа работает над новыми измерительными технологиями в целях обеспечения внедряемых в организации инновационных технологий. Вторая группа начинает активные действия на стадии активного применения текущих технологических процессов, которыми занимается первая группа.

Вывод. Менеджмент измерений должен в большей степени распространяться на всё измерительное оборудование и новые измерительные технологии, предполагаемые для внедрения в будущем.

#### **Библиографический список**

1. Окрепилов В.В. Экономика качества как методологическая основа управления регионами. // Экономика и управление, №1(87), 2013. – С. 8–14.
2. Чирков А.П. Метрологическое обеспечение нового технологического уклада. / В сборнике: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Материалы III Международного форума в рамках празднования 80-летия Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, 300-летия Российской академии наук. Под редакцией В.В. Окрепилова. Санкт-Петербург, 2021. – С. 418–419.
3. ГОСТ Р ИСО 10012-2008 Менеджмент организации. Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию. М.: Стандартиформ, 2009 – 21 с. URL:<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293830/4293830641.pdf> (Дата обращения 09.01.2024).
4. Бланчард К., Вэгхорн Т. Миссия возможного, или Как стать компанией мирового класса: Пер. с англ. – Челябинск: “Урал LTD”, 1998. – 292 с.

*Т. П. Мишура\**

канд. техн. наук, доцент.

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРИИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

В работе рассмотрены экономические затраты по модернизации лаборатории входного контроля с внедрением элементов искусственного интеллекта. Сделан анализ стоимости необходимого метрологического оборудования, а также примерный расчет затрат на зарплату штатного состава. В заключении приведен ориентировочный срок окупаемости затрат на модернизацию

**Ключевые слова:** входной контроль, метрологическое обеспечение.

*T. P. Mishura\**

Cand. Sc. Tech., Docent

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFECTIVENESS OF MODERNIZING THE INPUT CONTROL LABORATORY

The work examines the economic costs of modernizing the incoming inspection laboratory with the introduction of elements of artificial intelligence. An analysis of the cost of the necessary metrological equipment was made, as well as an approximate calculation of the cost of salaries for staff. The conclusion provides an approximate payback period for modernization costs

**Keywords:** incoming control, metrological support.

В настоящее время ни одно производство не может эффективно работать без внедрения инновационных технологий. Сотрудников все чаще заменяют роботами, знания и информация хранятся на облачных серверах, а решение все большего объема задач возлагается на искусственный интеллект (ИИ), а управление производством не может осуществляться без автоматизированных систем. Одним из важнейших этапов производства, который отвечает в конечном счете за качество выпускаемой продукции, является входной контроль. В статье [1] рассмотрен вопрос о внедрении элементов искусственного интеллекта при модернизации лаборатории входного контроля на АО НПК «Северная заря», что позволило сократить время и повысить эффективность и качество контроля материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий.

В данной работе оценивается экономическая эффективность проведенной модернизации.

Основные затраты составляют следующие статьи.

1. Затраты на заработную плату сотрудников.
2. Закупка нового оборудования.
3. Программное обеспечение.
4. Обучение персонала.

Для того, чтобы сделать выводы об экономической эффективности внедрения ИИ, необходимо провести анализ вакансий, стоимость услуг по написанию кода для ИИ, стоимость оборудования. На данный момент в лаборатории входного контроля работают следующие сотрудники:

- начальник лаборатории входного контроля;
- инженер по качеству второй категории;
- контролер пятого разряда;
- контролер пятого разряда;
- контролер четвертого разряда;
- контролер третьего разряда.

Для того, чтобы модернизировать лабораторию входного контроля, необходимо дополнительно включить в штат программиста-разработчика, который напишет код для запуска ИИ под нужды предприятия на входном контроле.

Примерный расчет на заработную плату производился на основе информации поиска вакансий на сайте hh.ru. Средняя заработная плата по нужным вакансиям представлена в табл. 1.

Итого ежемесячные затраты на заработную плату составят

$$110000 + 90000 + (60 \times 4) + 130000 = 570000 \text{ руб./мес.}$$

Результаты анализа стоимости необходимого оборудования представлены в табл. 2.

## Средняя заработная плата

№ п/п	Штатный состав	Средняя заработная плат, руб.
1	начальник лаборатории входного контроля	до 110000
2	инженер по качеству второй категории	80000 – 100000
3	контролер ОТК (вне зависимости от разряда) – 4 человека	от 60000
4	программист – разработчик	120000 – 150000
	Итого в месяц	570000
	Итого в год	6840000

Таблица 2

## Стоимость метрологического оборудования

Тип оборудования	Средняя цена, руб
СММ-MN432 Координатно-измерительная машина КИМ	3 900 248
RCT-RA260 Машина для измерения округлости (кругломер)	2 597 276
ISY-100 Набор держателей и прижимов для КИМ 106 шт.	225 928
RCT-RA260-T2 Зонд для измерения округлости 0,5 мм	55 035
RCT-RA260-T4 Зонд для измерения округлости 4 мм	14 000
ISHU-330 Твердомер электронный ультрафиолетовый	320 000
ISR-C300 Тестер шероховатости Bluetooth (профилометр)	136 695
Измеритель шероховатости электронный (профилометр) ИШП-160 0,005-16.000, 0,02-160.00 мкм, ISO	103 565
1188-200А Штангенциркуль цифровой с тонкими губками ШЦЦ-1 0-200 мм, 0,01 мм	12671
1103-300А Штангенциркуль цифровой ШЦЦ 0-300 мм, 0,01 мм	10206
1188-150А Штангенциркуль цифровой с тонкими губками ШЦЦ-1 0-150 мм, 0,01 мм	9746
1108-300А Штангенциркуль цифровой ШЦЦ-1 0-300 мм, 0,01 мм	7423
1103-200 Штангенциркуль цифровой ШЦЦ 0-200 мм, 0,01 мм	7031
Итого	7 399 824

Таким образом, анализируя цены на рынке, можно сделать вывод, что полное переоборудование лаборатории обойдется более чем в 7 миллионов рублей, не считая оплату работы программиста-разработчика и за обучение персонала.

Однако, скорость прохождения деталей, запуск в производство, дальнейший ускоренный выпуск готовых изделий и реализация их у заказчика окупится в ближайшее время, что видно, исходя из формулы, представленной ниже:

$$PP = \frac{I_0}{P} = \frac{7399824}{4339384} = 1,7,$$

где  $I_0$  - первоначальные инвестиции,  $P$  – чистый годовой поток денежных средств (по данным Росстата за 2022 год он составил 4 339 384 рублей).

Учитывая дополнительные статьи затрат, можно сделать вывод, что проект по модернизации входного контроля для предприятия окупится примерно через два года, что оправдывает вложенные в его реализацию средства.

Таким образом, можно сделать вывод, что модернизация лаборатории входного контроля с помощью элементов ИИ является актуальным решением для современных предприятий, стремящихся повысить качество выпускаемой продукции. Одновременно с этим в значительной степени увеличится чистая прибыль и повысится конкурентоспособность предприятия.

## Библиографический список

- ГОСТ 2.610–2019 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов – М.: Стандартинформ, 2019. – 46 с.
- СТО Система менеджмента качества. Порядок проведения контроля качества продукции В и ВТ и ее предъявления. [Электронный ресурс]/ [https://knastu.ru/media/files/page\\_files/page\\_425/omk/sto/STO\\_T.003-2017\\_\(prikaz\).pdf](https://knastu.ru/media/files/page_files/page_425/omk/sto/STO_T.003-2017_(prikaz).pdf) (Дата обращения: 05.10.2023).
- Онлайн-генератор QR-кодов. [Электронный ресурс]/ <https://qrcode.tec-it.com/ru/Raw> (дата обращения: 03.10.2023).
- Лазерные триангуляционные датчики. [Электронный ресурс]/ [https://riftek.com/ru/products/laser\\_triangulation\\_sensor/](https://riftek.com/ru/products/laser_triangulation_sensor/) (Дата обращения: 03.10.2023).

*В. В. Окрепилов\**

научный руководитель ИПРЭ РАН

\*Институт проблем региональной экономики Российской академии наук

## ЭКОНОМИКА КАЧЕСТВА В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ<sup>1</sup>

Цифровизация все чаще становится определяющим фактором успеха в современной экономике. Автор статьи обращает внимание на новые возможности, которые открывает экономика качества в условиях цифровизации, а также на изменения, которые происходят при этом в составляющих ее стандартизации, метрологии и управлении качеством.

**Ключевые слова:** стандартизация, метрология, управление качеством, качество жизни, цифровизация

*V. V. Okrepilov\**

Academician of the RAS, Grand PhD in Economic sciences, Professor

Scientific Adviser of the IRES RAS

## THE QUALITY ECONOMICS IN THE DIGITALIZATION ERA

Digitalization is increasingly becoming a determining factor of success in the modern economy. The author of the article draws attention to the new opportunities that the quality economics opens up in the context of digitalization, as well as to the changes that occur in the components of its standardization, metrology and quality management.

**Keywords:** standardization, metrology, quality management, quality of life, digitalization

**Введение.** Экономика качества представляет собой науку, основной целью которой является описание, объяснение и предсказание закономерностей воздействия качества на процессы и явления общественной жизни. Установление связи между качественными характеристиками объектов или явлений, экономическими показателями и качеством жизни имеет большое практическое значение на всех уровнях управления, поскольку позволяет целенаправленно влиять на протекающие в экономике процессы и приводить качественные характеристики системы в соответствие с потребностями населения страны, региона, населенного пункта. Для обеспечения стабильной работы системы управления требуется применение надежного, испытанного инструмента, которым является экономика качества. Применение для решения задач стратегического планирования и текущего управления подхода, интегрирующего достижения стандартизации, метрологии и управления качеством, который воплощен в экономике качества, наиболее актуально в связи с цифровизацией экономики и ее возрастающими потребностями.

**Основная часть.** Инструменты экономики качества универсальны, имеют большой опыт применения и в своем развитии опережают запросы цифровизации [1].

Метрология предоставляет единые методы измерения для производства высокопроизводительных и высоконадежных вычислений. В ходе измерения мы получаем информацию, составляющую основу дальнейшего инновационного развития.

Стандартизация определяет возможность нормирования и оценки не только высокопроизводительных и высоконадежных вычислений, но и показателей цифровой экономики в целом. С теоретической точки зрения, стандартизация как наука состоит из трех частей: методологических основ, эмпирической составляющей и общесистемной теории стандартизации. Благодаря этому возможно появление документов по стандартизации, которые описывают новое качество, воплощенное в новых продуктах, новых методах измерений, новых методах управления и т.д. Стандарты являются проводником инноваций и цифровой трансформации, который позволяет учесть баланс интересов всех заинтересованных сторон.

Управление качеством включает принципы принятия решений, способы их реализации, контроль исполнения, планирование возможных улучшений. В условиях цифровизации для управления качеством открываются большие перспективы в повышении эффективности за счет лучшего применения больших данных на основе информационных и телекоммуникационных технологий.

В настоящее время переведены в цифровой формат: утверждение типа средств измерений, типа стандартных образцов, свидетельства о соответствии средств измерений метрологическим характеристикам, согласование отзывных программ и т. д. Разрабатывается более 30 метрологических документов для реализации новых технологий в области искусственного интеллекта, клинической медицины, транспорта, робототехники, биометрии и биомониторинга.

По данным Международной организации по стандартизации ИСО, на начало 2024 года действует 25 147 международных стандартов ИСО [2]. Лидерство в разработке новых стандартов принадлежит сектору информационных технологий. Более миллиона компаний и организаций в 170 странах мира сертифицированы на соответствие стандарту ISO 9001.

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-10090 и гранта Санкт-Петербургского научного фонда при поддержке Правительства Санкт-Петербурга в Институте проблем региональной экономики Российской академии наук.

В России около 2 млн человек по своим профессиональным обязанностям занимаются измерениями. Доля затрат на измерения в экономике РФ составляет от пяти до десяти процентов затрат общественного труда, а в сложных производствах эта доля достигает 20–30 %. Финансирование измерений ежегодно увеличивает ВВП страны на 0,8–1,5 % за счет повышения качества продукции.

Сейчас проходит активная работа по внедрению принципов цифровизации в науку о качестве. В будущем это позволит обеспечить взаимосвязанное и ускоренное внедрение эффективных принципов работы с новейшими технологиями на уровне государства, региона и на уровне отдельно взятого предприятия. В этой связи получают развитие направления: цифровая стандартизация и цифровая метрология.

В области метрологии все цифровые форматы формализованы в метрологических документах, необходимых для реализации новых передовых производственных технологий, особенно в области искусственного интеллекта, клинической медицины, робототехники и т. д.

Проведение цифровой стандартизации позволяет не только решить проблемы по важным отраслям, но и существенно ускорить сроки разработки стандарта. Например, в России работа по созданию нового стандарта ускорилась в среднем с двух лет до девяти месяцев.

Инновационная трансформация происходит также и в управлении качеством. Здесь прорабатываются такие методы и формы, которые позволяют на системном уровне подойти к решению частных проблем (рис. 1).

Интегрированная система управления представляет собой перспективный инструмент, который наилучшим образом подходит для отладки новых производственных технологий на предприятии. При этом под новыми производственными технологиями мы понимаем комплекс процессов проектирования и изготовления на современном технологическом уровне кастомизированных (индивидуализированных) материальных объектов (товаров) различной сложности, стоимость которых сопоставима со стоимостью товаров массового производства.



Рис. 1. Система управления на основе СМК

Государственная Программа «Развитие цифровой экономики в России» [3] предусматривает создание единых систем идентификации, информационной безопасности, единых стандартов, которые расширят возможности решения проблем, связанных с высоким уровнем цифровой трансформации экономики. Это обусловлено, в том числе, необходимостью стабильного улучшения качества жизни населения.

**Выводы.** Проведен анализ возможностей экономики качества в решении проблем цифровизации и показаны перспективы применения стандартизации, метрологии и управления качеством.

#### Библиографический список

1. Окрепилов В. В., Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Научные решения сложных экономических и социальных задач с помощью суперкомпьютеров. Монография под редакцией д.ф.м.н., профессора, академика РАН Макарова В.Л., д.э.н., профессора, академика РАН Окрепилова В.В., д.э.н., профессора, члена-корреспондента РАН Бахтизина А.Р. – М.: ЛЕНАНД, 2023. – 416 с.
2. ISO – About us / Международная организация по стандартизации, Центральный секретариат ИСО, Женева, Швейцария, 2024. Режим доступа: <https://www.iso.org/standards-catalogue/browse-by-ics.html>. (дата обращения: 17.01.2024).
3. Развитие цифровой экономики в России. Программа до 2035 года // Система информационно-аналитических ресурсов по инновационной и технологической тематике. – URL: <http://innclub.info/wp-content/uploads/2017/05/strategy.pdf>. (дата обращения: 17-01-2024).

*A. A. Pavlov\**

Master's Degree student

*E. Yu. Ganshina\**

Ph.D. Economics, Associated Prof

\*Financial University under the Government of the Russian Federation

## METHODOLOGICAL APPROACHES FOR MEASURING THE EXPORT POTENTIAL OF AN INTERNATIONAL MARKET

For businesses expanding globally, it's crucial to possess a dependable way of assessing, monitoring, and comparing market concentration and intensity. This evaluation helps gauge the opportunities for new entrants and is vital for making well-informed decisions. To illustrate this, the Republic of Korea market serves as an example, demonstrating quantitative approaches for assessing export potential. The discussion also covers different tools to evaluate the likelihood of exporting products from the world's primary birch plywood manufacturer to a particular country's market.

**Keywords:** measuring of the market concentration, the export potential of the market, Republic of Korea, revealed comparative advantage index (RCA)

It is difficult to directly observe the concentration and intensity of a market, which makes it necessary to develop comprehensive methods for measuring the degree of attractiveness of certain economic territories for external players. Since there is no single market indicator that can unambiguously identify changes in the intensity of its export potential, it is wise to strive for a methodology that allows for obtaining an aggregated result. This can be achieved by using many different measures such as structural or operational, static or dynamic, company or industry data, and cross-industry or intra-industry comparisons.

During a session on market concentration held by the OECD in 2018, issues with concentration measures were discussed. While it was acknowledged that market concentration indicators can be useful in evaluating competition within a specific market, they are not perfect and therefore need to be supplemented by other indicators. One such additional measure is the impact of imports and exports.

A country may have an identified comparative advantage in a particular product ( $i$ ) when the ratio of its exports of product ( $i$ ) to the total exports of all goods (products) exceeds the same ratio for the world as a whole:

$P$  – the set of all products ( $c \ i \in P$ ),

$XA_i$  – export of product  $i$  of country  $A$ ,

$XW_i$  – global product exports  $i$ ,

$\sum_{j=1}^n PXA_j$  – the total volume of exports of country  $A$  (all products of  $j$  in  $P$ ), and

$\sum_{j=1}^n PXW_j$  – total global exports (of all  $j$  in  $P$ ).

When a country possesses a Revealed Comparative Advantage index (RCA) greater than 1 for a specific product, it implies that the country is a competitive producer and exporter of that product compared to a nation producing and exporting it at or below the global average. This suggests that the country with a comparative advantage in a particular product is likely to have export potential for that product. The higher the RCA value for a product, the greater the country's export capacity for that product. Our analysis of the Republic of Korea's veneers and plywood products market led us to conclude that this market is highly attractive for external players. In the period from 1995 to 2005, the RCA index for this product type ranged from 0.1, occasionally reaching 0.2 in certain years (1996, 1998-2000). However, since 2006, it has declined to nearly zero and has remained at this level until the present.

In research, competition metrics are often rooted in a national context, assuming the market's geographical scope aligns with a nation's economy. In reality, the relevant market may be more limited (like a regional or local market) or broader (such as global markets). When dealing with smaller geographical markets, issues may arise as problematic markets could be disregarded due to challenges in aggregating and averaging competition indicators at the national level. Simultaneously, even if concentration indicators show high levels in relation to a national economy, the measured concentration at a supranational level, like the East Asian level, might be lower.

Global competition can force unproductive firms to leave and leading firms to consolidate on their best products [3]. This trend may include changes in innovation strategies [4] or uneven implementation of automation technologies [5].

Considering the data at hand and the constraints in methodology, examining these indicators can be seen as drawing specific conclusions regarding market intensity and export potential. This analysis offers valuable insights to pinpoint areas where export companies should delve deeper into research or exercise increased caution.

### References

1. Davies, S. “Presentation on Methodologies to Measure Market Competition and Key Issues”, OECD workshop on Methodologies to Measure Market Competition. OECD, 2021.
2. OECD, “Market Concentration”, Issues Note, 2018.
3. Melitz, M., T. Mayer and G. Ottaviano (2014), “Market Size, Competition, and the Product Mix of Exporters”, *American Economic Review*, Vol. 104, pp. 495-536.
4. Acemoglu, D., C. Lelarge and P. Restrepo (2020), “Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France”, *American Economic Association Papers and Proceedings*, Vol. 110, pp. 383- 388.
5. Hubmer, J. and P. Restrepo (2021), “Not a Typical Firm: The Joint Dynamics of Firms, Labour Shares, and Capital-Labour Substitutions”, mimeo Boston University.

*И. В. Романченко*

Юрист

Дальневосточный государственный университет

*Е. В. Булах*

к. п. н., доцент

Дальневосточный федеральный университет

## ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ КАК ФАКТОР ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ СПОРОВ

Рассматриваются вопросы метрологического обеспечения полевых изысканий на местности при формировании и утверждении органом местного самоуправления границ земельного участка. Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения достоверности и точности результатов геодезических изысканий, полученных геодезическим инструментом при оформлении прав на земельные участки. Данное условие обеспечит залог точности произведенных изысканий и предотвратит земельные судебные споры.

**Ключевые слова:** проверка геодезического инструмента, единство измерений, метрологическое обеспечение, оформление земельных прав

*I. V. Romanchenko*

Lawyer "Gruppa Uristov Co. Ltd",

Far Eastern State University

*E. V. Bulakh*

Candidate of Political Sciences, Prof

Far Eastern State University

## THE MEASUREMENTS UNITY PREVENTS LAND DISPUTES ONLY

The metrological support of fields surveys issues are being considered in the the forming and endorsement procedures for the land plot boundaries by municipal bodies.

The relevance of the topic is due to ensure the reliability and accuracy of the obtained geodetic surveys results by the geodesic tools for rights approval registration of a land plots. The current criteria ensures the accuracy of the surveys performed and prevent land litigation.

**Keywords:** verification of geodetic equipment, measurements unity, land rights registration, metrological support

В земельных правоотношениях только единство измерений предотвращает земельные споры о границах. Полевые изыскания на местности, выполняемые приборным геодезическим инструментом, являются основой для последующего оформления схем границ земельного участка, его утверждения в органе местного самоуправления и последующей государственной регистрации права на земельный участок с одномоментной постановкой его на кадастровый учет.

Применяемые с недавнего времени в геодезии (наука регулирующая проведение в том числе полевых изысканий) спутниковая геодезическая аппаратура (далее по тексту ГСА), транспортные воздушные средства (дроны) и классические тахеометры должны обеспечивать единство измерений в допустимых погрешностях несмотря на разные методы работы. 1 метр в длину от точки x до точки y на местности должен быть неизменен вне зависимости от инструментария.

Согласно Отчета работе судов общей юрисдикции о рассмотрении гражданских дел в 1 инстанции за 1 полугодие 2023 года (<http://www.cdep.ru/>) судебного департамента при Верховном Суде РФ на начало отчетного периода остаток нерассмотренных дел по спорам связанным с землепользованием составил 46714 дел на начало отчетного периода, поступило споров за отчетный период 96610, в том числе споры о границах земельных участков в связи с недостоверным определением координат поворотных точек, не рассмотрено на конец отчетного периода 48904. При этом сумма заявленных требований по поступившим спорам составила 17 501 659 765 рублей, не считая судебных расходов.

Различные системы координат, применяемые при обработке результатов полевых измерений, должны быть взаимно увязаны при переходе из одной в другую, чего, к сожалению, пока не достигнуто. Смещение к северу дает большее смещение по причине скудности пунктов ГГС. Работа исключительно в системе МСК-25 (ЕГРН) не основана на ранее существующих городских системах координат и отлет составляет до 5 м, геоизученность прорежена в связи с уничтожением пунктов ГГС металосброшиками и местечковыми геодезистами, создавшими локальные сети. Равно как не обеспечен полный пересчет пунктов ГГС, и до настоящего времени часть пунктов не имеет официальных координат.

Обязанность контроля своевременной проверки геодезического инструмента лежит на исполнительном органе юридического лица, что часто приводит к сканкопиям псевдопроверок. Качественное и своевременное проведение проверок геодезического инструмента позволит предотвратить земельные споры, сократить судебные издержки.

### Библиографический список

1. Капустин В.К. Геодезические измерительные системы для кадастра и недвижимости. Курск, 2015.
2. Е.В. Булах, И.В. Романова, И.В. Романченко. Системная связь государственной, региональной и муниципальной политики: социально-экономические условия. Вестник ЗабГУ, 2017.

*Felicien Hakizamungu\**

*Julius Ngoga\*\**

\*Rwanda Standards Board (RSB), République du Rwanda  
Standards training and technical assistance officer

\*\*College of Business and Economics Rwanda University, République du Rwanda  
MBA student

## RESW PROJECT EVALUATION BASED ON OECD-DAC STANDARDS

The economic condition of a country is the best measure of the country's growth and development and depends on a number of variables or qualities and the relationship between them.

**Keywords:** circular economy, economic benefits, cost economic, standartization, value engineering, management.

Relevance is the extent to which a development intervention conforms to the needs and priorities of the target groups, the policies of recipient countries and donors and Rwanda's long-term strategy. This part examines the relevance of the project's outputs, outcomes and goals to Rwanda's needs and priorities, as well as the coherence with Rwanda's overall development strategy and other donor programming in the region. On the whole, the assessment shows that the project interventions are still relevant in the context of regional, national and RRA strategies. They also match with the objectives of Rwanda and other development partners working in Rwanda and in the EAC region in trade facilitation. 98 per cent of beneficiaries (internal and external) questioned in December 2021 rated the initiative and the approach of the Project as "very relevant". Clearing agents and freight forwarders, the primary users of the ReSW and those most sensitive to clearance delays, found the initiative particularly relevant. The December 2021 interview estimated that the indirect time spent by clearing agents at the RRA fell from 5 days to 8 hours; at the RDB the time spent fell from 1 day to zero, while the study reported no savings at the RSB where the process reengineering had not yet started at the time of the baseline study interviews. Other Government agencies such as the RDB, the RSB and the Magasins Generaux du Rwanda (MAGERWA) agree that the project is in line with the priorities and development strategies of their organizations. Staff at the RDB noted that the process of providing exemptions was now much more efficient and that their offices were cleared of representatives of clearing agents, adding to the integrity of their operations. They also noted that exemptions now were provided in minutes rather than hours. At the RRA savings involved fewer staff at the document submission stage, and a reallocation of the staff to more productive positions [8][1][2][3-7].

Rwanda Electronic Single Window (ReSW) is in line with RRA and RDB's Theory of Change and is contributing to effective trade systems, trade agencies and procedures towards enhancing trade environment and to the organization's overall goal 'of increased prosperity through growth in trade for East Africa' and with Rwanda Country Programme's main goal of 'greater regional integration and trade competitiveness'. ReSW primarily complements RRA's projects that focus on 'hard' infrastructure development, such as the construction of the One Stop Border Posts (OSBP) like Kagitumba/Mirama, RUSUMO, GATUNA, RUSIZI and La Corniche. ReSW also complements other donor programmes and priorities in Rwanda and East Africa for example DFID's plans (2015-2025) for the country are to support private sector-led growth, including boosting regional trade and addressing constraints to private sector. Similarly, the World Bank's strategies for the country (2021-2031) will, among other things, focus on addressing key bottlenecks for private sector development. USAID, besides having a regional programme dedicated to enhancing regional integration in East Africa, has recently started to focus on supporting Rwanda's regional integration within the EAC through supporting trade facilitation policies and infrastructure at border posts [8][7][12][3-7].

The objectives of the ReSW in term of reducing the release time taken to import and export were spelled out in the July 30, 2012 RRA Project document. Using available data at that time, the project aimed at reducing the time it would take to process imports (from arrival at the gate to exit) from 2 days 10 hours and 5 minutes to 1 day nine hours and 57 minutes. This objective was basically achieved as can be seen in the figures below [3][4].

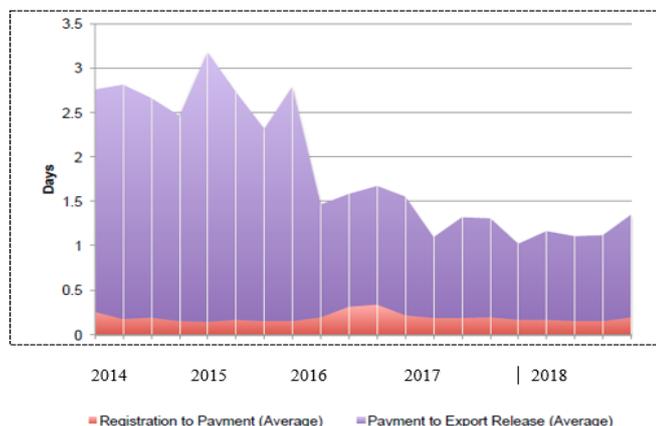


Fig. 1. Export release times, 2014-2018

Standard deviations of the release times are still very high, reflecting the large spread in the release times of individual cargo. This undermines the confidence that traders have in a quick release of their cargo, and requires them to build up larger inventories than they would otherwise do. One element that emerged from the analysis of the risk profiling data provided by RRA was that the RSB increased the share of total imports it selected for inspection, from 14 per cent in 2012 to 42 per cent in 2015. Such an evolution in the inspection rate certainly hampered the reduction on average release time recorded over this period, as well as the standard deviation of clearance times. The Baseline Survey of 2014 interviewed stakeholders and monitored their opinion with respect to close to 200 transactions and solicited their view on how satisfied they were with the services provided through the ReSW and from each of the OGAs connected to the eSW. The Survey report noted: “Globally, the clearing agencies are satisfied with the service they receive from the RRA and the OGAs[3][4][8].

The agencies responses showed respectively 89 per cent were satisfied with service providers and services provided (17 per cent at excellent level, 37 per cent very good and 35 per cent as good).” The appreciation of clearing agents with respect to RRA is probably an overall appreciation of their contacts with the RRA and not solely related to the operation of the ReSW, but on the whole is very positive. The positive appreciation of RSB and RDB services provided are most likely directly related to the introduction of the ReSW that saves clearing agents time and money (e.g. reduced need for couriers). Somewhat surprisingly, the satisfaction with the services provided by the Ministry of Agriculture (MINAGRI) and its affiliated agencies (NAEB, RAB and RALIS) is rather positive, despite these agencies not being connected to the ReSW[8][1][ 2].

### References

1. The impact of a reduction of transport costs on transport prices depends on the structure of the trucking industry in the country. Such in-depth analysis can be performed in the supply chain assessment.
2. WFP 2016 ‘Vulnerability and Food Insecurity in Three Urban Areas of Burundi: An Assessment of the Impact of High Prices on Households in Bujumbura Mairie, Ngozi and Gitega Cities’, Rome, July.
3. TradeMark East Africa, 2014. Monitoring, Evaluation & Learning Paper. Nairobi: TradeMark East Africa
4. TradeMark East Africa, 2014. Joint Evaluation Plan – Background note Annex to ToRs of External Evaluation. Nairobi: TradeMark East Africa
5. TradeMark East Africa, 2014. Baseline Survey for TMEA funded Swift Project in Rwanda. Nairobi: TradeMark East Africa
6. TradeMark East Africa, 2014. Project Appraisal Report II, Enhancing Trade Facilitation in Rwanda.
7. TradeMark East Africa, 2014. eSW and upgrade of CMS Project Workplan. Kigali: TradeMark East Africa
8. Operational Policy and Business Development Division, 2012. Electronic Single Window Implementation Report August 2012.

УДК 531.7

*К. В. Гоголинский\**

д. т. н., заведующий отделом

*А. А. Павельева\**

м. н. с.

\*НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, г. Гатчина.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЙТРОННОЙ СТРЕСС-ДИФРАКТОМЕТРИИ

Изложена концепция создания системы метрологического обеспечения методов и средств измерений параметров напряженно-деформированного состояния с внедрением референтной методики на основе нейтронной стресс-дифрактометрии.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, нейтронная стресс-дифрактометрия, референтная методика, метрологическое обеспечение.

*K. V. Gogolinskiy\**

Dr. Tech. Sc., Head of department

*A. A. Paveleva\**

researcher

\*Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina.

## ENSURING UNITY MEASUREMENTS OF STRESS-STRAIN STATE PARAMETERS BASED ON THE NEUTRON STRESS DIFFRACTOMETRY

The concept of the metrological support system for methods and means for measurement parameters of the stress-strain state with the introduction of a reference technique based on neutron stress diffractometry is outlined.

**Keywords:** stress-strain state, neutron stress diffractometry, reference technique, metrological support.

Анализ механических напряжений является важнейшей инженерной задачей, которую решают при проектировании, техническом обслуживании и для расследования причин структурных разрушений конструкций всех размеров, таких как туннели, мосты и плотины, трубопроводы, корпуса самолетов и ракет, механические детали и т.д. Использование результатов прямых измерений напряжений в конструкциях могло бы повысить эффективность решения этих задач. Для этого результаты неразрушающего контроля параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) необходимо получать в абсолютных величинах (сила/площадь), обеспечив их прослеживаемость к первичным эталонам и/или референтными методиками.

Методы и средства контроля НДС делятся на разрушающие и неразрушающие [1]. Разрушающие и полуразрушающие методы включают в себя тензометрию, сверление отверстий, контурный метод. Эти подходы основаны на оценке остаточных напряжений путем определения изменения напряжения или деформации, вызванного релаксацией напряжений после удаления материала. К неразрушающим относятся дифракционные методы с использованием нейтронных, рентгеновских и синхротронных источников излучения, ультразвуковые, основанные на эффекте акустоупругости, а также магнитные, основанные на измерении таких параметров, как магнитная проницаемость, гистерезис и шум Баркгаузена. Они используют корреляцию деформации с изменением другой характеристики материала, такой как параметр кристаллической решетки, магнитные свойства или скорость движения ультразвуковых волн.

Рентгеновская дифракция является широко применяемым методом измерения поверхностных напряжений. Из-за низкой проникающей способности рентгеновских лучей в металлы этот метод ограничен измерениями поверхности металла толщиной 20 мкм.

Нейтроны имеют значительно более высокую проникающую способность в металле по сравнению с рентгеновским излучением. Это позволяет неразрушающим образом измерять деформацию в трех основных направлениях для точного определения тензора напряжений внутри образцов большого размера [2].

Магнитные методы основаны на изменениях под действием напряжений таких параметров петли гистерезиса, как коэрцитивная сила и остаточная намагниченность, а также на появлении на ней скачков (шумов Баркгаузена). Широкую известность, в частности, приобрели приборы, принцип действия которых основан на эффекте Баркгаузена. Как и радиографический метод, магнитные методы измеряют напряжения в приповерхностном слое.

Ультразвуковой метод измерения остаточного напряжения на основе эффекта акустоупругости базируется на том, что на характер распространения ультразвуковых волн через твердый материал влияет наличие внутренних напряжений. Этот подход имеет множество преимуществ, включая возможность выполнять измерения на месте крупных компонентов за короткое время на большую глубину, достаточную для определения градиента напряжения [3].

В настоящее время парк неразрушающих средств измерений и контроля параметров НДС в промышленности состоит из ультразвуковых и магнитных приборов и установок, некоторые из которых прошли испытания в целях утверждения типа. Разработан и аттестован ряд методик выполнения измерений параметров НДС с применением эффекта акустоупругости. Метрологическая аттестация этих приборов и методик проводится, как правило, путем создания контролируемой деформации в металлических образцах с помощью силоизмерительных машин [4]. Такой подход позволяет воспроизводить только интегральные параметры одноосного НДС и не дает возможности создать транспортируемые меры или стандартные образцы НДС для передачи единицы средствам измерений.

Решением этой проблемы может стать применение метода нейтронной стресс-дифрактометрии, который обеспечивает прямое измерение изменений параметров кристаллической решетки при деформации в образцах размером до сотен миллиметров с локальностью от десятков микрометров по всем пространственным направлениям. Имеется ряд практических результатов применения нейтронной стресс-дифрактометрии в области метрологии, полученных на дифрактометре СТРЕСС реактора ИР-8 НИЦ «Курчатовский институт» [2, 5].

Таким образом, в целях создания системы обеспечения единства измерений параметров НДС необходимо решение следующих задач: разработка и утверждение национальных стандартов на нейтронные методы измерения параметров НДС; разработка и аттестация референтной (первичной референтной) методики измерения параметров НДС методом нейтронной стресс-дифрактометрии; разработка средств и методов передачи единиц параметров НДС средствам и методикам измерений.

#### Библиографический список

1. Kendall, O.; Paradowska, A.; Abrahams, R. et.al. Residual Stress Measurement Techniques for Metal Joints, Metallic Coatings and Components in the Railway Industry: A Review. *Materials* 2023, 16, 232. <https://doi.org/10.3390/ma16010232>
2. И.Д. Карпов, В.Т. Эм, В.В. Сумин Измерение остаточных напряжений в международном стандартном образце VAMAS на дифрактометре СТРЕСС реактора ИР-8 Дефектоскопия, 2019, № 4, стр. 61-66 DOI: 10.1134/S0130308219040092.
3. В. В. Муравьев, К. А. Тапков, С. В. Ленков Неразрушающий контроль внутренних напряжений в рельсах при изготовлении с использованием метода акустоупругости / Дефектоскопия. – 2019. – № 1. – С. 10-16. – DOI 10.1134/S01303082190100020.
4. [https://encotes.ru/system/files/4\\_MP\\_IN-5101A\\_29\\_11\\_2022.pdf](https://encotes.ru/system/files/4_MP_IN-5101A_29_11_2022.pdf) (дата обращения: 29.01.2024).
5. В. Л. Венгринович, Д. А. Винтов, В. Т. Эм, И. Д. Карпов К вопросу об эталоне механических напряжений / Контроль. Диагностика. – 2020. – № 2. – С. 28-37. – DOI 10.14489/td.2020.02.pp.028-037.

*Д. В. Жилина*

Студент гр. МО-21

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

Изучены особенности ранее проведённых циклов модернизации государственного первичного эталона кинематической и динамической вязкости жидкости ГЭТ 17-2018, основные направления его дальнейшей модернизации и применения.

**Ключевые слова:** измерения вязкости, вискозиметр, вязкость нефти.

*D. V. Zhilina\**

Student gr. MO-21

\*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

## MODERNIZATION OF THE STATE PRIMARY STANDARD OF KINEMATIC AND DYNAMIC VISCOSITY OF FLUID

The issue studies the features of previously carried out cycles of modernization of the state primary standard of kinematic and dynamic viscosity of liquid GET 17-2018, the main directions of its further modernization and application.

**Keywords:** viscosity measurements, viscometer, oil viscosity.

Совершенствование государственного первичного эталона (ГПЭ) ГЭТ 17 кинематической и динамической вязкости жидкости в течение последних десятилетий отражало потребности науки, техники и промышленности, связанные с требованиями проведения метрологических работ и управления качеством. [1, 2, 3]

Коэффициент вязкости получил широкое распространение для оценки качества таких параметров нефти и нефтепродуктов как плотность и фракционный состав. Оценку кинематической вязкости проводят при температуре 20 °С в широком диапазоне от 2 до 300 мм<sup>2</sup>/с. Вязкость основных сортов нефти при этом находится в пределах 40 – 60 мм<sup>2</sup>/с. Имея значение вязкости нефти, грубо оценивается её состав с учётом основной закономерности – увеличения вязкости таких жидкостей, как нефть и продукты её переработки при возрастании молекулярного веса ключевых фракций – смолисто-асфальтеновых веществ. У «тяжелой» нефти высокая вязкость, что делает её переработку более трудоемкой. [4]

В процессе измерения вязкости нефти большое количество разных проб подвергаются нескольким циклам обработки на современных лабораторных установках, при этом точность измерений имеет перспективы повышения. Так, один из самых передовых в стране в настоящее время программно-аппаратных комплексов для определения вязкости пластов нефти, разработанный Тюменским нефтяным научным центром, автоматически проводит исследования проб, но функционирует с классом точности 2%, что считается повышенным уровнем.

Работы по сравнению и оценке вязкости добываемой нефти новым способом в СССР были начаты в 1946 г., когда стартовали эксперименты по верификации результатов использованных ранее методов измерений. На основе собственных данных и рекомендации ТК-66 ИСО для создания эталона единицы вязкости жидкости был использован метод сравнения с вязкостью воды при 20° С. Вязкость «эталонной» воды при этом была зафиксирована на уровне  $1,002 \cdot 10^{-3}$  Па·с или  $1,0038 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с [5].

Первая версия эталона вязкости, изготовленная в 1971 г., функционировала в диапазоне температур +20...+40 °С. Затем в 1984–1985 годах была сконструирована новая установка из 30 стеклянных капиллярных вискозиметров, имевших форму, которая позволила минимизировать расчётную поправку на кинетическую энергию. Верхний предел измерений новой установки, повышенный до  $1 \times 10^{-1}$  м<sup>2</sup>/с и позволял выдерживать вдвое больший гидростатический напор и снизить чувствительность оборудования к колебаниям поверхностного натяжения жидкости.

Третья модернизация эталонной аппаратуры вязкости и пере-утверждение ГПЭ в 1991–1996 годах были связаны с введением новых международных стандартов и повышением роли экспорта нефти в экономике страны. В ГЭТ 17-96 были использованы импортные стеклянные капиллярные эталонные вискозиметры типа Ubbelohde длиной 550 мм [5].

Четвертая модернизация ГПЭ вязкости связана с работами, проведёнными во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в 2015-2018 годах по расширению диапазонов значений рабочей температуры до значений: от -40 °С до +20 °С и от +40 °С до +150 °С. Это позволяла осуществить в состав эталона новая установка ГЭТ 17/2-КВН. В работе по совершенствованию эталона были приняты во внимание технические «находки», использованные в некоторых получивших ранее высокую оценку метрологов отечественных и зарубежных средств измерений в области измерений вязкости. К работе также были привлечены опытные иностранные специалисты из ряда национальных метрологических институтов Германии, Японии, Кореи, Австрии и других стран. В результате помимо нового капиллярного комплекса в состав первичного эталона были введены также эталонные комплексы ЭК ГЭТ 17/3-ДВП и ЭК ГЭТ 17/4-ДВД. [6].

«Модернизированный ГЭТ 17-2018 по техническим и метрологическим характеристикам отражает современные требования в области точности определения вязкости в научных исследованиях и промышленности, так как: были расширены функциональные возможности эталона в области передачи единицы вязкости жидкости в интервале температуры от минус 40 °С до 150 °С, а также в области избыточных значений давления до 4 МПа; количество типов метрологически обеспечиваемых СИ увеличено в несколько раз и обеспечена прослеживаемость результатов измерений, полученных с применением эталонных вискозиметров, работающих в потоке жидкости, к ГПЭ единицы вязкости» [6]

ГЭТ 17-2018 планируют далее совершенствовать в следующих направлениях, позволяющих ускорить процессы обработки множества проб, повысить точность и возможности проведения измерения в сложных условиях: разработка автоматической цифровой системы отсчёта времени истечения исследуемой жидкости через капилляр вискозиметра; расширение верхних границ диапазонов значений динамической и кинематической вязкости; расширение диапазона значений давления до 100 МПа. [6]

#### **Библиографический список**

1. Ушаков И.Е. Информационное обеспечение изучения и проведения метрологических работ // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2017. Т.1. С. 202-204.
2. Смирнова Е. Е., Кремчеева Д.А., Радушинский Д. А. Управление качеством (учебное пособие). СПб: Лема, 2023. – 170 с. – ISBN 978-5-00105-784-0.
3. Кремчеева Д.А. Смирнова Е. Е., Радушинский Д. А. Методы управления качеством продукции // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2023. №3 (135). С. 30-34. DOI: 10.33285/1999-6934-2023-3(135)-30-34.
4. Ишеналиев К.Р., Козырев А.Г. Устройство для измерения динамической вязкости нефти / ИП Шелистов Денис Александрович // Аллея науки – 2018 – том 7, №6. С. 384-388.
5. Чекирда К. В., Демьянов А. А., Неклюдова А. А., Домостроев А. В., Сулаберидзе В. Ш. История создания и модернизация государственных первичных эталонов единиц динамической, кинематической вязкости жидкости и плотности // Измерительная техника. 2022. № 7. С.26-27.
6. Неклюдова А.А. Совершенствование метрологического обеспечения измерений вязкости жидких сред в интервале температуры от минус 40 °С до 150 °С: спец. 05.11.01 «приборы и методы измерения (по видам измерений (механические величины))»: дисс. на соискание уч. степени к. т. н.: СПб, ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2019. С. 20–21; 108-112.

А. Р. Забирова\*

Студент

\*Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 1 ДО 10 ТЛ ГЭТ 82-85

Проанализированы потребности и цели модернизации государственного первичного эталона единицы магнитной индукции в диапазоне от 1 до 10 Тл ГЭТ 82-85, состав эталона после модернизации.

**Ключевые слова:** магнитная индукция, Тесла, постоянное магнитное поле, импульсивное магнитное поле.

## MODERNIZATION OF THE STATE PRIMARY STANDARD OF MAGNETIC INDUCTION IN THE RANGE FROM 1 TO 10 TL SPS 82-85

The state primary standard of the magnetic induction unit in the range from 1 to 10 Tl GET 82-85, its design and modernization goals are analyzed.

**Keywords:** magnetic induction, Tesla, modernization, constant magnetic field, pulsed magnetic field

В международной системе СИ единица магнитной индукции – Тесла – является производной единицей, образованная как произведение степеней основных единиц массы, времени и силы тока. В систему СИ Тесла была введена в 1960 году решением XI Генеральной конференцией по мерам и весам вместе с принятием СИ в целом.

Государственный первичный эталон (ГПЭ) ГЭТ 82-85 создан ВНИИФТРИ и утвержден постановлением Госстандарта СССР № 128 от 21.11.1985 г. С помощью ГЭТ 82-85 контролируется значение критического магнитного поля сверхпроводящих материалов для приближения к нулевому значению электрического сопротивления. Применяется данный эталон для научных исследований сверхпроводящих магнитных систем, в электроэнергетике, в производстве и обслуживании медицинских ЯМР-томографов и т.д. Также в транспортной промышленности, в том числе в России, активно занимаются разработкой *магнито-левитационного общественного транспорта* для городов на основе явления магнитной индукции, который способен заменить традиционный монорельс.

Всего в России действуют три ГПЭ, которые могут использоваться при измерении магнитной индукции, но только данный эталон может измерять ее в диапазоне от 1 до 10 Тл. С появлением новых рабочих средств измерений, выполняющих измерения импульсивного магнитного поля и которые на данный момент метрологически не обеспечены, а также с необходимостью контроля характеристик сверхпроводящих материалов в диапазоне полей от 0,1 до 14 Тл возникла потребность в совершенствовании ГЭТ 82-85. На данный момент ведутся работы по совершенствованию эталона, на которые в 2021-2023 гг. было выделено 80 млн. руб [1]. Работы по модернизации ГЭТ 82-85 должны были быть закончены до конца 2023 года.

В состав усовершенствованного эталона будут входить 2 установки для измерения постоянного и импульсивного магнитного поля. В основу установки постоянного магнитного поля входят измерители магнитной индукции поля на основе ядерного магнитного резонанса (ЯМР). При измерении магнитной индукции при комнатной температуре в диапазоне от 1 до 12 Тл будет использоваться тесламетр РТ2026 с использованием резонанса протонов  $^1\text{H}$ , свыше 12 Тл – дейтерия; при температуре 4,2 К будет использоваться тесламетр «Сибирь» в диапазоне от 1 до 13 Тл с использованием резонанса ядер алюминия [1]. Измерение магнитной индукции импульсного магнитного поля будет осуществляться с помощью индукционного метода (измерительной катушки). Так как сигнал на выходе пропорционален магнитной индукции, то для получения значения магнитной индукции необходим цифровой интегратор.

Среди заинтересованных в модернизированном ГПЭ организации Минобороны России, госкорпорация «Росатом», ряд НИИ, производители сверхпроводящих и магнитотвердых материалов, региональные ЦСМ, аккредитованные лаборатории. Планируемое расширение диапазона, появление возможности измерений импульсного магнитного поля в рамках модернизации ГЭТ 82-85 приведёт и к модификации требований, связанных с проведением метрологических работ и управления качеством в соответствующей области измерений. [2, 3, 4]

Научный руководитель – Д. А. Радушинский, к. э. н., доцент, доцент кафедры метрологии, приборостроения и управления качеством Горного университета.

### Библиографический список

1. Ескин А. Е. Совершенствование государственного первичного специального эталона единицы магнитной индукции в диапазоне 1–10 Тл ГЭТ 82-85 // Альманах современной метрологии. 2022. №3 (30). С. 22-30.
2. Ушаков И. Е. Информационное обеспечение изучения и проведения метрологических работ // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2017. Т.1. С.-202-204.
3. Leontyuk, S.M., Vinogradova, A.A. and Silivanov, M.O. (2019), Fundamentals of ISO 9001:2015 // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1384(1), 012068
4. Смирнова Е. Е., Кремчеева Д. А., Радушинский Д. А. Управление качеством (учебное пособие). СПб: Лема, 2023. – 170 с. – ISBN 978-5-00105-784-0.

УДК 006.91

*О. А. Кононов\**

канд. техн. наук, доцент

*Е. П. Барышева\**

Студент

*О. А. Шевантаева\**

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НОВЫЙ ЭТАЛОН КИЛОГРАММА

В данной статье был рассмотрен новый эталон килограмма, причины его изменения, преимущества. Помимо этого, было описано, от чего он теперь зависит, и то, как его измеряют.

**Ключевые слова:** эталон, килограмм, весы Киббла, постоянная Планка

*О. А. Кононов\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*Е. П. Barysheva\**

Student

*О. А. Shevantaeva\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## NEW KILOGRAM STANDARD

In this article, the new standard of the kilogram, the reasons for its change, and the advantages were considered. In addition, it was described what it now depends on, and how it is measured.

**Keywords:** standard, kilogram, Kibble scales, Planck's constant

Инновационным шагом для научного сообщества является переход эталонов от материального предмета к более точному и универсальному определению, с целью дальнейшего повышения точности и воспроизводимости научных измерений. Новое определение эталона имеет важные последствия для различных областей, которые полагаются на точные измерения, таких как химия, физика и инженерия.

В 1889 году было принято распоряжение о создании эталона килограмма и на протяжении более столетия килограмм определялся физическим объектом, известным как Международный прототип килограмма (IPK). Который является цилиндром из платиново-иридиевый сплава (90% платины, 10% иридия), бережно хранившийся в хранилище под Парижем. Так же у него есть множество копий по всему миру, одна из них изображена на рис. 1. Россия располагает двумя копиями: копия № 12 играет роль национального прототипа килограмма, копия № 26 – роль эталона-свидетеля, который заменяет национальный прототип в случае его отсутствия, порчи или утраты. Однако возникли опасения относительно стабильности IPK, так как выяснилось, что копии изменились относительно главного эталона в диапазоне  $\pm 50$  микрограммов, что привело к необходимости создания более надежного и универсального стандарта.

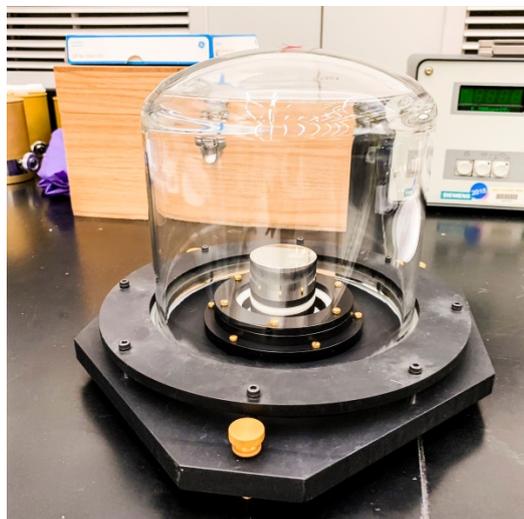


Рис. 1. Копия IPK

В 2019 году 20 мая был установлен новый эталон килограмма, принятый Международной системой единиц (СИ), основанный на фундаментальных константах. Новое определение связывает килограмм с постоянной Планка, которое имеет значение  $6,62606983 \cdot 10^{-34}$  джоулей на секунду. Джоули выводятся через килограммы, метры и секунды. Секунды и метры так же являются эталонами, которые выводятся через постоянные значения. Метр —расстояние, пройденное светом в вакууме за  $1/299\,792\,458$  секунд.

Время – ровно 9 192 631 770 циклов излучения атома цезия-133. Реализация нового стандарта килограмма основана на инновационном инструменте, называемом балансом Киббла, также известным как весы ватт, которые были изобретены в 1975 году. Это устройство измеряет электромагнитную силу, необходимую для балансировки массы с помощью электрических и магнитных сил. Приравнивая механическую мощность к электрической, баланс Киббла обеспечивает прямую связь между массой и постоянной Планка. Весы Киббла, изображены на рис. 2.



Рис. 2. Весы Киббла

Принятие нового стандарта килограмма принесет многочисленные выгоды научному и промышленному сообществу. Прежде всего, это обеспечивает воспроизводимость и последовательность измерений во всем мире. Благодаря фиксированному значению постоянной Планка, килограмм становится общедоступным, что обеспечивает большую точность и уверенность в различных научных дисциплинах. Теперь ученые могут воспроизводить эксперименты с беспрецедентной точностью, что способствует прогрессу в таких областях, как квантовая физика и нанотехнологии. Физический износ или повреждение ИРК больше не вызывают беспокойства, что исключает потенциальные расхождения в измерениях массы.

#### Библиографический список

1. Эталон килограмма официально перестал быть эталоном. URL:<https://nauka.tass.ru/nauk/6815753> (дата обращения: 17.01.2024)
2. The world just redefined the kilogram. URL: <https://www.vox.com/science-and-health/2018/11/14/18072368/kilogram-kibble-redefine-weight-science> (дата обращения: 17.01.2024)

*Я. А. Лебедева\**

Студент гр. МО-21

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## О РАБОТАХ ПО ПЕРЕХОДУ ОТ «АРТЕФАКТА» КИЛОГРАММА НА ВАТТ-ВЕСЫ В РОССИИ

Рассматриваются принципы построения системы ватт-весов (весов Киббла), основные характеристики макетов технических устройств данного типа, созданных в начале 2020-х годов во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» совместно с ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» и призванных заменить «артефакт» государственного первичного эталона массы не ранее 2028 года.

**Ключевые слова:** эталон массы, весы Киббла (ватт-весы), переопределение основных единиц SI через физические константы.

*Y. A. Lebedeva\**

student, gr. MO-21

\*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

## ABOUT WORK ON THE TRANSITION FROM THE "ARTIFACT" KILOGRAM TO WATT SCALES IN RUSSIA

This article studies the principles of constructing a system of watt scales (Kibble balances), the main characteristics of the layouts of technical devices of this type, created in the early 2020s by VNIIM together with the Ural Federal University and designed to replace the "artifact" of the state primary mass standard no earlier than 2028 in Russia.

**Keywords:** mass standard, Kibble scales (watt scales), redefinition of SI basic units through physical constants.

С принятием резолюции 26-ой ГКМВ от 20 мая 2019 года первичные эталоны массы в мире ожидают существенные изменения из-за объявленного перехода от «классического» эталона килограмма («артефакта») к установке, известной как ватт-весы (джоуль-весы, весы Киббла), создаваемой с использованием фиксированной постоянной Планка. Помимо значимых последствий для науки и базовой технологии изменятся также требования к проведению метрологических работ на производстве, а также к системам управления качеством во многих областях современной промышленности [1, 2, 3].

Международный прототип единицы массы был изготовлен в 1889 году и служил в качестве основы для определения килограмма во всем мире. Однако, в течение десятилетий наблюдений, ученые заметили неустойчивость этого прототипа и его копий в разных странах. Например, на поверхности хранящейся в Великобритании одной из 40 копий эталона килограмма скопились частицы ртути [4]. Фиксация неустойчивости эталонов в результате привела к решению на разработку нового способа определения килограмма.

Во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в 2019-2020 годах был усовершенствован государственный первичный эталон единицы массы (ГПЭ) ГЭТ 3 с учётом перехода на новое определение килограмма. Благодаря модернизации погрешность передачи единицы ГЭТ 3 уменьшена в 10 раз с  $6 \cdot 10^{-9}$  кг до  $6 \cdot 10^{-10}$  кг, освоена технология вакуумного взвешивания, подтверждена точность измерений в субмиллиграммовом диапазоне [5].

Стоит отметить, что при единой концепции ватт-весов, основанной на измерении массы через измерение электрической мощности, разрабатываемые в мире ватт-весы имеют различные способы реализации. Все существующие на данный момент ватт-весы уникальны по своей конструкции и это может свидетельствовать о том, что оптимальная конфигурация ватт-весов еще не сформирована.

Путем анализа конструкций реализованных ватт-весов было определено, что существует два основных принципа построения системы ватт-весов:

- равноплечные с коромыслом или колесом;
- с использованием весовой ячейки, центральный подвес.

На основе анализа схем реализации во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» были созданы два макета технических устройств, позволяющих проводить исследования алгоритмов и процессов взвешивания неизвестной массы в диапазоне от 1 г до 10 г в соответствии с принципом ватт-весов.

В строение макета ватт-весов входят аэростатические опоры и электромагнитная система. Аэростатические опоры обеспечивают отсутствие сухого трения при перемещении (вращении) рычага и задают высокую жесткость механической системы. Вертикальность перемещения и ограничение на вращающие неперпендикулярные перемещения обеспечивают аэростатические направляющие.

Электромагнитная система макета ватт-весов была разработана и изготовлена совместно с ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (Екатеринбург). В ходе исследований были разработаны и изучены физические модели электромагнитных систем методом конечных элементов, в результате чего были изготовлены две электромагнитные системы ватт-весов. Было установлено, что не требуется защита элементов прототипа ватт-весов от полей рассеяния электромагнитной системы, так как на расстоянии 50 мм от

обеих электромагнитных систем напряженность магнитного поля не превышает напряженность вертикальной составляющей магнитного поля Земли на широте Санкт-Петербурга и Екатеринбурга[6].

Первые отечественные ватт-весы планируется сконструировать к 2028 году. До этого времени в состав ГЭТ-3 будет по-прежнему входить артефакт платиново-иридиевого килограмма.

Переход от архивного эталона килограмма к ватт-весам потребует перенастройки существующих весовых систем и установки нового оборудования в ЦСМ и лабораториях, связанных с прецизионными измерениями массы, для поддержания нового метода; ученые и техники должны быть подготовлены и обучены новым методикам и процедурам для работы с ватт-весами [7]. Тем не менее, переход к ватт-весам представляет собой важный шаг в развитии метрологии и науки в целом. Этот шаг, без сомнения, потребует времени и усилий для внедрения, но он будет иметь долгосрочные выгоды для развития научных и инженерных приложений, промышленности, торговли и здравоохранения, инновационных процессов в эпоху четвертой промышленной революции [8].

#### Библиографический список:

1. Жагора Н. А. О переопределении основных единиц измерений в международной системе единиц (SI) и способах их воспроизведения // Высшее техническое образование. 2018. Т. 2. № 2. С. 11-15.
2. Leontyuk, S.M., Vinogradova, A.A. and Silivanov, M.O. (2019), Fundamentals of ISO 9001:2015 // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1384(1), 012068.
3. Радущинский Д.А., Смирнова Е.Е., Кремчеева Д.А. Оптимизация показателей качества. Уч. пособие. СПб.: Лема, 2022, 80 с. ISBN: 978-5-00105-733-8.
4. URL: [https://masterok.livejournal.com/2388628.html?cut\\_expand=1&page=2](https://masterok.livejournal.com/2388628.html?cut_expand=1&page=2).
5. Каменских Ю. И., Снегов В. С. Эталоны-копии единицы массы: калибровка 2020 года с применением вакуумного компаратора CCL 1007 // Эталоны. Measurement Standards. 25.06.2021. С.59-71.
6. Чекирда К.В., Янковский А.А. Перспективы создания первичного эталона килограмма на основе ватт-весов// Законодательная и прикладная метрология. 2021. №5. С.13-17
7. Каменских Ю. И., Медведевских С. В., Шмигельский И. Ю. Исследование макета ватт-весов на основе монолитного весоизмерительного преобразователя // Измерительная техника. 2023. №1. С. 31-35.
8. Гоголинский К.В., Кремчеев Э.А., Кремчеева Д.А., Сытько И.И., Ушаков И.Е., Смирнова Е.Е., Сясько В.А., Виноградова А.А. Новое значение метрологии в инновационных процессах в эпоху четвертой промышленной революции // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: II международный форум. СПб.: ГУАП, 2020. С. 135–136.

*М. Ю. Морозов\**

Начальник лаборатории

*А. Н. Микрюков\**

Начальник управления, к. т. н.

*В. И. Шевцов\*\**

Начальник лаборатории, к. т. н.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗРЕАКТИВНЫХ ШУНТОВ В КАЧЕСТВЕ ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрена возможность применения безреактивных шунтов в качестве эталонов единицы силы переменного тока.

**Ключевые слова:** эталон, переменный ток, шунт.

*M. Y. Morozov\**

Laboratory director

*A. N. Mikryukov\**

Head of Department, Ph.D. of Engineering sciences

*V. I. Shevtsov\*\**

Laboratory director, Ph.D. of Engineering sciences

\*FSBI "MSHC" of Russia Federation Ministry of Defense

\*\*D. I. Mendeleev Institute for Metrology

## ON THE POSSIBILITY OF USING NON-REACTIVE SHUNTS AS STANDARDS FOR THE UNIT OF ALTERNATING CURRENT POWER

The possibility of using non-reactive shunts as standarts for the unit of alterating current strength is considered.

**Keywords:** standard, alternating current, shunt.

Измерения силы переменного тока широко применяются в различных областях промышленности. Передача единицы силы переменного тока средствам измерений согласно государственной поверочной схеме для средств измерений силы переменного тока производится от ГПЭ 88-2014 при помощи эталонов 1-го и 2-го разряда. В настоящее время в нашей стране парк эталонов 2-го разряда единицы силы переменного тока представлен довольно широко. Однако проблемным является вопрос обеспечения их поверки, так как парк эталонов 1-го разряда устарел и требует обновления.

В ходе проведения ОКР по разработке вторичного эталона единицы силы переменного тока исполнителем (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева») было предложено включить в его состав шунты производства фирмы «Флюк».

Данные шунты переменного тока представляют собой сопротивления, на которых протекающий ток вызывает падение напряжения. С увеличением частоты индуктивность резисторов и подводящих проводников затрудняет точные измерения. Поэтому их метрологические характеристики нормируются при измерении силы переменного тока при частотах до 100 кГц. При измерении силы переменного тока на частотах свыше 100 кГц, необходимо введение индивидуальных поправок для каждого шунта.

Ввиду невозможности поставки оборудования из недружественных стран потребовалось найти альтернативное решение. В результате проведенного анализа исполнителем было предложено применить в составе вторичного эталона доработанные шунты токовые эталонные безреактивные серии ШЭ производства ООО «НПП Марс-Энерго». Предложенные шунты имеют аналогичную конструкцию и характеристики. В основе их конструкции лежит принцип «беличья клетка», который впервые был изобретен во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Проведенные исследования показали, что их метрологические характеристики соответствуют требованиям, предъявляемым к вторичным эталонам согласно государственной поверочной схеме для средств измерений силы переменного тока.

Оценка научно-технического уровня разработки шунтов безреактивных ШЭ показала возможность их применения в качестве эталона 1-го разряда. Данные шунты могут быть предложены для оснащения региональных центров метрологии после проведения испытаний в целях утверждения типа. Область применения полученных результатов позволит метрологически обеспечить современные и перспективные образцы измерительной техники в части передачи единицы силы переменного тока.

### Библиографический список

1. Комплект шунтов переменного тока эталонных безреактивных ШЭ. Паспорт. НФЦР.411914.033ПС.

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

УДК 528.835

*А. Е. Агафонов\**

студент

*Е. Д. Пономарева\**

студент

*И. В. Мателенок\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## О ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ УГЛОМ ПАДЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ПРИ АКТИВНОМ ЗОНДИРОВАНИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

В работе рассмотрены некоторые особенности наземного лазерного сканирования покрытых снегом объектов. На материале данных полевых работ изучена связь интенсивности отражённого сигнала с углом падения излучения на поверхность снега. По результатам исследования выдвинуто предположение о сходстве отражательных свойств влажного неоднородного снега с таковыми у ортотропных поверхностей.

**Ключевые слова:** коротковолновое инфракрасное излучение, лазерное сканирование, лидар, снежный покров, угол падения.

*A. E. Agafonov\**

undergraduate student

*E. D. Ponomareva\**

undergraduate student

*I. V. Matelenok\**

PhD, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ABOUT THE PRESUMED RELATIONSHIP BETWEEN INCIDENCE ANGLE AND REFLECTED SIGNAL INTENSITY FOR ACTIVE SENSING OF SNOW COVER IN SWIR

The article considers some aspects of terrestrial laser scanning of snow-covered objects. The relationship between the signal scattered by snow surface and the incidence angle was studied on the basis of field work data. As a result, an assumption was made that reflectivity of wet heterogeneous (with impurities) snow resemble those of orthotropic surfaces.

**Keywords:** incidence angle, laser scanning, LiDAR, snow cover, SWIR.

При использовании наземного лазерного сканирования для оценки формы и взаимного расположения объектов в период залегания снежного покрова ключевой особенностью исследуемых сцен является существенное отличие снежного покрова от других природных и рукотворных элементов среды по отражательной способности на рабочих длинах волн современных сканеров. Для снега характерно резкое уменьшение величины коэффициента отражения в коротковолновой области инфракрасного диапазона спектра [1, 2]. Исследователи вынуждены работать с отраженным сигналом малой интенсивности, которая может оказаться недостаточной для регистрации положения покрытых снегом объектов, удаленных на большое расстояние от сенсора [3]. Этим обуславливается необходимость углубленного исследования оптических свойств снега на разных стадиях метаморфизма и их влияния на результаты лазерного сканирования.

Описанная проблема, в частности, актуальна для лазерного 3D сканера Trimble X7, использующего длину волны  $1550 \pm 20$  нм [4]. В рамках настоящей работы анализировались данные сканирования в виде облаков точек, полученные в ходе полевых работ на участке леса в границах Сосновского сельского поселения Приозерского района Ленинградской области. В качестве инструментов применялись свободно распространяемое программное обеспечение CloudCompare и язык программирования R.

На рассматриваемом этапе исследования выполнялась работа с фрагментом облака точек, соответствующим компактному участку поверхности земли под пологом леса, покрытому влажным снегом с крупными неоднородностями. Точкам облака поставлены в соответствие значения интенсивности отражённого сигнала, за-

фиксированные сканером. Также для фрагмента было получено скалярное поле, несущее информацию об ориентации элементарных площадок: в каждой его точке значение равнялось величине угла между локальной нормалью и лучом, задающим направление визирования.

Была построена диаграмма рассеяния, отражающая соответствие интенсивности принятого сигнала величине указанного выше угла. Максимальная плотность точек наблюдалась вдоль оси, по которой откладывались значения угла, что показывала линия тренда, проходившая практически параллельно ей на некотором расстоянии, а также визуализация плотности расположения точек в пространстве изучаемых переменных.

Эти результаты согласуются с данными о форме связи между отражательной способностью и углом визирования, присущей ортотропным поверхностям [5], что позволяет говорить о том, что влажному неоднородному снежному покрову в коротковолновой области инфракрасного диапазона может быть свойственно диффузное отражение. Для проверки выдвинутой гипотезы требуется более глубокий анализ имеющихся данных, в том числе оценка влияния на уровень сигнала масштаба неоднородностей, и экспериментальное подтверждение предположений, над чем и продолжается работа.

#### **Библиографический список**

1. Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований / Акад. наук СССР. Лаборатория аэрометодов. – М; Л: Изд-во и 2-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР в М., 1947. – 272 с.
2. Dozier J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper // Remote Sensing of Environment. – Vol. 28. – 1989. – P. 9–22.
3. Deems J. S. Lidar measurement of snow depth: a review / J. S. Deems, T. H. Painter, D. C. Finnegan // Journal of Glaciology. – 2013. – Vol. 59. – No. 215. – P. 467–479.
4. Trimble Geospatial. Laser scanning. Trimble X7. URL: <https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-x7> (дата обращения: 29.01.2024)
5. Иванов В. П. Трехмерная компьютерная графика / В. П. Иванов, А. С. Батраков. Под ред. Г. М. Полищука. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.

*М. В. Аскерко\**

аспирант, инженер-исследователь

*С. М. Зорин\**

к. т. н., начальник сектора

\*АО «Российские космические системы»

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛИМАТОРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ЮСТИРОВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ ВИДИМОГО И ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ

Представлена методика определения фокусного расстояния и диаметра выходного зрачка коллиматора, необходимого для проведения контрольно-юстировочных операций при создании спутниковой аппаратуры ДЗЗ видимого и инфракрасного диапазонов. Приведены критерии, которые влияют на выбор оптической схемы и параметров коллиматора.

**Ключевые слова:** коллиматор, контрольно-юстировочные приборы, дистанционное зондирование земли, видимый спектр, инфракрасный спектр

*M. V. Askerko\**

graduate student, research engineer

*S. M. Zorin\**

Ph. D. Tech., chief of section

\*Joint Stock Company "Russian Space Systems"

## METHOD FOR DETERMINATION OF THE COLLIMATOR CHARACTERISTICS FOR CARRYING OUT CONTROL AND ADJUSTMENT OPERATIONS UPON ERS VISIBLE AND INFRARED RANGE SATELLITE EQUIPMENT CREATION

A collimator is necessary for carrying out control and adjustment operations upon ERS visible and infrared range satellite equipment creation. A method for determination of the collimator focal length and exit pupil diameter is presented. There are criteria that influence the choice of optical design and collimator parameters.

**Keywords:** collimator, testing and adjusting tools, Earth remote sensing, visible spectrum, infrared spectrum

В современном мире растут требования к качеству данных, получаемых аппаратурой ДЗЗ, что задает тенденцию к увеличению разрешающей способности оптических систем (ОС) аппаратуры. Повышение качества ОС аппаратуры ведет к росту требований к контрольно-юстировочным приборам, используемым при ее создании. Одним из таких приборов является коллиматор, который обеспечивает юстировку ОС и является необходимым для проведения настройки и оценки соответствия характеристик прибора требованиям технического задания.

Для обеспечения корректных измерений необходимо, чтобы коллиматор имел наименьшее влияние на изображение, формируемое ОС аппаратуры. Одним из требований к объективу коллиматора (ОК) является значение модуля передаточной функции (МПФ) на рабочей частоте ОС аппаратуры, которое должно стремиться к единице. В случае недостижимости этого требования по конструктивным и технологическим причинам, значение МПФ должно быть учтено при получении конечного результата оценки характеристик аппаратуры. При использовании коллиматора для контроля большой номенклатуры ОС аппаратуры необходимо учитывать диапазон ее рабочих частот. При широком диапазоне рабочих частот, желательно избегать схемы ОК с экранированием, что снижает значение МПФ ОК на средних частотах [1].

Для повышения универсальности коллиматора необходимо обратить внимание на обеспечение широкого рабочего спектрального диапазона ОК (видимая и инфракрасная области спектра). В этом случае на качество выходного светового пучка коллиматора сильно влияют хроматические аберрации, исключить которые можно при использовании зеркальных ОС [2].

Также на качество пучка, формируемого ОК, влияет децентрировка тест-объекта в его фокальной плоскости. Снизить влияние данного фактора на качество формируемого пучка возможно при соотношении фокусных расстояний ОК  $f'_k$  и измеряемой ОС аппаратуры  $f'_{oc}$  [3]:

$$f'_k = (3...5)f'_{oc}.$$

Диаметр выходного зрачка ОК может быть определен для конкретной аппаратуры при использовании аппроксимации МПФ [4] с учетом линейного увеличения системы ОК и ОС аппаратуры, если известны фокусное расстояние измеряемой ОС  $f'_{oc}$ , средняя длина волны спектрального диапазона аппаратуры  $\lambda$ , рабочая частота ОС аппаратуры  $\nu$ :

$$D_{зр} = \lambda f_{OC}' v / (1 - M),$$

где  $M$  – требуемое значение МПФ ОК на рабочей частоте ОС аппаратуры  $v$ .

Кроме того, диаметр выходного зрачка ОК не должен быть менее входного зрачка ОС аппаратуры, т. к. это уменьшит апертуру ОС аппаратуры и, как следствие ухудшит ее МПФ, а также не позволит оценить характеристики всех элементов фотоприемного устройства.

Для аппаратуры спутника Worldview-3 по описанной методике были рассчитаны характеристики коллиматора, необходимого для оценки ее параметров. С учетом данных для ОС [5,6]:  $f_{OC}' = 13,3$  м,  $\lambda = 1,8$  мкм,  $v = 6,3$  мм<sup>1</sup> – диаметр зрачка ОК и его фокусное расстояние должны составлять 1508 мм и 45 м соответственно при значении МПФ 0,9 на рабочей частоте.

#### Библиографический список

1. Host, Gerald C. Electro-optical imaging system performance second edition // – Florida USA: JCD publishing, 2000. – 455 с.
2. Заказнов, Н. П. Теория оптических систем: Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов // – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.
3. ГОСТ 13095-82 Объективы Методы измерения фокусного расстояния.
4. Мосягин, Г. М. Теория оптико-электронных систем: учеб. пособие // М.: Изд-во МГТУ, 2020. – 348 с.
5. Salehi, T., H. Tangestani, M. Evaluation of WorldView-3 VNIR and SWIR Data for Hydrothermal Alteration Mapping for Mineral Exploration: Case Study from Northeastern Isfahan, Iran // Natural Resources Research, 2020 – V. 29. – P. 3479–3503.
6. Сидоров, Н. К., Тюлин, А. Е., Волков, С. А. Реальное инструментальное разрешение на местности зарубежных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли сверхвысокого разрешения // Авиационная и ракетно-космическая техника, 2019. – №1. – С.150–159.

**Б. А. Аюков\***

к. т. н., доцент

**И. А. Вельмисов\***

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Рассматривается системный подход к исследованию эксплуатационной надежности авиационной радиоэлектронной аппаратуры. Отмечается специфика аппаратуры и условий ее эксплуатации, важность дополнительных характеристик надежности. В общем виде показана, зависимость эксплуатационной надежности от действующих факторов.

**Ключевые слова:** авиационная радиоэлектронная аппаратура, эксплуатация, надежность, дестабилизирующие факторы.

**B. A. Ayukov\***

PhD, Tech., Associate Professor

**I. A. Velmisov\***

Dr. Sc., Tech., Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## STUDY OF OPERATIONAL RELIABILITY OF AVIATION RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

A systematic approach to studying the operational reliability of aviation electronic equipment is considered. The specifics of the equipment and its operating conditions, as well as the importance of additional reliability characteristics are noted. In general, the dependence of operational reliability on existing factors is shown.

**Keywords:** aviation electronic equipment, operation, reliability, destabilizing factors.

Среди различных задач, возникающих при эксплуатации авиационной радиоэлектронной аппаратуры (АРЭО), важнейшей задачей является обеспечение ее надежной работы. Обусловлено это снижением уровня надежной работы аппаратуры под действием многочисленных и разнообразных дестабилизирующих факторов. Возникающие при этом отказы и неисправности могут привести к тяжелым летным происшествиям, задержкам вылетов самолетов.

В этих условиях важную роль в обеспечении безопасности и регулярности полетов самолетов играют своевременные меры предупреждения отказов и неисправностей АРЭО. Для выработки таких мер проводятся исследования надежности радиоэлектронной аппаратуры на различных этапах ее существования.

Используем системный подход исследования надежности АРЭО в условиях эксплуатации. При таком подходе эксплуатационная надежность представляется как технический параметр аппаратуры и используется в качестве целевой функции. Для формального представления целевой функции в общем виде рассмотрим специфические особенности АРЭО и условий ее эксплуатации. Специфика состоит в том, что указанная аппаратура является восстанавливаемой аппаратурой многократного применения, отличающейся сложностью, большой разнотипностью и различной модификацией [1]. Аппаратура эксплуатируется в условиях вредного действия окружающей среды.

Опыт эксплуатации, анализ причин, влияющих на эксплуатационную надежность, позволяют выделить ряд дестабилизирующих факторов, влияющих на надежность самолетной радиоэлектронной аппаратуры. Учесть большинство факторов, существенно влияющих на надежность аппаратуры, позволяют количественные критерии, которые являются общими в оценке надежности.

В работе [2] предлагается большое число различных количественных характеристик надежности, используемых для расчета надежности не только систем, но и элементов. Применительно к восстанавливаемым системам многократного использования количественными критериями являются  $P(t)$  – вероятность безотказной работы,  $f_{cp}(t)$  – средняя частота отказов,  $T_o$  – среднее время наработки на один отказ,  $T_e$  – среднее время восстановления.

Однако перечисленные критерии не учитывают времени, затраченного на профилактические мероприятия и ремонт, удобства эксплуатации, готовности аппаратуры к действию в данный момент времени, стоимости эксплуатации и т.п.

Учитывать более тесную связь эксплуатационной надежности с эксплуатационными характеристиками самолетной радиоэлектронной аппаратуры позволяют дополнительные характеристики (коэффициенты):  $K_z$  – коэффициент готовности,  $K_{oo}$  – относительный коэффициент отказов,  $K_{np}$  – коэффициент профилактики,  $K_{cэ}$  – коэффициент стоимости эксплуатации,  $K$  – коэффициент простоя и другие.

В результате комплексного воздействия различных факторов значительно ускоряются процессы износа и старения элементов, в связи с чем в аппаратуре возникают внезапные и постепенные отказы. В общем виде эксплуатационную надежность можно представить как целевую функцию многих переменных возмущающих факторов, изменяющихся во времени,

$$R_{\text{эспл}} = \varphi(\alpha, \beta, \gamma, \dots, x, t),$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, x, t$  – возмущающие факторы.

В ряде случаев наибольшее воздействие может оказывать группа доминирующих технологических факторов. Тогда эксплуатационную надежность можно рассматривать как целевую функцию доминирующих факторов и времени. Зависимость эта сложная, так как, во-первых, сама эксплуатационная надежность характеризуется, как показано, целым рядом показателей и, во-вторых, действие возмущающих факторов в большинстве случаев носит случайный характер. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на обоснованный выбор показателя или группы показателей эксплуатационной надежности, которые бы наиболее полно характеризовали эксплуатационную надежность АРЭО в конкретных условиях эксплуатации; на раскрытие характера и степени влияния возмущающих дестабилизирующих факторов на показатели эксплуатационной надежности.

Важным при этом является выбор форм связи, характеризующей зависимость эксплуатационной надежности от ряда технологических факторов процесса эксплуатации АРЭО [3].

В условиях эксплуатации надежная работа ФРЭО может быть обеспечена, если учесть действующие на надежность факторы и выработать мероприятия по ограничению вредного влияния доминирующих дестабилизирующих факторов. Для решения этой задачи может быть использован системный подход.

#### **Библиографический список**

1. Власов О. В., Смолкин И. В. Радиооборудование летательных аппаратов. Воениздат, 1971.
2. Половко А. М., Гуров С. М. Основы теории надежности. ВНУ- Санкт-Петербург, 2006. 560 с.
3. Юрков Н. К., Кочегаров И. И., Трусов В. А. Разработка единой надежно-ориентированной модели радиоэлектронных средств / Труды международного симпозиума Надёжность и качество. 2020. Т. 1. – С. 19–21.

**Б. А. Аюков\***

к. т. н., доцент

**А. Ф. Крячко\***

д. т. н., заведующий кафедрой

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА РТС

Рассматривается возможность повышения точности угломерных измерений РТС с ФАР и повышение надежности ее работы за счет увеличения разрядности фазовращателей и использования специального кода управления.

**Ключевые слова:** радиотехнические системы, фазированная антенная решетка, фазовращатель, точность, надежность.

**B. A. Ayukov\***

PhD, Tech., Associate Professor

**A. F. Kryachko\***

Doctor of Technical Sciences, Head of Department

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## USING REDUNDANCY TO IMPROVE THE ACCURACY AND RELIABILITY OF THE RTS ANGLE CHANNEL

The possibility of increasing the accuracy of goniometric measurements of RTS with phased array and increasing the reliability of its operation by increasing the bit capacity of phase shifters and using a special control code is being considered.

**Keywords:** radio systems, phased array antenna, phase shifter, accuracy, reliability.

Радиотехнические системы (РТС) решают широкий круг разнообразных задач, связанных с приемом, обработкой и передачей информации. Носителями информации являются параметры радиосигнала. Например, при измерении параметров движения различных летательных аппаратов (ЛА), задержка сигнала характеризует расстояние до ЛА, а угловое положение ЛА может быть оценено по изменению фазы принимаемого радиосигнала. Оценка конкретных значений параметров радиотехнического сигнала, принимаемого в условиях действия разнообразных помех, представляет существенные трудности и требует сложной аппаратурной реализации. Решение вопросов оценки параметров в меняющихся или малоизвестных условиях еще более усложняют возможности оптимизации этой процедуры в реальном масштабе времени. Поэтому оптимизация обработки входящего сигнала в сложных РТС может быть осуществлена только при широком использовании управляющих вычислительных устройств (УВВУ). УВВУ позволяют реализовать сложные алгоритмы управления и обработки сигнала в условиях недостаточности априорных сведений о помеховой обстановке. При этом удается сочетать точность оценок параметров, пропускную способность РТС и ее помехоустойчивость с надежностью работы и эксплуатационной технологичностью. Таким образом, УВВУ РТС решает в реальном времени задачу текущей оптимизации в соответствии с многомерным критерием качества работы.

Точность оценки координат объекта наблюдения определяется целым рядом факторов. В первую очередь, конечно, самим объемом выборки отраженного сигнала. С другой стороны, точность оценок зависит от того как программным путем осуществлено формирование зондирующего сигнала и как, с какой надежностью аппаратных средства РТС осуществили излучение этого сигнала. Точность оценки зависит также от того, как аппаратные средства приемного тракта осуществили обработку поступившего сигнала, а программные средства вторичной обработки извлекли полезную информацию на фоне аддитивной и мультипликативной помех [1].

Эксплуатация РТС с угломерным каналом показывает, что фазовращатели на р-і-п диодах часто имеют недостаточную надежность, особенно в РТС с ограниченным объемом обслуживаемых работ и в РТС с ограниченной ремонтпригодностью [2]. Одиночный отказ секции много разрядного СВЧ фазовращателя в передающей (или в совмещенной) ФАР может привести к перераспределению ВЧ токов между излучателями и к превышению предельно допустимых эксплуатационных параметров р-і-п диодов. Это в свою очередь может привести к выходу из строя группы соседних фазовращателей, а следовательно, к существенному ухудшению эксплуатационных характеристик РТС в целом [3].

Аналогичный отказ секции фазовращателя в приемной ФАР приводит к снижению точностных характеристик РТС, а также к ухудшению ее помехозащищенности из-за увеличения уровня боковых лепестков [4].

В качестве примера можно рассмотреть трехразрядный фазовращатель и оценить его точность при выходе из строя различных разрядах при традиционном методе управления. Далее рассмотрен также фазовращатель

с добавлением еще одного разряда. При условии, что обеспечена возможность оценки состояния каждого разряда, осуществлена оценка его точности работы. Одновременно показано, каким должен быть код управления состоянием фазовращателя с избыточностью.

Путем введения избыточности и использования предлагаемого управляющего кода удастся существенно повысить надежность фазовращателя, а следовательно и ФАР в целом и заметно повысить точность измерения.

#### **Библиографический список**

1.

1. Хохлов Г. В., Солоха Е. И. Оценка надежности фазированных антенных решеток.- В кн.: Антенны / Под ред. А. А. Пистолькорса. Вып. 26, М., Связь, 1978, с. 135–146.

2. Климашевская В. А. Влияние отказов на характеристики ФАР. – В кн.: Электродинамика и распространение волн, вып. 1, Томск, 1980, с. 91–95.

3. Крячко А. Ф. Флюктуации направления главного максимума антенной решетки при отказах фазовращателей / Крячко А. Ф., Аюков Б. А., Невейкин М. Е. / Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве II Межд. Форум 9 ноября 2022 г. Сб. тезисов докладов. СПб, Изд-во ГУАП, с.142–145. Степаненко В. Д. Радиолокация в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1973, 342 с.

*М. Р. Бибарсов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В МИМО СИСТЕМАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

Проведен анализ применения адаптивных антенных решеток для увеличения пропускной способности системы связи. Рассмотрены традиционные технологии временного, частотного и кодового разделения сигналов. Сформулированы выводы по обеспечению эффективности множественного доступа с применением МИМО систем.

**Ключевые слова:** Адаптивные антенные решетки, МИМО (multiple-input multiple-output) системы, энергетическое, временное, частотное, кодовое, пространственное, поляризационное разнесение

*M. R. Bibarsov\**

Ph. D., Associate Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## APPLICATION OF ADAPTIVE ANTENNA ARRAYS IN MIMO SYSTEMS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF MULTIPLE ACCESS

An analysis of the use of adaptive antenna arrays to increase the capacity of a communication system has been carried out. Traditional technologies of time, frequency and code separation of signals are considered. Conclusions are formulated to ensure the efficiency of multiple access using MIMO systems.

**Keywords:** adaptive antenna arrays, MIMO (multiple-input multiple-output) systems, energy, time, frequency, code, spatial, polarization separation

Адаптивные антенные решетки (ААР) нашли широкое применение в различных областях радиотехники: радиосвязи, радиолокации, навигации и т.д. [1-6]. Основное назначение таких многоэлементных антенных систем заключается в подавлении помех в месте приема радиосигналов и формировании максимума диаграммы направленности на корреспондента с запретом излучения в определенных направлениях на передающей стороне. Вместе с тем в настоящее время развивается направление применения ААР для решения задач обеспечения высокой скорости передачи информации и повышения качества обслуживания пользователей (уменьшение вероятности ошибки), которое требует дальнейшего развития.

В докладе предлагается анализ применения ААР для увеличения пропускной способности системы связи в целом.

Традиционно предлагаются два подхода к решению проблемы: увеличение ширины частотного спектра сигналов, используемых в системе связи, и/или увеличение мощности передатчиков. Однако выделяемые участки радиочастотных диапазонов весьма ограничены, а высокий уровень мощности передатчиков может не соответствовать требованиям биологической защиты. Кроме того, канал связи является многолучевым и случайным, что накладывает дополнительные ограничения на полосу пропускания. Таким образом, задачу увеличения скорости передачи данных необходимо решать в условиях жестких ограничений на частотную полосу сигналов и мощность передающих устройств.

Известные технологии временного (TDMA), частотного (FDMA) или кодового (CDMA) разделения пользователей уже не способны удовлетворить возрастающие потребности пользователей инфокоммуникационных сервисов. Поэтому исследование и разработка новых, более эффективных и емких методов множественного доступа к радиоэффиру является актуальной.

Одним из перспективных путей решения проблемы является использование многоэлементных ААР как на приемном, так и на передающем участках линии связи. Такие системы связи называют МИМО (multiple-input multiple-output) системами, которые позволяют для повышения эффективности приема в линиях радиосвязи применять практически все виды разнесения широкополосных сигналов: энергетического, временного, частотного, кодового, пространственного и поляризационного [7,8]. Вследствие этого пропускная способность МИМО систем теоретически может быть увеличена пропорционально числу антенных элементов по сравнению с обычными системами связи, использующими одноэлементные антенны (без увеличения полной излучаемой мощности и полосы частот). Кроме того, комплексное применение различных видов разнесения широкополосных сигналов в новых поколениях сотовой связи (5G, 6G), интернет сервисов, спутниковой и других родов связи обеспечит эффективную организацию множественного доступа.

В последнее время проводились исследования по повышению эффективности передачи/приема информации с применением отдельных видов разнесения сигналов перед их демодуляцией и детектированием. Например, при пространственной обработке использовались следующие основные методы: максимально правдоподобная

оценка переданных данных, обращение матрицы коэффициентов передачи между передающими и приемными антеннами, и оценка по минимуму среднеквадратической ошибки. Однако, исследования комплексного применения указанных видов разнесения или их сочетаний в ММО системах множественного доступа не проводилось.

Таким образом, анализ обработки широкополосных сигналов в ММО системах показал, что перспективным направлением обеспечения эффективности множественного доступа является исследование основных закономерностей комплексного применения различных видов разнесения широкополосных сигналов с использованием ААР.

#### Библиографический список

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. М.: Радио и связь, 1986. 448 с.
2. Пистолькорс А. А., Литвинов О. С. Введение в теорию адаптивных антенн. – М.: Наука, 1991. – 200 с.
3. Алешин С. Л., Бибарсов М. Р., Новиков А. Н. Методика пространственно-временной обработки широкополосных сигналов и ее реализации в адаптивных антенных решетках. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 221–227.
4. Габриэлян Д. Д., Бибарсов М. Р., Новиков А. Н., Алешин С. Л. Метод формирования «нулей» диаграммы направленности адаптивной антенной решетки для подвижных источников излучения. Антенны. 2019. № 1 (255). С. 59–64.
5. Оптимальная обработка широкополосных сигналов в адаптивных антенных решетках систем радиосвязи, радионавигации и радиолокации / Бибарсов М. Р., Боков А. Н., Габриэлян Д. Д., Новиков А. Н. // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 6. С. 22–26.
6. Бибарсов М. Р., Алешин С. Л., Габриэлян Д. Д., Ладыка М. Б. Алгоритм адаптации для антенной решетки систем космической связи в стационарных условиях сигнально-помеховой обстановки. Информация и космос. 2016. № 4. С. 15–21.
7. Ермолаев В. Т., Флакман А. Г. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи / Монография. Нижний Новгород: Изд. ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. – 368 с.
8. Palomar D. P., Lagunas M. A., Cioffi J. M. Optimum Linear Joint Transmit Receive Processing for MIMO Channels with QoS Constraints // IEEE Trans. Signal Process. 2004. V. 52. No. 5, P. 1179–1197.

*М. Р. Бибарсов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОМ СКАНИРОВАНИИ

Проведен анализ энергетических характеристик широкополосных радиосигналов, применяемых при пространственно-поляризационной обработке. Приведены варианты учета энергетики сигнала по отношению к шуму в полосе частот. Сформулированы выводы по выбору базового варианта.

**Ключевые слова:** мощности и спектральные плотности сигнала и шума, широкополосный сигнал, отношение сигнал/шум, пространственно-поляризационное сканирование

*M. R. Bibarsov\**

Ph. D., Associate Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ENERGY CHARACTERISTICS OF BROADBAND RADIO SIGNALS DURING SPATIALLY POLARIZED SCANNING

An analysis of the energy characteristics of broadband radio signals used in spatial polarization processing has been carried out. Options for taking into account signal energy in relation to noise in the frequency band are given. Conclusions on the choice of the basic option are formulated.

**Keywords:** power and spectral densities of signal and noise, broadband signal, signal-to-noise ratio, spatial polarization scanning.

В современных радиоэлектронных системах с антенными решетками применяют в основном широкополосные сигналы (ШПС) со сложным спектром, ширина которого вполне конечна [1-8]. Поэтому представляет интерес исследование учета энергетических характеристик радиосигналов в полосе частот при измерении их пространственно-поляризационных параметров.

Известно, что к энергетическим характеристикам относятся мощности сигнала  $P_C$  и шума  $P_{\text{ш}}$ , а также их спектральные плотности  $G_C(\omega)$  и  $G_{\text{ш}}(\omega)$ . При анализе широкополосных измерителей в качестве энергетической характеристики целесообразно применять параметр, который не зависит от ширины полосы. В случае, если полосы пропускания измерителя и источника радиоизлучения совпадают (например, управлении базой ШПС), этим параметром может быть мощность сигнала, если же такого совпадения нет – спектральная плотность мощности  $G_{\text{ш}}(\omega)$ .

Использование мощности шума в качестве его энергетической характеристики справедливо, когда преобладающими являются внутренние шумы приемного тракта измерителя. Это характерно для диапазона сверхвысоких частот, где внешними шумами можно пренебречь. В этом случае использование мощности шума  $P_{\text{ш}}$  дает энергетическую характеристику, независимую от ширины полосы. На измеритель, работающий в более низкочастотных диапазонах, существенное влияние оказывают внешние шумы, энергетика которых может быть учтена с помощью заданной спектральной плотности мощности шума  $G_{\text{ш}}(\omega)$ , инвариантной к ширине полосы.

Таким образом, в изменяемой полосе частот возможны четыре случая учета энергетики сигнала по отношению к шуму.

1. Заданы мощности сигнала  $P_C$  и шума  $P_{\text{ш}}$ . Для отношения сигнал/шум (ОСШ) справедливо выражение  $q = P_C / P_{\text{ш}}$ .

2. Заданы мощность сигнала  $P_C$  и спектральная плотность мощности шумов  $G_{\text{ш}}(\omega)$ . Рассмотрим энергетический параметр  $Q_2(\omega)$ , определяемый выражением  $Q_2(\omega) = P_C / G_{\text{ш}}(\omega)$ . Поскольку его использование для исследования точностных характеристик затруднительно, введем параметр  $Q_2(\omega_0) = P_C / G_{\text{ш}}(\omega_0)$ , где  $\omega_0$  – средняя частота спектра. В частном случае, при равномерном распределении мощности шумов в анализируемой полосе частот  $Q_2(\omega) = Q_2(\omega_0) = Q_2$ .

3. Заданы спектральные плотности мощности сигнала  $G_C(\omega)$  и шума  $G_{\text{ш}}(\omega)$ . В данном случае относительная энергетика характеризуется выражением  $Q_3(\omega) = G_C(\omega) / G_{\text{ш}}(\omega)$ . При равномерных спектральных плотностях сигнала и шумов имеем  $Q_3(\omega_0) = G_C(\omega_0) / G_{\text{ш}}(\omega_0) = G_C / G_{\text{ш}}$ , т.е. значение параметра  $Q_3$  совпадает с  $q$ .

4. Заданы мощность шумов  $P_{\text{ш}}$  и спектральная плотность мощности сигнала  $G_C(\omega)$ . В качестве ОСШ рассмотрим параметр  $Q_4$ , определяемый как  $Q_4(\omega) = G_C(\omega) / P_{\text{ш}}$  или на средней частоте спектра  $Q_4(\omega_0) = G_C(\omega_0) / P_{\text{ш}}$ . Для равномерной спектральной плотности мощности сигнала  $Q_4 = G_C / P_{\text{ш}}$ .

В дальнейшем полагаем, что спектральная плотность мощности сигнала и шумов имеет равномерное распределение. Тогда для учета энергетической характеристики ШПС простейшим будет первый вариант при котором используется параметр  $q$ . Третий вариант учета ОСШ в данном случае полностью совпадает с первым. Анализ влияния широкополосности при втором варианте учета ОСШ в принципе сводится к первому поскольку при равномерном спектре шума расширение полосы измерителя эквивалентно увеличению мощности шумов при неизменной мощности сигнала. В связи с этим изменение энергетических характеристик измерителя с расширением его полосы эквивалентно уменьшению ОСШ при использовании параметра  $q$ . Аналогично расширение полосы для четвертого варианта эквивалентно повышению ОСШ. Следовательно, для учета энергетических соотношений целесообразно в качестве базового выбирать первый вариант.

#### Библиографический список

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. М.: Радио и связь, 1986. 448 с.
2. Пистолькорс А. А., Литвинов О. С. Введение в теорию адаптивных антенн. – М.: Наука, 1991. – 200 с.
3. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
4. Лосев Ю. И., Бердников А. Г., Гойхман Э. Ш., Сизов Б. Д. Адаптивная компенсация помех в каналах связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
5. Алешин С. Л., Бибарсов М. Р., Новиков А. Н. Методика пространственно-временной обработки широкополосных сигналов и ее реализации в адаптивных антенных решетках. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 221–227.
6. Габриэльян Д. Д., Бибарсов М. Р., Новиков А. Н., Алешин С. Л. Метод формирования «нулей» диаграммы направленности адаптивной антенной решетки для подвижных источников излучения. Антенны. 2019. № 1 (255). С. 59–64.
7. Оптимальная обработка широкополосных сигналов в адаптивных антенных решетках систем радиосвязи, радионавигации и радиолокации / Бибарсов М. Р., Боков А. Н., Габриэльян Д. Д., Новиков А. Н. // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 6. С. 22–26.
8. Бибарсов М. Р., Габриэльян Д. Д., Новиков А. Н. Оптимальное восстановление спектра широкополосных сигналов в условиях помех с использованием адаптивных антенных решеток. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 3 (126). С. 49–52.

*М. Р. Бибарсов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Рассмотрены антенны, применяемые на летательных аппаратах и программно-аппаратных наземных комплексах связи и управления. Проведен анализ требований к антенным системам, размещаемым на ЛА и наземных комплексах, позволивший сформулировать выводы и обосновать применение адаптивных антенных решеток в системе управления летательными аппаратами.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, программно-аппаратный наземный комплекс управления связи и управления, адаптивные антенные решетки.

*M. R. Bibarsov\**

Ph. D., Associate Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## RATIONALE FOR THE APPLICATION OF ADAPTIVE ANTENNA ARRAYS IN AN AIRCRAFT CONTROL SYSTEM

Antennas used on aircraft and software and hardware ground communication and control systems are considered. An analysis of the requirements for antenna systems placed on aircraft and ground systems was carried out, which made it possible to formulate conclusions and justify the use of adaptive antenna arrays in the aircraft control system.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, software and hardware ground communication and control complex, adaptive antenna arrays.

На летательных аппаратах (ЛА), в том числе беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) как и программно-аппаратных наземных комплексах связи и управления (ПАНКСУ) наряду с антеннами в виде одиночных излучателей применяются также антенны в виде решеток излучателей. Такие антенные системы определенным образом расположены либо вблизи корпуса ЛА, либо на самом корпусе [1, 2]. Чаще всего применяются щелевые антенные решетки (АР), однако используются также решетки вибраторов, шлейфов, спиралей и других излучателей. Установка АР на ЛА ограничена его размерами в отличие от программно-аппаратных наземных комплексов. Однако, в настоящее время адаптивные антенные решетки (ААР) не применяются на ЛА и ПАНКСУ.

В докладе предлагается обоснование применения ААР на ЛА и ПАНКСУ, поскольку такие типы антенных систем в последнее время получили значительный прогресс в развитии и имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными антеннами. Адаптивные антенные решетки позволяют формировать диаграмму направленности необходимой формы в процессе обработки принимаемых сигналов с целью выполнения следующих функций: – подавление помех в месте приема; значительное уменьшение уровня излучения в запрещенных направлениях; – одновременное сопровождение нескольких объектов с подавлением помех, – устранение влияния многолучевости [3–7].

Размещение системы излучателей на ПАНКСУ не представляет трудностей и позволяет на этом комплексе применять практически любые антенные системы в соответствии с предназначением. Вместе с тем к размещению антенных элементов ААР на ЛА предъявляются более жесткие требования: радиотехнические, механические, температурные. Такими требованиями помимо указанных возможностей ААР являются: аэродинамическое сопротивление, размеры и вес, механическая прочность, температуростойкость, электрическая прочность, размещение ААР, поляризационные и фазовые характеристики, диапазон частот и т.д. Эти требования являются противоречивыми. Поэтому при разработке как ЛА так и устанавливаемых антенных комплексов необходимо искать разумный компромисс, принимая во внимание какие из требований являются более важными, а какими требованиями можно пренебречь.

При разработке антенн для ЛА в последнее время применяют расчетные методы, заключающиеся в том, что корпус ЛА (или его часть), на которой расположена антенна (решетка излучателей), могут быть с достаточным приближением аппроксимированы поверхностью правильной геометрической формы. Такая замена имеет смысл лишь в том случае, когда для аппроксимирующей поверхности известно решение соответствующей граничной задачи.

На выбор аппроксимирующей поверхности могут оказывать влияние следующие факторы: – геометрическая форма корпуса ЛА; – расположение излучателей на корпусе ЛА; – относительные (в длине волны) размеры той части корпуса, на которой расположен излучатель (система излучателей), – сектор углов, в котором определяется поле излучения, тип излучателя (системы излучателей), его относительные размеры и распределение тока на нем.

Таким образом, анализ требований к антеннам в системе управления ЛА показал, что в условиях многолучевости, влияния преднамеренных и непреднамеренных помех необходимо наряду с традиционно применяемыми антеннами использовать ААР как на ЛА так и на ПАНКСУ.

#### Библиографический список

1. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. / П. П. Афанасьев, И. С. Голубев, В. Н. Новиков, С. Г. Парафесь, М. Д. Пестов, И. К. Туркин / Под редакцией И. С. Голубева и И. К. Туркина. – изд. второе, переработанное и дополненное. – М.: 2008. – 656 с.: ил.
2. Аэродинамика и самолетостроение: учеб. пособие / [В.В. Бирюк и др.]. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 180 с.: ил.
3. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
4. Алешин С. Л., Бибарсов М. Р., Новиков А. Н. Методика пространственно-временной обработки широкополосных сигналов и ее реализации в адаптивных антенных решетках. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 221–227.
5. Габриэлян Д. Д., Бибарсов М. Р., Новиков А. Н., Алешин С. Л. Метод формирования «нулей» диаграммы направленности адаптивной антенной решетки для подвижных источников излучения. Антенны. 2019. № 1 (255). С. 59–64.
6. Оптимальная обработка широкополосных сигналов в адаптивных антенных решетках систем радиосвязи, радионавигации и радиолокации / Бибарсов М. Р., Боков А. Н., Габриэлян Д. Д., Новиков А. Н. // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 6. С. 22–26.
7. Бибарсов М. Р., Габриэлян Д. Д., Новиков А. Н. Оптимальное восстановление спектра широкополосных сигналов в условиях помех с использованием адаптивных антенных решеток. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 3 (126). С. 49–52.
8. Синтез амплитудно-фазового распределения в квазиколецевой антенной решетке / Бибарсов М. Р., Грибанов Е. В., Габриэлян Д. Д., Федоров Д. С., Федоров Д. С. Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2017. № 2. с. 28–33.
9. Методы обработки широкополосных сигналов в адаптивных антенных решетках Бибарсов М. Р., Бибарсова Г. Ш. в сборнике: актуальные вопросы развития систем и сетей связи. Сборник материалов всероссийской научно-технической конференции. Ставрополь, 2023. с. 22–24.

*Б. Л. Бирюков*

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В КОМПЛЕКСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Рассматривается оптимизация параметров комплексных измерительных систем по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценки в переходном и установившемся режимах.

**Ключевые слова:** комплексные измерительные системы, оптимизация параметров, ошибка оценки, критерий оптимизации, переходный режим.

*B. L. Biryukov*

senior lecturer

St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

## PARAMETRIC OPTIMIZATION IN INTEGRATED MEASUREMENT SYSTEMS

Parameters optimization of integrated measurement systems with criteria of minimum of mean square estimation error in non-stationary and stationary modes is considered.

**Keywords:** integrated measurement systems, parameters optimization, estimation error, optimization criteria, non-stationary mode.

Комплексные, или интегрированные измерительные системы получили широкое распространение в составе бортовых измерительно-вычислительных комплексов современных летательных аппаратов [1]. Для них характерно наличие нескольких датчиков для измерения определённой физической величины или функционально связанных величин с вытекающей отсюда целесообразностью производить обработку результатов измерений для уменьшения влияния погрешностей совместно для нескольких измерителей.

При использовании квадратичной функции потерь [2] критерием оптимальности оценок измеряемых величин является минимум среднего квадрата ошибки оценки (дисперсии ошибки при несмещённой оценке). Его минимизация позволяет определить оптимальную структуру и параметры алгоритма оценивания сигналов. В определённых случаях при синтезе комплексных измерительных систем структура математического оператора оценивания может быть предварительно задана исходя из дополнительных требований, предъявляемых к конкретной системе. В этом случае должен производиться параметрический синтез системы с заданной структурой и оптимизации подлежат только её параметры.

В типовых комплексных измерительных системах оптимизация параметров при параметрическом синтезе производится для стационарного режима работы системы. Применительно к двухкомпонентной линейной измерительной системе, построенной на основе схемы комплексирования с фильтром разностного сигнала (с компенсацией погрешности одного из измерителей) минимизируемая флуктуационная составляющая дисперсии ошибки комплексной оценки при взаимно некоррелированных погрешностях измерителей определяется выражением

$$D_e = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |1 - W_{\Phi}(j\omega; b_1, \dots, b_k)|^2 S_{\eta_1}(\omega) d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{\Phi}(j\omega; b_1, \dots, b_k)|^2 S_{\eta_2}(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где  $S_{\eta_1}(\omega)$  – спектральная плотность компенсируемой погрешности первого измерителя;  $S_{\eta_2}(\omega)$  – спектральная плотность погрешности второго измерителя;  $W_{\Phi}(j\omega; b_1, \dots, b_k)$  – комплексная частотная характеристика фильтра разностного сигнала с подлежащими оптимизации параметрами  $b_1, \dots, b_k$ .

Полученные при минимизации (1) параметры  $b_1, \dots, b_k$  хотя и обеспечивают наивысшую точность оценивания в стационарном режиме, могут приводить к слишком большой длительности переходных процессов (времени прихода системы в нормальный режим работы). Часто применяемое простое ограничение на диапазон значений параметров  $b_1, \dots, b_k$  из условия обеспечения допустимой длительности переходных процессов снижает потенциально достижимую точность оценок.

С целью повышения точности оценивания на всём протяжении интервала наблюдения можно предложить ввести текущую регулировку (подстройку) параметров фильтра, т.е. сделать их зависящими от времени:

$$b_1 = b_1(t), \dots, b_k = b_k(t).$$

Теперь вместо частотных необходимо использовать импульсные характеристики в выражении для изменяющейся во времени дисперсии ошибки оценки:

$$D_{\varepsilon}(t) = \frac{g_{\phi}^2(t, t_0; b_1, \dots, b_k)}{g_0^2} D_{\eta_1}(t_0) +$$

$$+ \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t [\delta(t - \tau_1) - g_{\phi}(t, \tau_1; b_1, \dots, b_k)][\delta(t - \tau_2) - g_{\phi}(t, \tau_2; b_1, \dots, b_k)] K_{\eta_1}(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 +$$

$$+ \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t g_{\phi}(t, \tau_1; b_1, \dots, b_k) g_{\phi}(t, \tau_2; b_1, \dots, b_k) K_{\eta_2}(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2,$$

где  $g_{\phi}(t, \tau; b_1, \dots, b_k)$  – импульсная характеристика (весовая функция) фильтра;  $g_0 = g_{\phi}(t_0, t_0; b_1, \dots, b_k)$ ;  $\delta(t - \tau)$  –  $\delta$ -функция;  $K_{\eta_1}(\tau_1, \tau_2)$ ,  $K_{\eta_2}(\tau_1, \tau_2)$  – ковариационные (корреляционные) функции погрешностей измерителей;  $D_{\eta_1}(t_0)$  – дисперсия погрешности первого измерителя в начальный момент времени ( $\eta_1(t_0)$  и  $\eta_1(t)$ ,  $t > t_0$  взаимно не коррелированы).

Для упрощения практической реализации алгоритма оценивания имеет смысл применить аппроксимацию функций  $b_1(t), \dots, b_k(t)$ . Как показывает численное моделирование, при типовых спектральных плотностях погрешностей измерителей чувствительность дисперсии ошибки к изменению параметров  $b_1, \dots, b_k$  оказывается относительно невысокой и допустима упрощённая аппроксимация функций  $b_1(t), \dots, b_k(t)$ .

#### Библиографический список

1. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2004.
2. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов: Учеб. пособие для вузов; Под ред. В. А. Боднера. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984.

*А. П. Бобрышов\**

Аспирант, ассистент

*С. В. Солёный\**

к. т. н., зав. кафедрой

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИКИ ИСКЛЮЧЕНИЯ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Представлен анализ влияния методик исключения грубых погрешностей измерений, на результаты проведения поверки электрических контрольно-измерительных приборов (КИП). Рассматривается влияние данных отклонений на вероятностную характеристику аттестации измерительных устройств.

**Ключевые слова:** погрешность, точность, отклонение, качество поверки, электрические контрольно-измерительные приборы, аттестация, условия аттестации.

*A. P. Bobryshov\**

graduate student

*S. V. Solony\**

Ph. D., Head of department

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE METHODOLOGY OF EXCLUSION OF GROSS ERRORS ON THE QUALITY OF VERIFICATION OF ELECTRICAL MEASURING AND CONTROL DEVICES

The analysis of influence of methods of exclusion of gross errors of measurements on the results of verification of electrical measuring and control devices (MCD) is presented. The infusion of these deviations on the probabilistic characteristic of attestation of measuring devices is considered.

**Keywords:** error, accuracy, deviation, quality of verification, electrical measuring and control devices, attestation, attestation conditions.

Проведение поверки электрических КИП сопровождается соблюдением перечня требований к аттестации оборудования и методикам, в качестве примера можно привести соблюдение условий окружающей среды [1]. Соблюдение данных условий, или отклонение отдельных параметров от нормы, влияет на итоговую точность измерительных устройств и качество проведения аттестации. Погрешности возникающие в процессе проведения аттестации разделяются на несколько типов, как и КИП, например отклонение интерполяции и параллакса к аналоговым приборам и погрешность квантования к приборам цифровой системы [2, 3]. Грубое проявление ошибки является выбросом или резко выделяющимся значением в выборке. Погрешность возможно рассмотреть с точки зрения статистики, главное корректно выбрать закон распределения величины.

Проведя теоретический расчет на соответствие нормальному закону распределения, отклонений измерений тестируемого вольтметра магнитоэлектрической системы до внесения выбросов и после, было определено заметное влияние на результаты. До внесения грубых выявлений, распределения погрешностей двух исследуемых КИП сходились по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро Уилке, свидетельствуя соответствию нормальному закону распределения. При этом гистограмма повторяла форму нормального распределения. При внесении грубых отклонений, критерий Шапиро Уилке не сходилась, а форма гистограммы отклонялась от кривой нормального распределения.

Грубые отклонения влияют не только на определение итоговой точности КИП, но и возможной ошибочной аттестации, выявление ошибки первого или второго рода. Исследования оперативных характеристик поверки, на основании погрешностей до применения методики исключения грубых отклонений и после, показывают увеличение вероятности принятия устройства годным и снижает показатели ошибок фиктивного принятия или непринятия устройства годным. Степень повышения данных параметров зависит от частоты выбросов. При этом стоит отметить, что применение описанных методик определения грубых погрешностей может быть нацелено не только для определения данных отклонений, но и для оценки достоверности методики или условий измерений. Но для этого необходимо обеспечить чистоту измерений и повторяемость.

### Библиографический список

1. ГОСТ 8.395-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования».
2. Метрологическое обеспечение производства в машиностроении 2017. С. 76–79.
3. Бобрышов А. П., Солёный С. В. Исследование особенностей обеспечения автоматизации поверки электрических контрольно-измерительных приборов // Новая наука 2023 №2. С. 57–67.

*Л. П. Вершинина\**

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОСБОРОК

Разработана методика имитации функциональной подгонки на моделях микросборок. Использование методики позволяет снизить объем контрольно-измерительных операций в процессе производства микросборок.

**Ключевые слова:** микросборки, контроль, функциональная подгонка, моделирование, оптимизация.

*L. P. Vershinina\**

Dr. Sc. Tech., Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

### OPTIMIZATION OF CONTROL AND MEASUREMENT OPERATIONS IN THE PRODUCTION OF MICROASSEMBLY

A technique has been developed for simulating functional fit on micro assembly models. The use of the technique allows us to reduce the volume of control and measurement operations during the production of micro assemblies.

**Keywords:** micro assemblies, control, functional fitting, modeling, optimization.

Основой изготовления микросборок (МСБ) является пленочная технология, по которой изготавливаются пассивные элементы, проводники, контактные площадки, защитные слои. Для получения пленок с заданными и воспроизводимыми параметрами необходимо строго контролировать процесс их изготовления. Обеспечение точности изготовления параметров пленочных пассивных элементов (ППЭ) достигается путем контроля параметров пленки в процессе ее осаждения (для тонкопленочной технологии) и путем доводки (подгонки) величины параметров после изготовления пленок (как для тонкопленочной, так и для толстопленочной технологии).

Доля операций подгонки в общем объеме производства значительна. Мероприятия по обеспечению качества доводочных операций включают выбор методов и средств доводки, а также оптимизацию контроля при доводке [1].

Уменьшить количество подгоняемых элементов можно, используя функциональную подгонку (ФП). Однако применение ФП для МСБ не всегда экономически оправдано. Унификация МСБ возможна по конструктивным характеристикам, принципам и технологии изготовления. Однако МСБ не могут быть унифицированы по функциональному назначению, схемотехнике, топологии разводки, коммутации и элементной базе. Поэтому при использовании ФП для каждого типа схем может требоваться специальное монтажное приспособление и своя система измерений. С ростом функциональной сложности МСБ существенно расширяется номенклатура, сложность методик измерения, увеличиваются время и требования к точности измерения параметров [2].

В результате широко используется пассивная подгонка, которая предполагает доводку к номиналу всех ППЭ. Вместе с тем, с помощью моделирования ФП можно выявить оптимальную совокупность ППЭ, подгонка которых обеспечит требуемую точность выходных параметров МСБ. Критерием оптимальности может быть время подгонки, число подгоняемых элементов, удобство подгонки и другие характеристики процесса.

Для решения данной задачи разработана методика имитации ФП на модели МСБ.

Исходными данными для реализации методики являются:

- принципиальная электрическая схема МСБ;
- перечень элементов;
- требования к выходным параметрам;
- статистика по погрешностям значений электрических параметров ППЭ (или данные для их моделирования);
- данные о влиянии монтажных операций на параметры ППЭ и компонентов МСБ;
- критерии оптимальности подгонки.

Методика включает следующие этапы:

1. Составление модели МСБ с использованием матрично-топологических методов описания электронных схем, методов узловых потенциалов, переменных состояния. При реализации данного этапа могут быть использованы стандартные пакеты прикладных программ по расчету электронных схем [3].

2. Имитация монтажа навесных компонентов с учетом данных о его тепловом влиянии на параметры компонентов и ППЭ. Моделируются значения параметров элементов, подверженных тепловому воздействию монтажных операций.

3. Оценка значимости подгоняемых элементов методами параметрической чувствительности [4].

4. Выбор подгоняемых элементов с учетом эффективности их подгонки. Выбранная совокупность должна обеспечивать требуемую точность выходных характеристик МСБ и быть оптимальной в смысле заданного критерия.

5. Имитация подгонки ППЭ путем моделирования значений их параметров в пределах поля допуска по закону, определенному на основе статистических данных. Процесс выбора подгоняемых элементов является итерационным и предусматривает на очередном шаге исключение, замену либо дополнение элементов настройки в зависимости от результатов проверки совокупности ППЭ, выбранной на предыдущем шаге.

Использование методики позволяет определить оптимальную совокупность подгоняемых ППЭ по заданному критерию, сокращая объем контрольно-измерительных операций в процессе производства МСБ.

#### **Библиографический список**

1. Вершинина Л. П. Последовательная оптимизация контрольно-измерительных операций в нечеткой среде / Метрологическое обеспечение инновационных технологий. IV Международный форум: сборник статей. СПб: ГУАП, 2022. С. 46–47.

2. Кондрашов В. В., Копылов А. В., Середин А. С. Автоматизация процесса лазерной подгонки пленочных резистивных элементов / Известия ТулГУ. Технические науки, 2013. Вып. 2. С. 146–159.

3. Спиридонов С. Б., Постников В. М. Сравнительный анализ и ранжирование пакетов программ схемотехнического моделирования // Вестник Евразийской науки, 2018. №3. URL: <https://esj.today/PDF/33ITVN318.pdf> (дата обращения 19.12.2023).

4. Вершинина Л. П., Вершинин М. И. Анализ чувствительности в моделях управления технологическими процессами // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 7. С. 117–121.

*Е. П. Виноградова\**

старший преподаватель

*И. В. Григорьев\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ К155ЛА3

В работе производится анализ и сравнение теоретически рассчитанных значений частоты и периода генерации генератора прямоугольных импульсов, построенного на основе интегральной микросхемы К155ЛА3, со значениями, полученными при его симуляции в системе автоматизированного проектирования NI Multisim, а также при его макетировании на макетной плате.

**Ключевые слова:** генератор прямоугольных импульсов, К155ЛА3, Multisim.

*Е. П. Vinogradova\**

Senior Lecturer

*I. V. Grigoriev\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ERRORS ANALYSIS BY SIMULATING A RECTANGULAR PULSE GENERATOR BASED ON THE K155LA3 INTEGRATED CIRCUIT

The work analyzes and compares the theoretically calculated values of the frequency and generation period of the rectangular pulse generator, built on the basis of the integrated circuit K155LA3, with the values obtained during its simulation in the computer-aided design NI Multisim, as well as during its layout on a breadboard.

**Keywords:** rectangular pulse generator, K155LA3, Multisim.

Интегральные микросхемы (ИМС) серии К155ЛА3 [1] представляют собой четыре логических элемента 2И-НЕ и используются для построения низкочастотных и высокочастотных генераторов небольших размеров, которые могут быть использованы для проверки, ремонта и налаживания различной радиоэлектронной аппаратуры. Рассмотрим принцип действия такого генератора прямоугольных импульсов (ГПИ) [2].

На рисунке 1 (а) представлена функциональная схема ГПИ. Конденсатор  $C_1$  обеспечивает положительную обратную связь между выходом второго и входом первого инвертора необходимую для возбуждения генератора. Резистор  $R_1$  обеспечивает необходимое смещение по постоянному току, а также позволяет осуществлять небольшую отрицательную обратную связь на частоте генератора. В результате преобладания положительной обратной связи над отрицательной на выходе генератора снимается напряжение прямоугольной формы. Изменение частоты генератора в широких пределах производится подбором емкости  $C_1$  и сопротивления  $R_1$ . Такой генератор сохраняет работоспособность при снижении напряжения питания до 2 В. При изменении значения напряжения питания  $U_{пит}$  от 5 до 15 В уход частоты в сторону увеличения составляет примерно 10%. Сквозность импульсов близка к двум при любом  $U_{пит}$ . В результате разогрева корпуса ИМС частота несколько уменьшается (на 4% при 85°C).

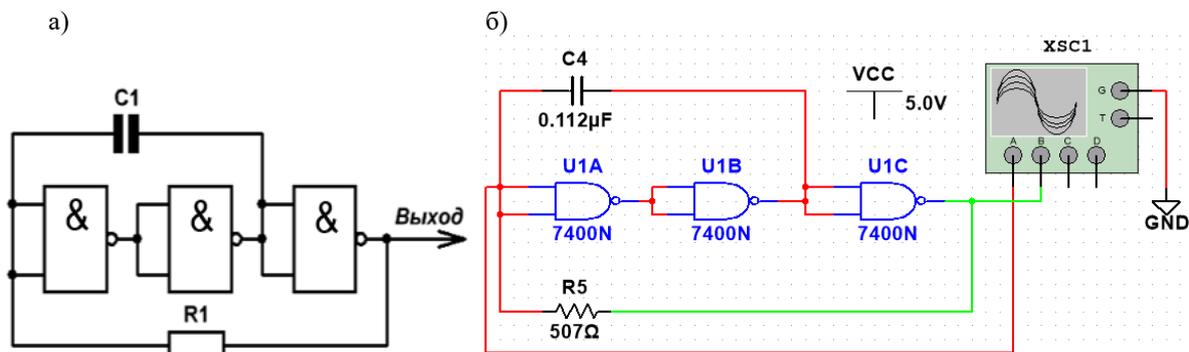


Рис. 1. Схема электрическая функциональная ГПИ (а) и моделирование ГПИ в системе автоматизированного проектирования Multisim (б)

С погрешностью, не превышающей 10%, можно вычислить частоту генерации  $f$  данной схемы по формуле (1):

$$f = \frac{0,54}{R_1 C_1}. \quad (1)$$

По формуле (1) рассчитаем теоретическое значение частоты генерации  $f_{теор}$  для значений  $C_1 = 0,112$  мкф и  $R_1 = 507$  Ом:  $f_{теор} = \frac{0,54}{507 \cdot 0,112 \cdot 10^{-6}} \approx 9510$  Гц. Период генерации  $T_{теор} = \frac{1}{9510} \approx 105$  мкс.

На рисунке 1 (б) представлена схема для моделирования работы ГПИ, собранная в системе автоматического проектирования (САПР) Multisim. Так как в САПР Multisim отсутствует ИМС К155ЛАЗ вместо неё используется её аналог – ИМС SN7400N. С помощью виртуального осциллографа проведём измерение периода генерации смоделированного сигнала  $T_{мод}$ , как показано на рисунке 2 (а). Таким образом,  $T_{мод} = 126$  мкс,

$$f_{мод} = \frac{1}{126 \cdot 10^{-6}} \approx 7937 \text{ Гц.}$$

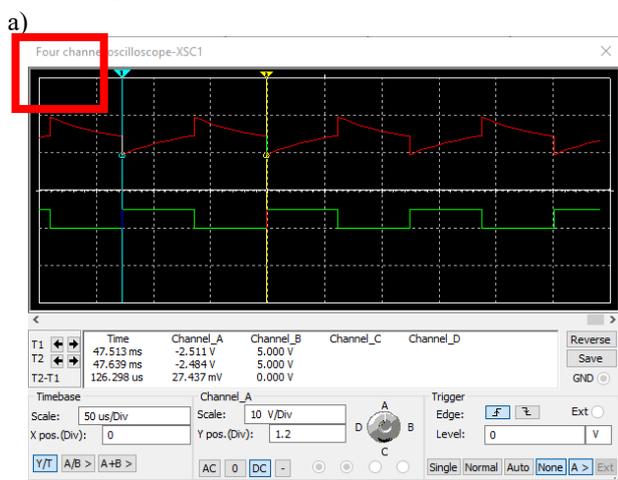


Рис. 2. Осциллограмма входного и выходного сигналов ГПИ. Моделирование (а) и макетирование (б)

Теперь проведём исследование ГПИ путём его макетирования на макетной плате, как показано на рисунке 3.  $U_{пит} = 4,5$  В. Для измерения периода и частоты генерации используется цифровой осциллограф Rigol MSO5074, как показано на рисунке 2 (б). Период и частота генерации выходного сигнала равны  $T_{мак} = 122$  мкс и  $f_{мак} = 8196$  Гц.

Сведем полученные результаты исследования в табл. 1.

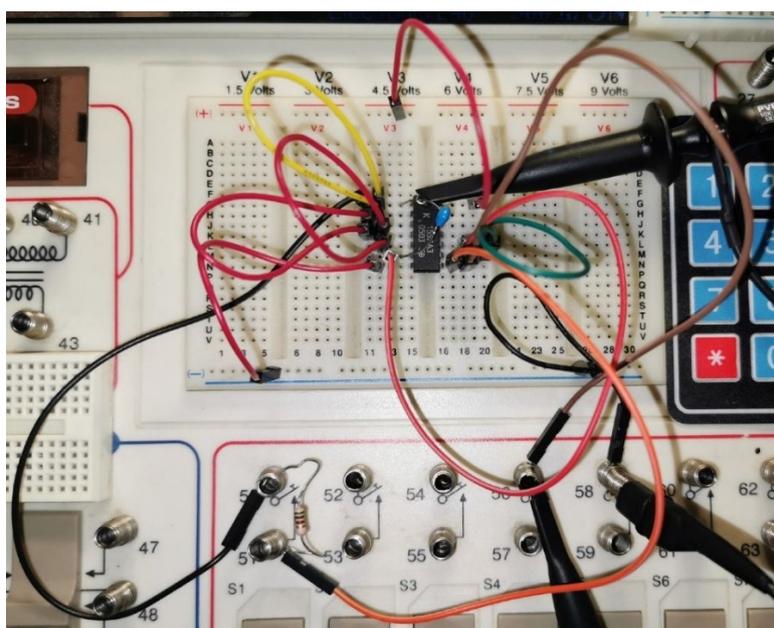


Рис. 3. Макетирование ГПИ на макетной плате

## Результаты исследования ГПИ на основе ИМС К155ЛА3

Теоретические		Моделирование		Макетирование	
T, мкс	f, кГц	T, мкс	f, кГц	T, мкс	f, кГц
105	9,5	126	7,9	122	8,2

Как видно из табл. 1, значение частоты генерации при макетировании более чем на 15% отличается от рассчитанного теоретически, что может объясняться такими факторами, как более низкое напряжение питания  $U_{пит} = 4,5$  В, влияние внутреннего сопротивления проводов, влияние изношенности используемой ИМС и другими.

Значение частоты генерации при моделировании более чем на 20% отличается от рассчитанного теоретически, что можно объяснить либо использованием аналога ИМС SN7400N, либо несовершенством САПР.

В то же время значения периода и частоты генерации, полученные при моделировании отличаются от значений, полученных при макетировании только на 3,8%. Моделирование электрической схемы позволяет узнать интересные характеристики проектируемого устройства с достаточно высокой точностью, не прибегая к непосредственной сборке этого устройства и экономя время и средства проектировщика.

Таким образом, макетирование может быть заменено на моделирование, когда требуются несколько менее точные результаты измерений и существует ограничение по используемым ресурсам, а моделирование может быть заменено на макетирование, когда необходимо получить реальные измеряемые значения, а также отсутствует ограничение по используемым ресурсам.

## Библиографический список

1. Микросхема К155ЛА3. Этикетка. URL: [http://www.155la3.ru/datafiles/k155la3\\_pasp.pdf](http://www.155la3.ru/datafiles/k155la3_pasp.pdf) (дата обращения: 10.01.2023).
2. Гольденберг Л.М. Импульсные устройства. URL: <https://djvu.online/file/wXiXRAyfvTV8z?ysclid=lrwgcoedtg754499538> (дата обращения: 10.01.2023).

*Е. А. Вознесенский\**

лаборант лаборатории БАС

*А. С. Костин\**

ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННЫХ ПОЛЕТНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СФЕРЕ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Описаны ключевые элементы, присутствующие в современных полетных контроллерах автономных беспилотных систем.

**Ключевые слова:** полетный контроллер, STM32, МЭМС.

*E. A. Voznesenskiy\**

laboratory assistant of the UAS laboratory,

*A. S. Kostin\**

assistant

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## THE STRUCTURE OF MODERN FLIGHT CONTROLLERS IN THE FIELD OF AUTONOMOUS UNMANNED SYSTEMS

Description of the key elements present in modern flight controllers of unmanned systems.

**Keywords:** flight controller, STM32, MEMS.

Полетный контроллер (Flight controller, FC) – это один из основных электронных узлов в беспилотной авиационной системе (далее – БАС). Чаще всего, представляет собой печатную плату, на которой расположены различные электронные компоненты, некоторые из них присутствуют в любом полетном контроллере, некоторые являются дополнительными, наличие которых зависит от предполагаемых задач, которые будет выполнять дрон, на котором будет установлен конкретный полетный контроллер. В данной статье будут рассмотрены основные электронные компоненты, которые являются частью современного полетного контроллера.

Основные задачи любого полетного контроллера состоят из:

1. Сбора информации о состоянии БАС с различных датчиков, таких как ориентация в пространстве, положение и так далее, фильтрация полученных данных.
2. Получение команд управления, например управляющий сигнал с радиоприемника или модуля телеметрии, координаты следующей целевой точки в автономной миссии.
3. Алгоритмическая обработка входных данных о состоянии дрона и команд управления с целью получения корректного управляющего сигнала на регуляторы оборотов.
4. Формирование управляющего сигнала, содержащего информацию о необходимой рассчитанной скорости моторов, регуляторам оборотов.

За связь с периферийными устройствами, обработку информации, вычисления, управление, отвечает микроконтроллер, содержащий специальное конфигурируемое программное обеспечение. Чаще всего используются 32-х битные ARM микроконтроллеры компании ST высокопроизводительных линеек F4, F7 и H7, но также встречаются и аналоги. Микроконтроллеры ST содержат необходимые интерфейсы для обмена данными с периферией (UART, USART, SPI, I2C, USB, CAN и т.д.), аналого-цифровые преобразователи, необходимые для определения напряжения и силы тока, входы-выходы общего назначения, таймеры, до 2-х Мб flash памяти, что позволяет хранить достаточно весомые прошивки, высокопроизводительное ядро ARM Cortex-M, с максимальной тактовой частотой 550МГц [1].

Инерциальный измерительный блок (IMU) – набор главных датчиков в полетном контроллере. В IMU входят МЭМС устройства, такие как гироскопы, акселерометры и иногда магнетометры, ключевым датчиком является гироскоп. Благодаря данному датчику микроконтроллер получает данные об угловых скоростях БАС, что уже достаточно для стабилизации дрона в пространстве, например, в таких ручных режимах полета, как ACRO. Добавив акселерометр, беспилотная авиационная система уже может стабилизироваться относительно горизонта. На полетном контроллере может присутствовать несколько инерциальных измерительных блоков, что повышает надежность и отказоустойчивость, и повышает точность измерений [2]. Современное программное обеспечение для полетных контроллеров, например, такие как BetaFlight, ArduPilot, PX4, поддерживают несколько IMU.

Полетные контроллеры, которые больше предназначены для БАС с автоматическими режимами управления, часто содержат барометр. Благодаря этому датчику, который измеряет статическое давление атмосферы, можно вычислить высоту полета беспилотной авиационной системы [3].

Понижающие стабилизаторы напряжения нужны для формирования необходимого стабильного постоянного напряжения для питания периферийных устройств, таких как GPS модули, радиоприемники, камеры, видеопередатчики и так далее, а также для питания интегральных микросхем. В большинстве конфигураций полетных контроллеров входящее напряжение с бортовой сети БАС понижается до 5В импульсным преобразователем, а затем понижается до 3.3В линейным регулятором напряжения (LDO) с фильтрацией напряжений. Фильтрация преобразованного напряжения необходима из-за больших электромагнитных помех, возникающих при работе электродвигателей и регуляторов скорости. Инерциальные датчики очень требовательны к хорошему питанию, и могут производить некорректные измерения при наличии высоких электромагнитных шумов на линии питания. Также на полетном контроллере могут присутствовать стабилизаторы, рассчитанные на другое напряжение, необходимое для питания специфических систем.

На полетном контроллере может располагаться внешняя flash память, выполненная в виде интегральной SMD микросхемы или слота для SD карты. В основном дополнительная память нужна для записи log-файлов, но также может использоваться для сохранения прошивки, конфигурационных файлов, скриптов, данных о рельефе местности, данных о полетной миссии и т.д. [4, 5].

За счет рассмотрения основных компонентов и принципов взаимодействия данных компонентов возможна разработка современных полетных контроллеров, предназначенных как для удаленного пилотирования оператором с выполнением сложнотраекторного движения, так и для решения задачи автономной навигации беспилотной авиационной системы в рамках решения полетной задачи.

### Библиографический список

1. Костин, А. С. Исследование моделей и методов маршрутизации и практического выполнения автономного движения беспилотными транспортными системами для доставки грузов / Н. Н. Майоров, А. С. Костин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15. – № 3. – С. 524-536.
2. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (дата обращения: 13.01.2024)
3. mediaTUM Universitätsbibliothek Technische Universität München. URL: <https://mediatum.ub.tum.de/att-file/1506897/incoming/2019-Jun/755062.pdf> (дата обращения: 13.01.2024)
4. High-precision barometric altitude measurement method and technology. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6720337> (дата обращения: 13.01.2024)

**В. С. Волобуев\***

кандидат физико-математических наук, доцент

**В. К. Долгий\*\***

кандидат физико-математических наук, доцент

**А. Е. Почтенный\***

\*Белорусский государственный технологический университет,

\*\*Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА ИНДИЯ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ КИСЛОРОДА

Исследованы электрофизические свойства тонких пленок наноструктурированного оксида индия. Структура и химический состав пленок изучались методами электронной дифракции, сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Температурная зависимость проводимости этих пленок измерялась при постоянной концентрации кислорода методом циклической термодесорбции. На основе результатов исследования предложен механизм проводимости. Результаты могут быть использованы в микроэлектронных датчиках.

**Ключевые слова:** сенсоры, механизм проводимости, тонкая пленка, прыжковая проводимость, термодесорбция.

**V. S. Volobuev\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

**V. K. Dolgiy\*\***,

Ph. D. Tech., Associated Prof

**A. E. Pochtenny**

\*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

\*\*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

## EFFECT OF ADSORBED OXYGEN ON ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF INDIUM OXIDE THIN FILMS

The electrophysical properties of thin films of nanostructured indium oxide have been studied. The structure and chemical composition of the films were studied by electron diffraction, scanning electron microscopy, and X-ray photoelectron spectroscopy. The temperature dependence of the conductivity of these films was measured at a constant oxygen concentration by cyclic thermal desorption. Based on the results of the study, a conduction mechanism is proposed. The results can be used in microelectronic sensors.

**Keywords:** sensors, conduction mechanism, thin film, hopping conductivity, thermal desorption.

Развитие технологий и требования научно-технического прогресса на современном этапе делают весьма важной задачу контроля окружающей среды и эффективности управления технологическими процессами на новом более высоком уровне. В ее основе должны лежать газовые сенсоры, меняющие свою проводимость в результате окислительных реакций с кислородом и восстанавливающимися реагентами, к которым относятся многие газы, а также пары большого числа органических веществ. В настоящее время активно разрабатываются структуры для таких элементов органической электроники, как химические сенсоры [1], биологические сенсоры [2] и солнечные батареи [3] с улучшенными характеристиками.

Одной из нерешенных проблем химической сенсорики является создание высокочувствительных и селективных датчиков газового анализа, перспективными среди которых считаются полупроводниковые газовые сенсоры (ППГС) адсорбционного типа, выполненные по микроэлектронной групповой технологии. Перспективность ППГС обусловлена низкой материалоемкостью, хорошей воспроизводимостью параметров, миниатюрностью, и исключительным удобством обработки считываемой с них информации. Кроме того, существует возможность их изготовления в едином комплексе интегральных и микросистемных технологий.

В качестве исследуемого материала использовались тонкие пленки  $\text{In}_2\text{O}_3$ , толщиной 30 – 80 нм, которые были получены термическим окислением пленок индия, осажденных методом магнетронного напыления постоянного тока. Выбор данного метода обусловлен тем, что пленочная технология методом термического окисления металлического слоя позволяет формировать оксидные слои толщиной от нескольких нанометров до нескольких сотен нанометров. Напыление пленок индия осуществлялось на вакуумном универсальном посту ВУП-5М. Распыление проводилось при ускоряющем напряжении 0,5 кВ, ток разряда составлял 0,15 А. Давление в процессе распыления составляло 0,1-1 Па. В качестве газа для травления использовался аргон, индиевый наконечник выступал в качестве катода. Пленки индия осаждались на монокристаллических кремниевых пластинах, покрытых диэлектрическим слоем эпитаксиального  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и слюдой. После осаждения пленки индия были окислены в муфельной электрической печи в неизотермическом режиме: в течение 40-60 минут производился нагрев до

температуры 500–600 °С, а затем отжиг в изотермическом режиме при 500 °С и 600 °С в течение 60 минут (температура и время окисления выбрано экспериментально).

Для измерения электрофизических свойств использовались либо электроды из проводящей контактной пасты, наносимые на поверхность пленки, либо встречно-штыревая система никелевых электродов, расположенная под пленкой. В качестве подложки использовалась слюда (мусковит) толщиной 10 мкм, низкая теплопроводность которой позволяет реализовывать большие градиенты температур, а высокое удельное сопротивление обеспечивает хорошую электроизоляцию.

Проводимость пленок на постоянном токе измерялась электрометром В7-57/1 (Белвар, Минск). Температурные зависимости проводимости в интервале температур от 370 до 450 К измерялись в вакууме ( $10^{-2}$  Па) методом циклической термодесорбции [6–8]. Суть этого метода состоит в следующем: образец нагревается до некоторой температуры  $T_0$ , после чего охлаждается, и в процессе охлаждения измеряется зависимость проводимости от абсолютной температуры, имеющая вид

$$G = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $G_0$  – предэкспоненциальный множитель;  $E_a$  – энергия активации проводимости;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

#### Библиографический список

1. Rahim A., Santos L. S. S, Barros S. B. A., Kubota L. T., Gushikem Y. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2013 Vol. 177. P. 231–238.
2. Apetrei I. M., Rodrigues-Mendes M. L., Apetrei C., de Saja J. A. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2013 Vol. 177. P. 138–144.
3. Takeda A., Oku T., Suzuki A., Akiyama T., Yamasaki Y. // *Synthetic Metals*. 2013. Vol. 177. P. 48–51.

**В. С. Волобуев\***

кандидат физико-математических наук, доцент

**В. К. Долгий\*\***

кандидат физико-математических наук, доцент

**А. Е. Почтенный\***

\*Белорусский государственный технологический университет,

\*\*Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь

## ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ КАК ПЕРСПЕКТИВА В КОНСТРУКЦИЯХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

Исследованы тонкие пленки  $\text{In}_2\text{O}_3$ , толщиной 30 – 80 нм, которые были получены термическим окислением пленок индия, осажденных методом магнетронного напыления постоянного тока. Выбор данного метода обусловлен тем, что пленочная технология методом термического окисления металлического слоя позволяет формировать оксидные слои толщиной от нескольких нанометров до нескольких сотен нанометров и перспективно могут быть использованы в конструкциях газоанализаторов.

**Ключевые слова:** концентрация адсорбированного кислорода, решетки кислорода, тонкая пленка, прыжковая проводимость.

**V. S. Volobuev\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

**V. K. Dolgiy\*\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

**A. E. Pochtenny**

\*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

\*\*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

## THIN-FILM SEMICONDUCTOR GAS SENSORS AS A PERSPECTIVE IN GAS ANALYZER DESIGNS

Thin  $\text{In}_2\text{O}_3$  films with a thickness of 30-80 nm were studied, which were obtained by thermal oxidation of indium films deposited by direct current magnetron sputtering. The choice of this method is due to the fact that the film technology by thermal oxidation of the metal layer allows the formation of oxide layers with a thickness of several nanometers to several hundred nanometers and can be used prospectively in the designs of gas analyzers.

**Keywords:** adsorbed oxygen concentration, oxygen grids, thin film, hopping conductivity.

В качестве исследуемого материала использовались тонкие пленки  $\text{In}_2\text{O}_3$ , толщиной 30 – 80 нм, которые были получены термическим окислением пленок индия, осажденных методом магнетронного напыления постоянного тока. Выбор данного метода обусловлен тем, что пленочная технология методом термического окисления металлического слоя позволяет формировать оксидные слои толщиной от нескольких нанометров до нескольких сотен нанометров. Напыление пленок индия осуществлялось на вакуумном универсальном посту ВУП-5М. Распыление проводилось при ускоряющем напряжении 0,5 кВ, ток разряда составлял 0,15 А. Давление в процессе распыления составляло 0,1-1 Па. В качестве газа для травления использовался аргон, индиевый наконечник выступал в качестве катода. Пленки индия осаждались на монокристаллических кремниевых пластинах, покрытых диэлектрическим слоем эпитаксиального  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и слюдой. После осаждения пленки индия были окислены в муфельной электрической печи в изотермическом режиме: в течение 40-60 минут производился нагрев до температуры 500-600 °С, а затем отжиг в изотермическом режиме при 500 °С и 600 °С в течение 60 минут (температура и время окисления выбрано экспериментально).

Фазовая структура, морфология поверхности исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии с использованием ТЕМ Н-800 (Hitachi) и SEM S-806.

Анализ электронных дифрактограмм показал, что единственной идентифицируемой кристаллической фазой в процессе окисления в оксидных пленках является кубическая фаза с поликристаллической структурой  $\text{In}_2\text{O}_3$ . Для пленок индия характерна зернистая структура с размером частиц от 10 до 70 нм, основная часть которых (80%) приходится на интервал от 15 до 50 нм (рис.1 (а)).

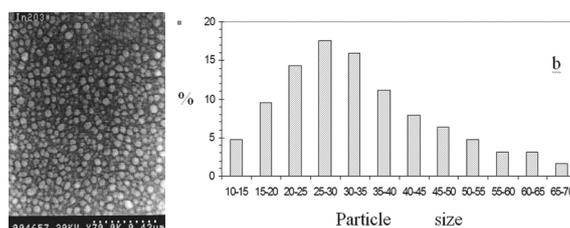


Рис. 1. Изображения СЭМ (а) и распределение по размерам (б) пленок оксидов индия на слюде

Образование оксидной пленки на кремниевой подложке сопровождается уменьшением количества мелких частиц и увеличением содержания частиц большего размера, основная часть которых (~80%) находится в диапазоне 20–55 нм, причем максимум находился в диапазоне 30-35 нм (рис. 1. (б)).

Рентгеновский фотоэлектронный спектр индия характеризуется наличием двух спектральных линий с энергиями связи 444,4 и 452 эВ за счет мультиплетного расщепления 3d-уровня. Химический сдвиг линии In 3d<sub>5/2</sub> в оксидной пленке относительно In<sup>0</sup> (исходные данные для средней энергии связи 443,5 эВ) составляет 0,9 эВ, что можно объяснить состоянием In<sup>3+</sup> (изменение энергии связи по справочным данным составляет 0,8–1,2 эВ). Кислородная фотоэлектронная линия показана на рис. 2. Пиковый кислород имеет ярко выраженную асимметрию, что указывает на наличие перекрывающихся пиков, различающихся по энергии, форме и интенсивности, с энергиями связи 529,95 эВ и 531,9 эВ.

Фотоэлектронная линия 529,95 эВ имеет большую интенсивность и соответствует состоянию решетки кислорода (справочные данные для средней энергии связи O<sub>2</sub> в соединении In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляют 530 эВ и варьируются от 529,1 до 530,9 эВ). Широкая оболочка фотоэлектронных линий O 1s в области 531-534,5 эВ связана с достаточно большим числом форм кислорода и его соединений, адсорбированных на поверхности. Фотоэлектронная линия с энергией связи 531,9 эВ может соответствовать поверхности адсорбированного кислорода в различных формах, а также кислорода, включенного в гидроксильную группу.

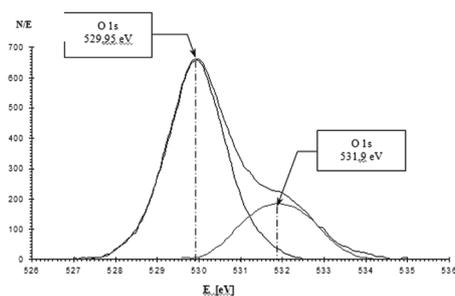


Рис. 2. РФЭС-спектры кислорода на поверхностных пленках In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Полученные температурные зависимости проводимости  $G$ , представленные на рис. 3, показывают, что по мере десорбции кислорода проводимость пленок оксида индия возрастает, а сами температурные зависимости подчиняются уравнению (1). Тот факт, что в процессе термодесорбции кислорода энергия активации проводимости пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, существенно изменялась, подтверждает прыжковый механизм электропереноса [1, 2] в этом материале, когда перенос электронов может осуществляться как по собственным состояниям с радиусом локализации  $a_1$ , так и по примесным – с радиусом локализации  $a_2$ . Все измеренные температурные зависимости являются линейными по координатам  $\ln G - 1/kT$  (рис. 3) в соответствии с формулой (1), что является доказательством того, что один из каналов переноса электронов (собственный или примесный) является по существу преобладающим.

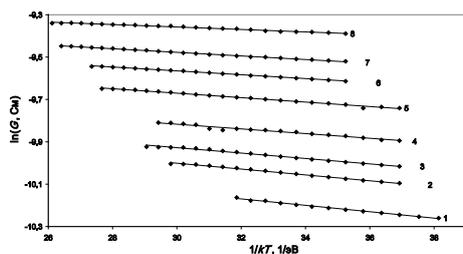


Рис. 3. Температурные зависимости проводимости пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, измеренные в вакууме при охлаждении от температур 100°C (1), 110°C (2), 120°C (3), 130°C (4), 140°C (5), 150°C (6), 160°C (7) и 170°C (8)

Полученные тонкопленочные полупроводниковые газовые сенсоры являются более удобными для использования в конструкциях газоанализаторов, так как измеряемым электрическим сигналом является электродвижущая сила, генерируемая сенсором, значение которой определяется составом окружающей газовой среды. Такие сенсоры обладают более высоким быстродействием и значительно меньшим дрейфом показаний по сравнению с резистивными сенсорами, изготовленными с применением тех же чувствительных материалов.

### Библиографический список

1. Почтенный А. Е., Мисевич А. В. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29, вып. 1. С. 56–61.
2. Мисевич А. В., Почтенный А. Е., Лапо А. Н. Адсорбционно-резистивные свойства композитных пленок на основе периленовых пигментов // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2007. Вып. XV. С. 75–78.

*В. И. Гончарова\**

старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПЕРЕХОД ОТ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ К ОБЫКНОВЕННЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В работе рассмотрена реализация перехода от линейных дифференциальных уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям в системах автоматического управления с распределенными параметрами.

**Ключевые слова:** система автоматического управления (САУ), САУ с распределенными параметрами, дифференциальные уравнения в частных производных, обыкновенные дифференциальные уравнения, метод Фурье.

*V. I. Goncharova\**

Senior Lecturer

\*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## TRANSITION FROM LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS IN PARTIAL DERIVATIVES TO ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

The paper examines the implementation of the transition from linear partial differential equations to ordinary differential equations in automatic control systems with distributed parameters.

**Keywords:** automatic control system (ACS), distributed parameter ACS, partial differential equations, ordinary differential equations, Fourier method.

Для САУ с распределенными параметрами зачастую бывает достаточно использовать упрощенную модель и представлять её в виде с САУ с сосредоточенными параметрами, либо САУ с запаздыванием. В таком случае методы упрощения САУ с распределенными параметрами при определенных допущениях следует дополнить разработкой математического аппарата на базе обобщенного метода Галеркина [1-2]. Для решения обозначенного метода используют обыкновенные дифференциальные уравнения, для обращения прямого вариационного метода анализа, который представляет собой метод ортогональных проекций, на решение задачи синтеза. Системы с распределенными параметрами содержат уравнения в частных производных. Таким образом для возможности применения обобщенного метода Галеркина к указанному классу систем необходимо совершить переход от дифференциальных уравнений в частных производных, к обыкновенным дифференциальным уравнениям.

С помощью метода разделения переменных (Фурье) рассмотрим наиболее часто используемую модель звена с распределенными параметрами для одномерного параболического дифференциального уравнения с частными производными [3-5].

Необходимо в области

$$D = \{(x, t) \in R^2; a \leq x \leq b, t \geq 0\}$$

найти решение  $U(x, t)$  дифференциального уравнения

$$L[u(x, t)] \equiv \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial K}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} - K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \beta(x, t)u = g(x, t), \quad (1)$$

с учетом граничных условий

$$\begin{cases} a_0 u(a, t) + a_1 \frac{\partial u(a, t)}{\partial x} = a_2(t), \\ b_0 u(b, t) + b_1 \frac{\partial u(b, t)}{\partial x} = b_2(t), \end{cases} \quad (2)$$

и начального условия

$$u(x, 0) = f(x), \quad (3)$$

где  $K(x, t), K'_x(x, t), \beta(x, t), g(x, t), a_2(t), b_2(t)$  – непрерывные в области  $D$  функции ( $K(x, t) > 0$ );  $a_0, a_1, b_0, b_1$  – действительные числа, с учетом, что  $a_0^2 + a_1^2 > 0, b_0^2 + b_1^2 > 0; f(x)$  – заданная функция, непрерывная на  $[a, b]$  вместе с  $f'(x)$  и такая, что

$$\begin{cases} a_0 f(a) + a_1 f'(a) = a_2(0), \\ b_0 f(b) + b_1 f'(b) = b_2(0). \end{cases} \quad (4)$$

Закон распространения я тепла в стержне при температурах  $T_1$  и  $T_2$

$$T(x, 0) = T_1 + (\sin(\pi x) + x)(T_2 - T_1)$$

получается, как частный случай сформулированной задачи

$$\begin{aligned} a = 0, \quad b = 1, \quad K(x, t) = 1, \quad \beta(x, t) = 0, \quad g(x, t) = 0 \\ a_0 = 1, \quad a_1 = 0, \quad a_2 = T, \quad b_0 = 1, \quad b_1 = 0, \quad b_2 = T, \\ f(x) = (\sin(\pi x) + x)(T_2 - T_1) + T_1. \end{aligned}$$

В обобщенном методе Галеркина для нахождения приближенного решения задачи (1)–(4) необходимо построить функциональную последовательность  $\{u_n(x, t)\}_0^\infty$  из пробных решений  $u_n(x, t)$ .

Зададим в области  $D$  некоторую систему дважды дифференцируемых функций  $u_0(x, t), u_1(x), \dots, u_n(x)$  таких, чтобы  $u_0(x, t)$  удовлетворяло краевым условиям (2), а пробные функции  $u_i(x) (i \geq 1)$  будут линейно независимы на  $[a, b]$  и удовлетворять однородным краевым условиям

$$\begin{cases} a_0 u(a) + a_1 u'(a) = 0, \\ b_0 u(b) + b_1 u'(b) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

После разделения переменных получим

$$u_n(x, t) = u_0(x, t) + \sum_{k=1}^n v_k(t) u_k(x) \quad (6)$$

с неизвестными функциями  $v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t)$ , которые зависят только от аргумента  $t$ .

Следует отметить, что в виду линейности условий (2) и (5), функция (6) соответствует условиям (5) при любых функциях  $v_1(t), \dots, v_n(t)$ . Значит, необходимо найти  $v_i(t) (i \geq 1)$  и количество ( $n$ ) этих функций, что  $u_n(x, t)$  из (6) удовлетворяло уравнению (1) и начальному условию (3) с необходимой точностью.

Используя  $u_n(x, t)$  вместо  $u(x, t)$  в уравнение (1), получим невязку

$$\begin{aligned} R_1(v_1(t), \dots, v_n(t), x, t) = \sum_{k=1}^n \frac{dv_k}{dt} u_k(x) + \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} - K(x, t) \left( \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \sum_{k=1}^n v_k u_k'' \right) - \\ - \frac{\partial K}{\partial x} \left( \frac{\partial u_0}{\partial x} + \sum_{k=1}^n v_k u_k' \right) - \beta(x, t) \left( u_0 + \sum_{k=1}^n v_k u_k \right) - g(x, t) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} R_1(v_1, \dots, v_n, x, t) = \sum_{k=1}^n u_k \frac{dv_k}{dt} - \sum_{k=1}^n \left( K u_k'' + \frac{\partial K}{\partial x} u_k' + \beta u_k \right) v_k \\ - \left( K \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \frac{\partial K}{\partial x} \frac{\partial u_0}{\partial x} + \beta u_0 + g - \frac{\partial u_0}{\partial t} \right). \end{aligned}$$

Используя  $u_n(x, 0)$ , найденную из (6) при  $t = 0$ , в (3), получим невязку

$$R_2(v_1(0), \dots, v_n(0), x) = u_0(x, 0) + \sum_{k=1}^n v_k(0) u_k(x) - f(x)$$

Невязки  $R_1$  и  $R_2$  характеризуют отклонения функции (6) от точного решения  $U(x, t)$  задачи (1)–(4). При это, если функции  $v_1(t), \dots, v_n(t)$   $R_1 \equiv 0$  и  $R_2 \equiv 0$ , то функция  $u_n(x, t)$  из (6) – является точным решением  $U(x, t)$ .

В обобщенном виде невязки  $R_1$  и  $R_2$  не равны нулю. Таким образом необходимо задать дополнительные условия на функции  $v_k(t)$  и их начальные значения  $v_k(0)$  так, чтобы значение невязки было наименьшим.

В известном методе математической физики, обобщенном методе Галеркина, такие условия определяются системой уравнений (7-8)

$$(R_1(v_1(t), \dots, v_n(t), x, t), w_k(x)) = 0, \quad k = \overline{1, n}; \quad (7)$$

$$(R_2(v_1(t), \dots, v_n(0), x, t), w_k(x)) = 0, \quad k = \overline{1, n}; \quad (8)$$

где  $w_1(x), \dots, w_n(x)$  – заданные линейно независимые на  $[a, b]$  поверочные функции и

$$(V(x), W(x)) = \int_a^b V(x)W(x)dx.$$

Зададим условия (7) в виде

$$\left( \sum_{j=1}^n u_j(x) \frac{dv_j}{dt} - \sum_{j=1}^n v_j \left( \frac{\partial}{\partial x} (Ku'_j) + \beta u_j \right) - \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial u_0}{\partial x} \right) + \beta u_0 + g(x, t) - \frac{\partial u_0}{\partial t} \right), w_k(x) \right) = 0,$$

или

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} \frac{dv_j}{dt} - \sum_{j=1}^n c_{kj}(t)v_j = b_k(t), k = \overline{1, n}; \quad (9)$$

где

$$a_{kj} = (u_j, w_k) = \int_a^b u_j(x)w_k(x)dx, \quad (10)$$

$$c_{kj} = \left( \frac{\partial}{\partial x} (Ku'_j) + \beta u_j, w_k \right) = \int_a^b \left( Ku''_j + \frac{\partial K}{\partial x} u'_j + \beta u_j \right) w_k dx,$$

$$b_k(t) = \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial u_0}{\partial x} \right) + \beta u_0 + g(x, t) - \frac{\partial u_0}{\partial t}, w_k \right) =$$

$$= \int_a^b \left( K \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + \frac{\partial K}{\partial x} \frac{\partial u_0}{\partial x} + \beta u_0 + g - \frac{\partial u_0}{\partial t} \right) w_k dx,$$

$$k = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}.$$

Если задать матрицы пространства состояний

$$A = (a_{kj})_n, C = (c_{kj})_n, B = (b_k)_{n,1}, V = (v_j)_{n,1},$$

то система уравнений (9) в матричном виде выглядит следующим образом

$$A \frac{dV}{dt} = CV + B. \quad (11)$$

Необходимо, чтобы матрица  $A$  всегда была невырожденная, т.е.  $\det A \neq 0$ . Представим однородную линейную систему уравнений относительно неизвестных  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

$$\sum_{j=1}^n (u_j, w_k) \lambda_j = 0, k = \overline{1, n}.$$

Из (11) получим

$$\frac{dV}{dt} = A^{-1}(CV + B) \quad (12)$$

Так, функции  $v_j(t)$  должны удовлетворять нормальной системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений  $n$ -го порядка. Стоит отметить, что если функции  $K(x, t)$ ,  $\beta(x, t)$  зависят только от  $x$ , то система (12) – является системой с постоянными коэффициентами. При этом, если в качестве приближенных функций выбраны пробные, которые ортогональны, то матрицы  $A$  и  $A^{-1}$  являются диагональными матрицами.

Запишем теперь в развернутом виде условия (8), получим

$$\begin{aligned} & \left( u_0(x, 0) + \sum_{j=1}^n v_j(0)u_j(x) - f(x), w_k(x) \right) = \\ & = \sum_{j=1}^n (u_j(x), w_k(x))v_j(0) + (u_0(x, 0) - f(x), w_k(x)) = 0; \end{aligned}$$

или

$$\sum_{j=1}^n (u_j(x), w_k(x))v_j(0) + (f(x) - u_0(x, 0), w_k(x)), k = \overline{1, n};$$

или

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} v_j(0) = d_k, \quad k = \overline{1, n}; \quad (13)$$

где  $a_{kj}$  определяются формулами (10), а

$$d_k = (f(x) - u_0(x, 0), w_k) = \int_a^b (f(x) - u_0(x, 0)) w_k(x) dx.$$

Введем матрицу  $D = (d_k)_{n,1}$  и из (13) получим

$$V(0) = A^{-1}D. \quad (14)$$

В результате, для нахождения функций  $V_k(t), k = \overline{1, n}$ , которые определяют приближенное решение (6), получим задачу Коши для нормальной системы (12) линейных обыкновенных дифференциальных уравнений  $n$ -го порядка с начальными условиями (14). Решив указанную задачу Коши и подставив определяемые этим решением функции  $v_k(t)$  в (6), заканчиваем построение приближенного решения  $u_n(x, t)$ .

В ходе решения разделяем переменные, поскольку уравнение линейное, разбиваем на сумму более простых функций, которые удовлетворяют более простым задачам. Приводим к нулевым граничным условиям, получаем две функции, одна с нулевыми граничными условиями и с начальным условием, а другая с нулевым начальным условием, но с правой частью.

Таким образом, после указанного метода возможности перехода от уравнений в частных производных, присущим системам с распределенными параметрами, к обыкновенным дифференциальным уравнением, появляется возможность распространить обобщенный метод Галеркина [1-2] на новый класс систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

#### Библиографический список

1. Шишляков В. Ф. Синтез нелинейных САУ с различными видами модуляции: Монография/СПбГУАП. СПб., 1999. 268с.
2. Никитин А.В., Шишляков В.Ф. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления: Монография / Под ред. В.Ф.Шишлякова / СПбГУАП. СПб., 2003. 358с.
3. Анкилов, А. В. Решение линейных задач математической физики на основе методов взвешенных невязок: учебное пособие / А. В. Анкилов, П. А. Вельмисов, А. С. Семёнов; под общ. ред. П. А. Вельмисова. – 2-е изд. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 179 с.
4. Вельмисов, П. А. Математическое моделирование нелинейной динамики трубопровода / П. А. Вельмисов, Ю. В. Покладова, У. Д. Мизхер // Автоматизация процессов управления. – 2019. – № 3(57). – С. 93-101.
5. Айда-Заде, К. Р. Управление процессом нагрева стержня с использованием текущей и предыдущей по времени обратной связи / К. Р. Айда-Заде, В. М. Абдуллаев // Автоматика и телемеханика. – 2022. – № 1. – С. 130–149.

*В. И. Гончарова\**

старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОБЩАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В работе рассмотрена общая схема решения задачи синтеза линейных систем автоматического управления с распределенными параметрами обобщенным методом Галеркина.

**Ключевые слова:** система автоматического управления (САУ), САУ с распределенными параметрами, метод разделения переменных (Фурье), дифференциальные уравнения в частных производных.

*V. I. Goncharova\**

Senior Lecturer

\*Saint Petersburg State University of Aerospace

Instrumentation

## THE GENERAL SCHEME OF SOLVING THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF LINEAR AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

The paper considers a general scheme for solving the problem of synthesis of linear automatic control systems with distributed parameters using the generalized Galerkin method.

**Keywords:** automatic control system (ACS), ACS with distributed parameters, method of separation of variables (Fourier), partial differential equations.

Системы с распределенными параметрами содержат уравнения в частных производных. Таким образом для возможности применения обобщенного метода Галеркина к указанному классу систем необходимо совершить переход от дифференциальных уравнений в частных производных, к обыкновенным дифференциальным уравнениям.

С помощью метода разделения переменных (Фурье) рассмотрим наиболее часто используемую модель звена с распределенными параметрами для одномерного параболического дифференциального уравнения в частных производных [1]

Необходимо в области

$$D = \{(x, t) \in R^2; a \leq x \leq b, t \geq 0\}$$

найти решение  $U(x, t)$  дифференциального уравнения

$$L[u(x, t)] \equiv \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial K}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} - K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \beta(x, t)u = g(x, t),$$

с учетом граничных условий

$$\begin{cases} a_0 u(a, t) + a_1 \frac{\partial u(a, t)}{\partial x} = a_2(t), \\ b_0 u(b, t) + b_1 \frac{\partial u(b, t)}{\partial x} = b_2(t), \end{cases}$$

и начального условия

$$u(x, 0) = f(x).$$

В ходе решения разделяем переменные, поскольку уравнение линейное, разбиваем на сумму более простых функций, которые удовлетворяют более простым задачам. Приводим к нулевым граничным условиям, получаем две функции, одна с нулевыми граничными условиями и с начальным условием, а другая с нулевым начальным условием, но с правой частью.

Полученное в ходе разделения переменных уравнение

$$u_n(x, t) = u_0(x, t) + \sum_{k=1}^n v_k(t) u_k(x).$$

Запишем с учетом граничных условий в развернутом виде

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} \frac{dv_j}{dt} - \sum_{j=1}^n c_{kj}(t)v_j = b_k(t), k = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Если ввести в рассмотрение матрицы

$$A = (a_{kj})_n, C = (c_{kj})_n, B = (b_k)_{n,1}, V = (v_j)_{n,1},$$

то система (1) в матричном виде запишется так

$$A \frac{dV}{dt} = CV + B$$

Таким образом, после рассмотренного метода возможности перехода от уравнений в частных производных, присущим системам с распределенными параметрами, к обыкновенным дифференциальным уравнением, появляется возможность распространить обобщенный метод Галеркина на новый класс систем. Отсюда появляется необходимость полученные в [2] рекуррентные соотношения распространить на новый класс систем, САУ с распределенными параметрами.

Следующим этапом является получение передаточной функции объекта с распределенными параметрами. В ходе реализации переход от дифференциальных уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям получаем матрицы решений  $A, B, C$ , которые являются матрицами пространства состояний. Для примера матрицы равны

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, C = [c_1 \quad c_2],$$

где  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, c_1, c_2$  – элементы матриц, полученных в ходе реализации перехода от дифференциальных уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям.

Используя изображения по Лапласу, получаем передаточную функцию

$$W(p) = \frac{Y(s)}{U(p)} = C(pI - A)^{-1} B + D = C\Phi(p)B + D,$$

Используя полученное значение передаточной функции, находим в обобщенном виде передаточную функцию системы

$$\begin{aligned} W(p) &= C(pI - A)^{-1} B = [c_1 \quad c_2] \left( \begin{bmatrix} p & 0 \\ 0 & p \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \\ &= [c_1 \quad c_2] \cdot \begin{bmatrix} \frac{-a_4 + p}{a_1 a_4 - a_1 p - a_2 a_3 - a_4 p + p^2} & \frac{a_2}{a_1 a_4 - a_1 p - a_2 a_3 - a_4 p + p^2} \\ \frac{a_3}{a_1 a_4 - a_1 p - a_2 a_3 - a_4 p + p^2} & \frac{-a_1 + p}{a_1 a_4 - a_1 p - a_2 a_3 - a_4 p + p^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{b_1 c_1 p + b_2 c_2 p + b_1 c_1 a_4 + c_2 a_3 b_1 + b_2 c_1 a_2 - b_2 c_2 a_1}{p^2 - a_1 p - a_4 p + a_1 a_4 - a_2 a_3}, \end{aligned}$$

Таким образом получим передаточную функцию звена с распределенными параметрами в общем виде

$$W_{pn}(p) = \frac{b_1 c_1 p + b_2 c_2 p + b_1 c_1 a_4 + c_2 a_3 b_1 + b_2 c_1 a_2 - b_2 c_2 a_1}{p^2 - a_1 p - a_4 p + a_1 a_4 - a_2 a_3}.$$

Переходя к задаче синтеза технических систем обобщенным методом Галеркина, которая предполагает под собой известную структуру и параметры синтезируемой САУ. Устойчивость и грубость САУ должна обеспечиваться по варьируемым параметрам системы.

Поиск значений параметров регулятора должен осуществляться в области их технической реализуемости

$$c_k^- \leq c_k \leq c_k^+, \quad k = 1, 2, \dots, m,$$

где  $c_k^+$  – максимально допустимые значения варьируемых параметров;  $c_k^-$  – минимально допустимые значения варьируемых параметров.

Ограничения на грубость системы по варьируемым параметрам находим исходя из

$$\Delta = \frac{\delta c_k}{c_k} \leq \Delta^0,$$

где  $\Delta^0$  – заданное значение грубости системы;  $\delta c_k$  – вариации параметров, в пределах которых обеспечивается устойчивость системы.

На рисунке 1 показана система управления процессом нагрева в печи в общем виде, где  $W_{\text{рег}}$  – регулятор (например, пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД)),  $W_{\text{pn}}$  – объект управления с распределенными параметрами.

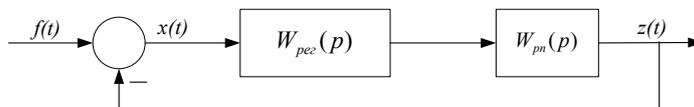


Рис. 1. Структурная схема САУ процессом нагрева в печи

Далее необходимо записать уравнение движения системы, которое в общем виде выглядит следующим образом

$$Q(c_k, D)x(t) + \bar{f}(p)x(t) = S(c_k, D)f(t),$$

где  $x(t)$  – координата выхода системы с распределенными;  $f(t)$  – сигнал на входе системы управления,  $c_k$  – варьируемые параметры,  $\bar{f}(p) = \frac{\varphi(p)}{\psi(p)} = \frac{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots}{b_1 p + b_2 p^2 + \dots}$  – обобщенные полиномы САУ с распределенными параметрами [3],  $Q(c_k, D), S(c_k, D)$  – полиномы оператора обобщенного дифференцирования  $D$ .

Дифференциальное уравнение, относительно координаты выхода системы

$$\begin{aligned} & T_1 p(p^2 - a_1 p + a_4 p + a_1 a_4 - a_2 a_3) \cdot z(t) + \\ & + (K_1 T_1 T_2 p^2 + K_1 T_1 p + K_1) \cdot (b_1 c_1 p + b_2 c_2 p + b_1 c_1 c_4 + c_2 a_3 b_1 + b_2 c_1 a_2 - b_2 c_2 a_1) z(t) = \\ & = (K_1 T_1 T_2 p^2 + K_1 T_1 p + K_1) \cdot (b_1 c_1 p + b_2 c_2 p + b_1 c_1 c_4 + c_2 a_3 b_1 + b_2 c_1 a_2 - b_2 c_2 a_1) f(t) \end{aligned}$$

Структура конкретной системы с распределенными параметрами будет определять некоторые особенности решения задачи синтеза параметров систем управления данного класса обобщенным методом Галеркина.

Исходя из заданных показателей качества работы САУ в переходном режиме в соответствии с рекомендациями, изложенными в [2], необходимо определить параметры желаемого программного движения вида

$$x^0(t) = x_y - H_1 e^{-\alpha t} \cos(\beta t - \varphi_0).$$

Далее на графике необходимо построить желаемое программное движение и график переходного процесса, построенный в соответствии с полученными варьируемыми параметрами системы.

Таким образом, реализуя переход от дифференциальных уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям, и используя алгоритм получения матричной передаточной функции можно решать задачу синтеза САУ обобщенным методом Галеркина.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

### Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664433: Российская Федерация. Программа для реализации перехода от дифференциальных параболических уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям: № 2023663900: заявл. 05.07.2023: опубли. 05.07.2023 / В. И. Гончарова.
2. Никитин А. В., Шишлаков В. Ф. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления: Монография / Под ред. В. Ф. Шишлакова / СПбГУАП. СПб., 2003. 358 с.
3. Дилигенская А. Н. Математическое моделирование систем с распределенными параметрами: учеб. пособие / А. Н. Дилигенская, И. А. Данилушкин. – Самара: Самар. Гос. Техн. ун-т, 2012. – 65 с.

А. Г. Грабарь\*

кандидат технических наук, доцент.

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Особые физические свойства малых частиц, давно, хотя и неосознанно, использовались людьми. До недавнего времени были известны только две аллотропные формы углерода: алмаз и графит и только в последние десятилетия были обнаружены новые формы углерода, среди которых углеродные нанотрубки, со своим уникальными физическими свойствами и требующие дальнейших научных исследований. Поэтому современные научные проблемы в области наноструктурных материалов являются наиболее актуальными, которые лежат на стыке современной физики, химии, биологии и медицины.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, физические свойства, наноструктуры

A. G. Grabar\*

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ON SOME FEATURES OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF CARBON NANOTUBES

The special physical properties of small particles have long been used by people, albeit unknowingly. Until recently, only two allotropic forms of carbon were known: diamond and graphite, and only in recent decades have new forms of carbon been discovered, including carbon nanotubes, with their unique physical properties and requiring further scientific research. Therefore, modern scientific problems in the field of nanostructured materials are the most urgent, which lie at the junction of modern physics, chemistry, biology and medicine.

**Keywords:** carbon nanotubes, physical properties, nanostructures.

Углерод является самым распространенным химическим элементом в природе. Он необходим для существования всем живым организмам и встречается в различных формах. Благодаря научным исследованиям последних десятилетий, были открыты новые, ранее неизвестные, формы углеродных структур, среди которых заметное место занимают углеродные нанотрубки (УНТ). Ученые обнаружили, что углеродные нанотрубки могут сочетать в себе свойства молекул твердого тела, а также как считают часть исследователей, могут рассматриваться как промежуточное состояние вещества. Уже первые исследования физико-химических свойств нанотрубок, показали их уникальные свойства (табл. 1).

Таблица 1

№ п/п	Физ.-хим. характеристики	Нанотрубки	Другие
1	Характерный размер	Диаметр от 0.6 до 1.8 нм	Предел электронной литографии 7 нм
2	Плотность	1.33 – 1.4 г/см <sup>3</sup>	Плотность алюминия 2.7 г/см <sup>3</sup>
3	Прочность на разрыв	45 ГПа	Самый прочный сплав стали разламывается при 2 ГПа
4	Упругость	Упруго сгибается под любым углом	Металлы и волокна из углерода ломаются по границам зерен
5	Плотность тока	Оценки дают до 1 ГА/см <sup>2</sup>	Медные провода выгорают при 1 ГА/см <sup>2</sup>
6	Теплопроводность	Предположительно до 6000 Вт/мК	Чистый алмаз имеет 3320 Вт/мК
7	Устойчивость к температуре	До 2800 <sup>0</sup> С в вакууме и 750 <sup>0</sup> С	Металлизация в схемах плавиться при 600-1000 0 <sup>0</sup> С

Высокая механическая прочность УНТ в сочетании с их электропроводностью позволяет использовать их в качестве зонда в сканирующих зондовых микроскопах, что позволяет получить высокую разрешающую способность [1].

Впервые УНТ были обнаружены в продуктах электродугового испарения графита в 1991 г. – это естественная, самоорганизованная наноструктура в виде трубки, состоящей из атомов углерода с замкнутыми друг на друга связями. Существуют две основные формы таких наноструктур: одностенные углеродные нанотрубки и многостенные. Структурно одностенная УНТ представляет собой трубку из листа графена. Графеновый лист –

это лист графита моноатомной толщины. Одностенные УНТ различаются не только по диаметру, но и по расположению шестиугольников. Причем, углеродные нанотрубки могут сочетать в себе свойства, как молекул твердого тела, так и свойства молекул промежуточного состояния вещества, чем, в свою очередь, объясняются их необычные физико-химические свойства. Таким образом, нанотрубки могут обладать как металлическими, так и полупроводниковыми свойствами, в зависимости от особенностей самой структуры.

Для описания геометрической структуры нанотрубок, часто пользуются двумя индексами –  $m$  и  $n$ , являющимися коэффициентами разложения по базисным векторам –  $a_1$  и  $a_2$  отрезка, соединяющего два атома, находящегося на противоположных сторонах ленты (рис.1).

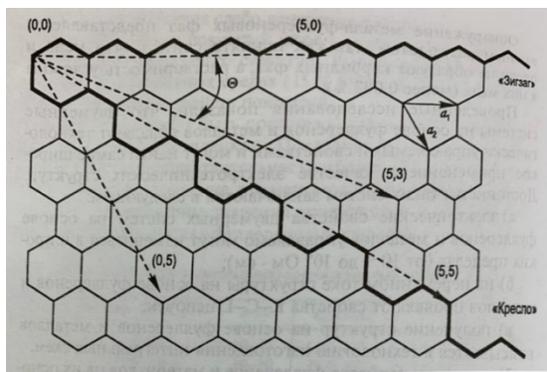


Рис. 1. Схематическое изображение строения УНТ

В случае сворачивания, эти два атома «сливаются». Если при сворачивании графеновой ленты каждая пара шестиугольников расположена к оси трубки под углом, отличным от  $0$  и  $90^\circ$ , то такие трубки называются хиральными. Если две стороны каждого шестиугольника перпендикулярны оси трубки, то такие трубки называются ахиральными типа «кресла», у них значения индексов –  $m$  равно  $n$ . У ахиральных трубок типа «зигзаг» две стороны каждого шестиугольника параллельны оси трубки, а значения индексов  $m$  или  $n$  равны нулю [2].

Электронные и колебательные свойства нанотрубок, как и всех упорядоченных твердых тел, существенным образом определяются их хиральностью и зависят от типа трубок. К примеру, если разница  $|m - n|$  кратна трем, то такие трубки обладают

металлическими свойствами, этими же свойствам обладают и все ахиральные трубки типа «кресла». В свою очередь, это определяется их электронной зонной структурой, которая зависит от атомного строения, т.е. от соотношения индексов  $m$  и  $n$  (рис.2).

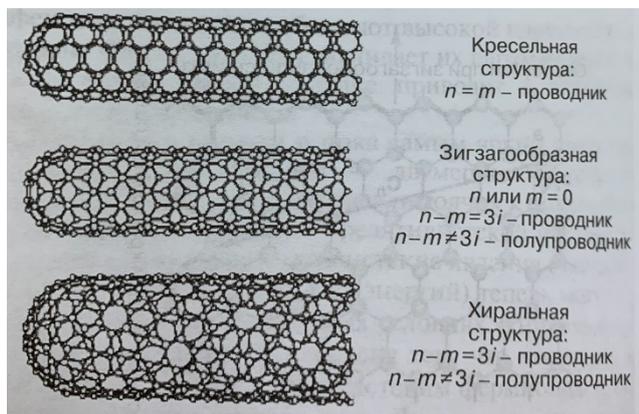


Рис. 2. Углеродные нанотрубки с различными хиральными векторами, определяемыми значениями  $m$  и  $n$

С точки зрения атомной структуры УНТ представляют собой замкнутые сетки, построенные из квази- $sp^2$ -гибридизованных углеродных атомов. Сетка состоит гексагональных ячеек (по боковой поверхности цилиндра и его «торцевых полусферах») и пентагональных ячеек, расположенных только на торцевых полусферах [3].

В заключении следует отметить, что уникальность физико-химических свойств нанотрубок: сверхмалые геометрические размеры, возможность при синтезе получить необходимую электропроводность, механическая прочность, высокая теплопроводность и химическая стабильность, продолжает привлекать многих ученых к проведению дальнейших исследований в целях поиска перспективных областей их применения.

### Библиографический список

1. В. Е. Борисенко Нанoeлектроника: теория и практика. –М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. – 366 с.
2. П. А. Витяь, Н. А. Свидуневич Основы нанотехнологий и наноматериалов. Минск: Высшая шк., 2010. – 302 с.
3. Власова А.И., Елсуков К.А. Конспект лекций «Технологии синтеза наноструктур». – М: МГТУ им. Баумана, 2008. – 31 с.

*Г. С. Гришкин\**

студент

*В. И. Казаков\**

к.т.н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ДЕТЕКТОРА ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Исследована квантовая эффективность детектора одиночных фотонов на базе учебной академической установки квантового распределения ключа. Разработана методика определения рабочего режима детектора.

**Ключевые слова:** квантовая криптография, детектор одиночных фотонов (ДОФ), квантовая эффективность, лазерный импульс, аттенюация.

*G. S. Grishkin\**

Student

*V. I. Kazakov\**

Ph. D. Tech., Associate Prof

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METHODOLOGY FOR STUDYING THE OPERATING MODES OF A SINGLE PHOTON DETECTOR AND MEASURING ITS QUANTUM EFFICIENCY

The quantum efficiency of a single photon detector based on the academic setup of quantum key distribution has been studied. A method for determining the operating mode of the detector has been developed.

**Keywords:** quantum cryptography, single photon detector (SPD), quantum efficiency, laser pulse, attenuation

Детектор одиночных фотонов является одним из ключевых элементов системы квантового распределения ключей (КРК) [1]. Основными параметрами детектора одиночных фотонов являются его квантовая эффективность, темновой счет, джиттер, мертвое время, вероятность появления остаточного импульса [2].

Для исследования параметров детектора одиночных фотонов применяются различные программы и методики измерений [3]. В работе на примере детектора одиночных фотонов учебной академической установки от компании КуРЭйт [4] определен рабочий режим детектора одиночных фотонов и методика измерения квантовой эффективности детектора.

Суть методики заключается в последовательном изменении мощностного режима путем внесения затухания переменным оптическим аттенюатором, расчете количества пришедших на детектор фотонов и количества его срабатываний.

По результатам предложенной методики формируется графическая зависимость количества срабатываний детектора от количества пришедших фотонов. Пример такой зависимости представлен на рис. 1.

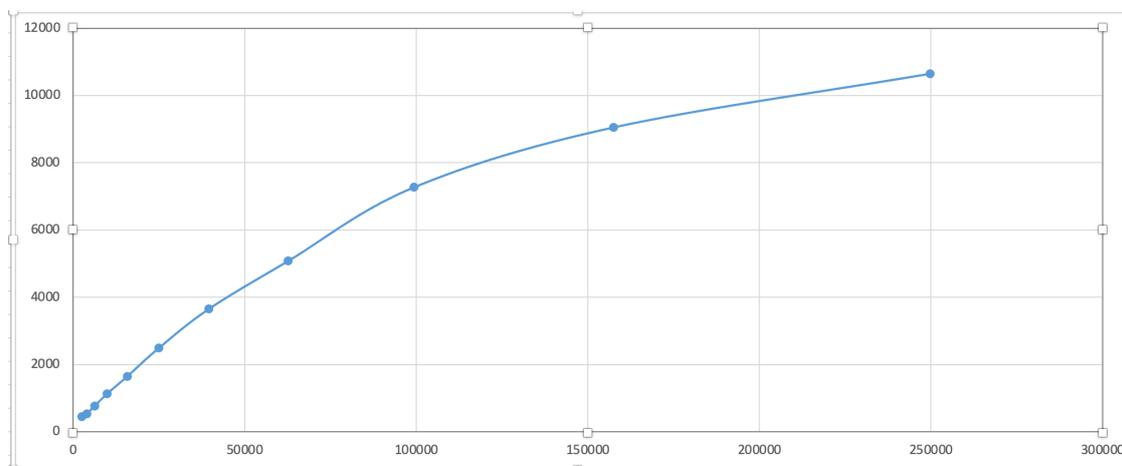


Рис. 1. График зависимости срабатываний детектора от количества пришедших импульсов

Полученная графическая зависимость позволяет определить границы рабочего линейного участка и вычислить квантовую эффективность детектора.

### Библиографический список

1. Chunnillal C. J. et al. Metrology of single-photon sources and detectors: a review // *Optical Engineering*. 2014. Vol. 53. №. 8. P. 081910-1-17.
2. Курочкин Ю. В., Курочкин В. Л. Детекторы одиночных фотонов на основе лавинных фотодиодов // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2011. Т. 54. №. 2-2. С. 202-205.
3. Измерение квантовой эффективности детекторов одиночных фотонов на EMQOS 1.0 / А. В. Бахус, Т. В. Казиева, Ж. Рабенандрасана, Н. С. Трофимов // XII международная конференция по фотонике и информационной оптике. – 2023. – С. 533–534.
4. Курочкин В. Л., Курочкин Ю. В., Родимин В. Е., Кривошеин Е. Г., Пономарев М. Ю., Федоров А. К. Учебная установка для выполнения экспериментов по квантовой оптике для целей изучения протоколов квантовой криптографии // Патент РФ № 2722133. Бюл. № 15. 2020. 2 с.

*Е. А. Гуцина\**

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ И МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С АНИЗОТРОПНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

В работе проведен анализ влияния ориентации анизотропных частиц в композиционном материале на электропроводящие свойства материала.

**Ключевые слова:** анизотропные частицы, перколяция, перколяционный кластер.

*E. A. Gushchina \**

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ORIENTATIONAL EXTRACTION AND MECHANICAL IMPACTS ON THE ELECTRICALLY CONDUCTING PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS WITH ANISOTROPIC PARTICLES

The work analyzed the position of anisotropic particles in a composite material with electrically conductive properties.

**Keywords:** anisotropic particles, percolation, percolation cluster.

В настоящее время защита от воздействия электромагнитных полей (ЭМП) является важной проблемой, как для оборудования, так и для живых организмов. Электромагнитные поля могут вызывать нежелательные эффекты, такие как электромагнитная интерференция, помехи в работе электронных устройств, а также потенциально вредить здоровью людей и других организмов.

Один из основных методов защиты от воздействия ЭМП заключается в использовании экранирования. Экранирование позволяет заметно снизить уровень электромагнитных полей, заключая их внутри проводящей оболочки или экрана. Такие экраны могут быть выполнены из различных материалов, например, металлов, которые обладают хорошей проводимостью электричества.

В экспериментальных исследованиях [1] электропроводности композиционных материалов на основе полипропиленовой матрицы и углеродных нановолокон в качестве наполнителя в виде блоков и пленок установлено влияние геометрии объекта на электропроводящие свойства наполнителей. При равной концентрации углеродных нановолокон электропроводность пленочных материалов выше, чем для блоков. Этот эффект можно объяснить различием в технологии получения образцов. Для изготовления блочных образцов композиционный материал формовали в специальной форме. Для пленок на выходе из микрокомпаундера устанавливался щельевой фильера. Сразу после выхода из фильеры пленку быстро охлаждают струей сжатого воздуха. Затем готовую пленку наматывают на катушки приемного устройства. Таким образом, внутренняя структура композитных пленок имеет ориентированную структуру. Анизотропные частицы имеют тенденцию принимать более энергетически благоприятное состояние.

В статье [2] анизотропные углеродные наночастицы рассматриваются как диполи, таким образом, частицы углеродных нановолокон имеют некоторую ориентацию относительно оси вытяжки пленки, что подтверждается микрофотографиями образцов [2-3].

В работе [4] представлено влияние ориентировочного рисунка на электропроводящие свойства композиционных материалов.

Проведем исследование влияния механических деформаций на электропроводящие свойства материалов. В качестве экспериментальных образцов используем композиционные материалы в виде пленок и волокон на основе полипропиленовой (ПП) матрицы и массовой долей углеродных нановолокон (УНВ) в качестве наполнителя 8%. Значение удельного электрического сопротивление пленочного материала без механического воздействия составляет 4,2 Ом м при температуре  $T = 293$  К, значение удельного электрического сопротивление композиционных материалов в виде волокон без механического воздействия составляет 0,2 Ом м при температуре  $T = 293$  К.

При медленном растяжении пленок и волокон происходит вытягивание и ориентация молекул материала вдоль направления нагрузки. Наблюдалось увеличение удельного электрического сопротивления на несколько порядков. Увеличение удельного электрического сопротивления при медленном растяжении пленок и волокон является довольно типичным явлением. При деформации происходит изменение микроструктуры материала, что влияет на его электрические свойства. Таким образом, пленочные материалы теряют свои экранирующие свойства.

Увеличение электрического сопротивления можно объяснить разрывом цепей перколяции из-за внутренних деформаций и перегруппировки структуры матрицы композиционного материала, а именно полимерные цепи растягиваются вдоль направления механического воздействия, что приводит к изменению положения угле-

родных нановолокон. Как упоминалось ранее, частицы углеродных нановолокон имеют тенденцию занимать благоприятное энергетическое состояние, угол относительно оси растяжения становится меньше, что приводит к разрушению цепей перколяции.

Экспериментальные результаты позволяют предположить, что в матрице имеется некоторый угол ориентации частиц анизотропного наполнителя, при котором при данной концентрации наполнителя могут быть достигнуты наилучшие электропроводящие свойства композита.

При формировании блочных образцов частицы углеродных нановолокон хаотично распределяются в объеме, и удельное электрическое сопротивление на 2 порядка выше, чем для пленочных образцов, в которых присутствует ориентация за счет метода получения образцов. При уменьшении максимального угла до 60° вероятность образования перколяционного кластера сильно увеличивается и достигает значения 70%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наибольшая вероятность образования перколяционного кластера в композиционном материале на основе полимерной матрицы и углеродных наполнителей может быть достигнута путем ориентации углеродных нановолокон вдоль некоторой оси.

#### Библиографический список

1. Степашкина, А. С., Алешина, А. Н. & Рымкевича, П. П. Влияние температуры на токовольтные характеристики композиционных материалов, изготовленных на основе полипропиленовой матрицы и углеродных наполнителей. *Физ. твердое тело* 57, 832-836 (2015). <https://doi.org/10.1134/S1063783415040290>.
2. Rui Araújo, M. C. Paiva, M. F. Proença, Carlos J. R. Silva Functionalization of carbon nanofibres by 1,3-dipolar cycloaddition reactions and its effect on composite properties *Composite Science and Technology*, vol. 67, is. 5. 2007. Pp. 806-810 <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.01.040>.
3. Torsten Prasse, Jean-Yves Cavallé, Wolfgang Bauhofer. Electric anisotropy of carbon nanofibre/epoxy resin composites due to electric field induced alignment. *Composite Science and Technology*, vol. 63, is. 13. 2003. Pp. 1835-1841 [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00019-8](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00019-8).
4. Цобкалло Е. С., Баланев А. С., Юдин В. Е., Москалук О. А. Влияние ориентировочного рисунка на физико-механические свойства нитей полипропиленовой пленки, заполненных наночастицами сажи. *Технология легкой промышленности*. Том 10, номер 4. 2010, стр. 25–29.

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТА ОТ СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ

В работе рассмотрен анализ влияния массового содержания дисперсного наполнителя в композитных материалах на прочностные характеристики.

**Ключевые слова:** композиционный материал, полимерное связующее, полиуретан, прочностные характеристики.

*E. A. Gushchina*

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

### DEPENDENCE OF COMPOSITE STRENGTH CHARACTERISTICS ON FILLER CONTENT

The work considers the analysis of the influence of the mass content of dispersed filler in composite materials on the strength characteristics.

**Keywords:** composite material, polymer binder, polyurethane, strength characteristics.

В настоящее время композиционные материалы широко применяются во многих всех сферах деятельности. Они имеют место быть как в приборостроительной и авиационной отрасли, так и в текстильной или медицинской. Свойства наполненных полимерных композитов определяются характеристиками полимерной матрицы, дисперсного наполнителя и их взаимодействием на границе раздела [1].

В данной статье рассматривается композитный материал на основе полиуретана с добавлением мелкодисперсного наполнителя прокаль в процентном содержании 40%, 50%, 60%, 70%.

Испытания на сжатие проводились на испытательном стенде МEGEON-03000.

В таблице 1 представлены основные результаты испытаний образцов на сжатие.

Таблица 1

Результаты испытаний

Содержание наполнителя прокаль, %	Радиус образца R, мм	Длина образца l, мм	Максимальное значение деформации образца $\Delta l_{\max}$ , мм	Конечное значение деформации образца $\Delta l_k$ , мм	Масса образца m, г	Максимальное значение нагрузки $P_{\max}$ , Н
40	12,69	43,3	2,12	1	18,19	826,7
50	12,45	54,4	2,48	2,14	17,3	800,9
60	12,415	56,3	3,18	3,1	35,48	472
70	12,675	51,6	3,33	3,29	42,57	688

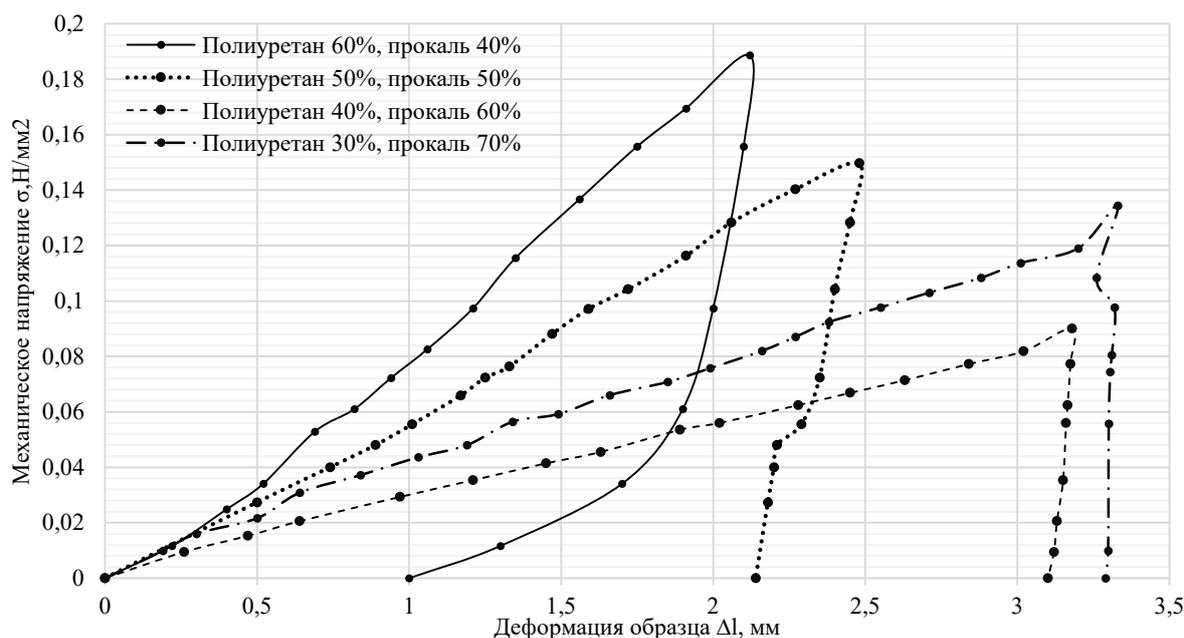


Рис. 1. Зависимость длины деформации образца от динамической нагрузки

По графику (рис. 1) видно, что наилучшими упругими свойствами обладает образец № 1 – ПУ 60%, прокаль 40%, при значении напряжения 0,19 Н/мм<sup>2</sup> (наибольшее среди всех образцов), максимальная деформация образца 2,12 мм, после снижения напряжения, деформация уменьшилась до значения 1,12 мм, таким образом общая деформация при испытании на сжатие составляет 1 мм.

Для образца № 2 – ПУ 50%, прокаль 50% общая деформация при испытании на сжатие составляет 2,14 мм.

Для образца № 3 – ПУ 40%, прокаль 60% общая деформация при испытании на сжатие составляет 3,1 мм. Образец имеет наименьшее значение напряжения среди всех материалов (если брать большее значение, образец разрушается), соответственно, испытуемый образец обладает худшими упругими свойствами.

Для образца № 3 – ПУ 40%, прокаль 60% общая деформация при испытании на сжатие составляет 3,29 мм.

### Расчет модуля Юнга и коэффициента упругости Гука

Модуль Юнга для образцов рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{P_{\max} \cdot l}{S_0 \cdot \Delta l}, \quad (1)$$

$$S_0 = \pi \cdot r^2, \quad (2)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное значение нагрузки, Н;  $l$  – длина образца, мм;  $\Delta l$  – длина деформации образца, мм;  $S_0$  – площадь нагруженной поверхности, мм<sup>2</sup>;  $r$  – радиус образца, мм.

Коэффициент упругости Гука рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{P_{\max}}{\Delta l} \quad (3)$$

Плотность образцов  $\rho$ , а также механическое напряжение  $\sigma$  рассчитывается по формулам 4-5 [2].

$$\rho = m \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l, \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{S_0}. \quad (5)$$

где  $m$  – масса образца, г.

Результаты расчётов подставлены в таблице 2.

Таблица 2

### Результаты расчетов

Содержание наполнителя прокаль, %	Механическое напряжение $\sigma$ , Па	Плотность образца $\rho$ , гр/см <sup>3</sup>	Модуль Юнга $E$ , МПа	Коэффициент упругости Гука $k$ , Н/мм
40	1684139,4	0,83	33,39	389,95
50	1631580,0	0,76	36,09	322,94
60	1018591,6	1,30	17,26	148,42
70	1401582,0	1,63	21,13	206,60

Таким образом наилучшей композицией, удовлетворяющей необходимым требованиям, является образец № 1 – ПУ 60%, прокаль 40%.

Материал выдерживает большие нагрузки, обладает высокой прочностью, при этом общая деформация образца составляет не более 1 мм.

### Библиографический список

1. Мельниченко, М. А. Влияние состава наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов / М. А. Мельниченко, О. В. Ершова, Л. В. Чупрова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 16 (96). – С. 199-202. – URL: <https://moluch.ru/archive/96/21554/> (дата обращения: 05.09.2023).
2. Гущина Е. А., Степашкина А. С. Метод определения показателей прочности и упругости полимерных композиционных материалов. Альманах современной метрологии. 2022. № 4 (32). С. 68-7.

*С. С. Дробышевская\**

Студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

*С. С. Поддубный\**

Кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВОЙ ПОМЕХИ НА ВЫХОДАХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ФИЛЬТРОВ, НАСТРОЕННЫХ НА НАПРАВЛЕНИЕ $\alpha_0$ И МИНУС $\alpha_0$ , ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗЛУЧАЕМЫХ СИГНАЛОВ

Определен коэффициент корреляции шумовой помехи на выходах двух пространственно-временных фильтров измерителя угловой координаты, использующего пространственно-временной излучаемый сигнал.

**Ключевые слова:** излучаемый пространственно-временной (П-В) сигнал, угловой код, коэффициент корреляции.

*S. S. Drobyshevskaya\**

Student at the Department of Design and Technologies of Electronic and Laser Equipment

*S. S. Poddubnyy\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor – Scientific Supervisor

\*St.Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## CORRELATION COEFFICIENT OF NOISE INTERFERENCE AT THE OUTPUTS OF SPATIO-TEMPORAL FILTERS TUNED TO THE $\alpha_0$ AND MINUS $\alpha_0$ DIRECTIONS USING SPATIO-TEMPORAL RADIATED SIGNALS

The correlation coefficient of noise interference at the outputs of two spatio-temporal filters of an angular coordinate meter using a spatio-temporal radiated signal is determined.

**Keywords:** emitted spatio-temporal (P-V) signal, angular code, correlation coefficient.

Под П-В излучаемыми сигналами понимаются сигналы, у которых функция комплексной модуляции зависит от направления излучения в пределах ширины диаграммы направленности передающей антенны. В результате в параметрах отраженного сигнала содержится информация об угловой координате цели. Поэтому для оценки угловой координаты можно использовать временные фильтры, которые имеют импульсные характеристики, симметрично рассогласованные относительно равносигнального направления на углы плюс  $\alpha_0$  и минус  $\alpha_0$ . Диаграмма направленности приемной антенны при этом не используется для оценки угла цели, а осуществляет только функцию приема. Поэтому сигналы и шумы поступают на эти два П-В фильтра с одного приемника. Известно, что наличие коррелированных шумов на выходах П-В фильтрах приводит к смещению оценки угловой координаты.

В докладе выполнен анализ зависимости коэффициента корреляции собственного шума приемника от величины расстройки двух П-В фильтров на направления  $\alpha_0$  и минус  $\alpha_0$  соответственно, для случая формирования П-В излучаемого сигнала путем модуляции положения фазового центра передающей антенны в процессе излучения ФМ сложного сигнала [1]. В результате такого излучения функция фазовой модуляции излучаемого сигнала «0», «л» вводится дополнительный фазовый сдвиг между позициями ФМ сигналов плюс  $\varphi(\alpha_0)$  или минус  $\varphi(\alpha_0)$  в зависимости от значения углового кода, т.е. какой из половин ФАР излучается элементарный импульс ФМ сигнала. Пространственная настройка фильтров на направление плюс  $\alpha_0$  и минус  $\alpha_0$  выполняется введением дополнительных фазовых сдвигов плюс  $\varphi(\alpha_0)$  и минус  $\varphi(\alpha_0)$  позиций ФМ сигналов, излучаемых соответствующими половинами ФАР.

При определении коэффициента корреляции шума на выходе этих фильтров предполагалось, что шумы не коррелированы на временном интервале, равном длительности элементарных импульсов, составляющих ФМ сигнал. Дисперсия шума считалась известной  $\sigma_u^2$ . В результате проведенного анализа было получено выражение для корреляционной функции шума на выходах двух П-В фильтров, настроенных на направление  $\alpha_0$  и минус  $\alpha_0$ .

$$K(t, u) = \sigma_u^2 \cdot 2 \cos(2\varphi(\alpha_0)) \cdot \delta(t - u),$$

где  $\varphi(\alpha_0)$  определяет фазовую настройку фильтров на направление  $\alpha_0$  или минус  $\alpha_0$ .

Как видно из этого выражения  $K(t, u) = 0$  при  $\varphi(\alpha_0) = 45^\circ$ .

Данный анализ показал, как выбрать фазовую настройку П-В фильтров, чтобы избежать смещение оценки угловой координаты.

При других значениях  $\varphi(\alpha_0)$  шумы оказываются коррелированы с известным значением коэффициента корреляции, что можно будет учесть для оценки смещения.

### Библиографический список

1. Поддубный С. С., Каяткин В. Н. Применение пространственно-временных излучаемых сигналов для разрешения по угловой координате. Сборник трудов XXII международной научной конференции «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы» / С. С. Поддубный, В. Н. Каяткин. – Санкт-Петербург: (WECNF-2019), ГУАП, – 2019. – 110–114 с.

А. А. Дрогинский\*

магистрант

А. Л. Ляшенко\*

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ АППАРАТУРЫ

Рассмотрен процесс разработки функционального генератора, формирующего калибровочные сигналы для проведения метрологической поверки радиоэлектронной аппаратуры.

**Ключевые слова:** функциональный генератор, калибровочный сигнал, автоматизированная система, микроконтроллер, осциллограмма

А. А. Draginskyi\*

Student

A.L. Lyashenko \*

PhD, Tech., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## DEVELOPMENT OF A SIGNAL GENERATOR FOR CHECKING EQUIPMENT

The process of developing a functional generator that generates calibration signals for metrological verification of radio-electronic equipment is considered.

**Keywords:** function generator, calibration signal, automated system, microcontroller, oscillogram.

В работе представлены вопросы, связанные с проблемами проектирования генераторов сигналов для поверки радиоэлектронной аппаратуры [1]. Аппаратное решение проблемы предлагается решить с применением микроконтроллеров семейства STM32. Структура генератора сигналов изображена на рисунке 1.

Генератор сигналов выводит три различных сигнала на три отдельных вывода. Для формирования этих сигналов использована платы STM32L-Discovery с микроконтроллером STM32L152RB [2]. Питание будет обеспечено посредством разъема mini-USB. Для написания кода и отладки было использовано следующее программное обеспечение: STM32 CubeMX и Keil uVision. В первом была настроена периферия и система тактирования МК. С помощью второго был написан код и производилась отладка.

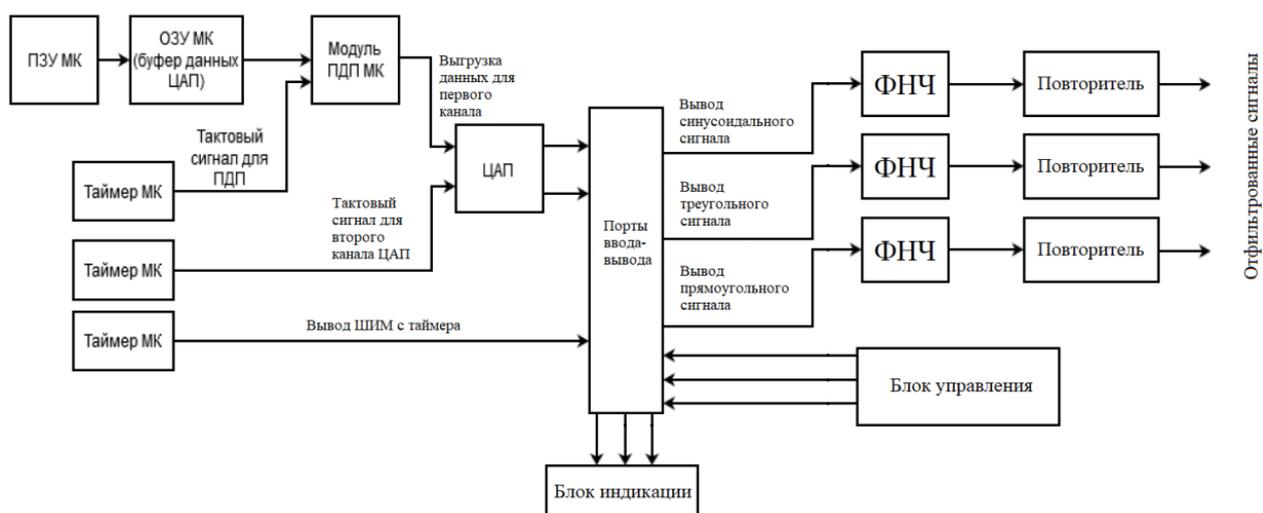
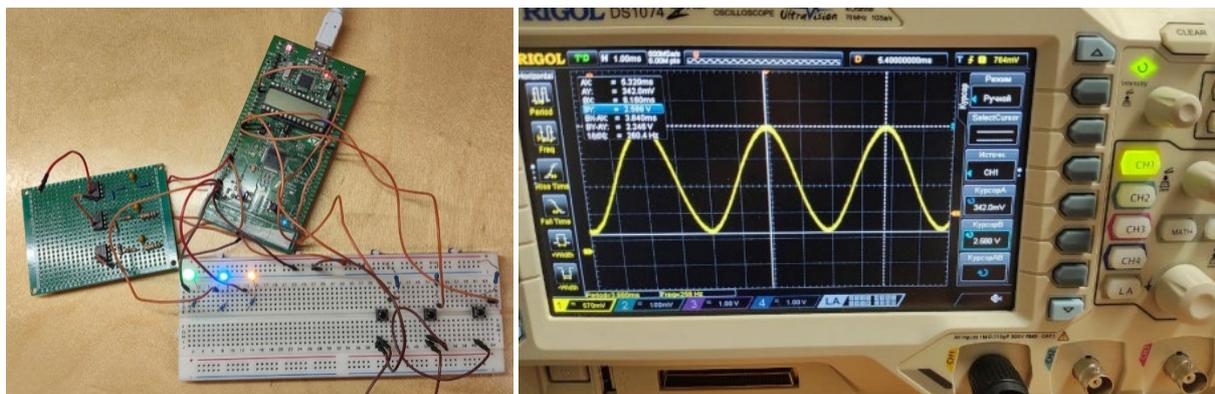


Рис. 1. Структурная схема устройства

Разработанное устройство позволяет генерировать сигналы синусоидальной, пилообразной и прямоугольной формы.



*Рис. 2. Макет генератора и осциллограмма сигнала синусоидальной формы*

Полученные результаты будут использованы при разработке функционального генератора сигналов сложной формы для проведения поверки одноканальных и многоканальных электрокардиоприборов.

#### **Библиографический список**

1. Тюрин В.А. Метод прямого цифрового синтеза в генераторах сигналов специальной формы SFG-2110 и АКПП-3410/3: учебно-методическое пособие. – Казань: Казанский федеральный университет, 2015. – 74 с.
2. STM32L151x6/8/B STM32L152x6/8/B Datasheet. – URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l152rb.html> (дата обращения 10.12.2023).

*М. Ю. Егоров\**

кандидат технических наук, доцент

*И. Н. Медведникова\*\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В работе проводится оценка эффективности работы возобновляемых источников энергии, их преимуществ и недостатков, а также перспективы их использования в будущем. Анализ выполнен на примере работы ветровых установок, солнечных батарей и гидроэлектростанций, биомассы и геотермальной энергии.

**Ключевые слова:** солнечные батареи, ветровые установки, гидроэлектростанции, биомасса, геотермальная энергия.

*M. Yu. Egorov\**

PhD, Tech., Associate Professor

*I. N. Medvednikova\*\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation, St. Petersburg state forest technical University, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ANALYSIS OF THE OPERATION EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

The work evaluates the operating efficiency of renewable energy sources, their advantages and disadvantages, as well as the prospects for their use in the future. Using the example of wind turbines, solar panels and hydroelectric power plants, biomass and geothermal energy.

**Keywords:** solar panels, wind turbines, hydroelectric power stations, biomass, geothermal energy.

### Введение

Возобновляемые источники энергии – это источники энергии, которые получают из природных процессов. Они также могут восстанавливаться или быть взяты из неисчерпаемых источников. Возобновляемая энергия отличается от ископаемого топлива, такого как торф, сланцы, нефть, газ и уголь, потому что она не иссякает и не наносит вреда Земле [1-2]. Возобновляемая энергия поступает из таких вещей, как солнце, ветер, вода, растения и тепло Земли.

Использование возобновляемых источников энергии стало популярно в мире, так как это считается одним из наиболее перспективных способов снижения вредного воздействия на окружающую среду и смягчения изменения климата. Однако эффективность работы возобновляемых источников энергии – это ключевой аспект, который определяет их реальный вклад в энергетику и экологию.

### Методы и материалы

Возобновляемые источники энергии подразделяются

- на источники возникновения (солнечная энергия, геотермальная энергия, низкопотенциальная тепловая энергия, гидравлическая);
- на природные явления (ветровая, волновая, приливная);
- по виду энергоносителя (биомасса).

Солнечная энергия – это энергия солнечного излучения, падающего на поверхность Земли. Эта энергия, являющаяся основой жизни и управляющая всеми природными условиями, обладает неограниченным потенциалом. Средняя интенсивность солнечного излучения за пределами земной атмосферы составляет около  $1350 \text{ Вт} / \text{м}^2$ . Через атмосферу при благоприятных условиях проникает на поверхность земли около  $1000 \text{ Вт} / \text{м}^2$ .

С каждым годом появляется больше разработок, приводящих к снижению затрат, но повышающих эффективность использования солнечной энергии. По прогнозам Shell возобновляемые источники энергии к 2040 г. будут производить 50% мировой энергии. Мировыми лидерами в производстве солнечной энергии стали Япония и Германия.

Геотермальная энергия подобна теплоте, исходящему из центра Земли. Оно выделяется через землю и существует в виде горячих камней, воды или пара. Чаще всего эту энергию используют в местах, где есть дей-

ствующие вулканы. К ним относятся: Япония, Камчатка и другие. Самый мощный в мире комплекс геотермальных электростанций – «Гейзерс» (The Geysers) расположен в Калифорнии. На территории в 78 квадратных километров находится 350 работающих скважин, обслуживанием которых занимаются ГеоТЭС совокупной мощностью 1517 МВт. Коэффициент ее использования составляет около 65%, то есть 955 МВт. Источником энергии для «Гейзерс» является очаг магмы диаметром более 13 км, расположенный в 6,4 км под поверхностью Земли.

Гидравлическая энергия – это энергия, которую мы получаем от воды, включая подземные потоки. Люди использовали энергию воды уже несколько тысяч лет назад. Водяные мельницы были очень полезны, потому что они могли делать такие важные вещи, как резка дерева, изготовление металла и производство бумаги. Затем, в 1834 году, инженер Б. Фурнерон создал еще более совершенную машину, названную водяной турбиной.

Чуть позже, И. Сафонов сконструировал свою турбоустановку, торая развивала мощность в два раза больше, чем водяное колесо. И лишь спустя 30 лет, англичанин У. Армстронг придумал первую гидроэлектрическую схему электропитания, которая освещала картинную галерею. А на Ниагарском водопаде появилась первая гидроэлектростанция Я. Шоелкопфа. С 1930 – х годов крупные ГЭС стали появляться одна за другой. В России первой гидроэлектростанцией считают Березовскую ГЭС, которая появилась в 1892 году.

Биомасса – это особая часть растений и животных, которую мы можем использовать для создания тепла и электричества. Сюда входят такие вещи, как остатки древесины от вырубki деревьев, отходы ферм и животных и даже мусор, который люди выбрасывают дома и на фабриках.

Основное преимущество возобновляемых источников энергии – неисчерпаемость и экологическая чистота. Их использование не изменяет энергетический баланс планеты. Эти качества и послужили причиной резкого развития возобновляемой энергетики за рубежом.

Преимущества использования возобновляемых источников энергии:

- обеспечение энергетической безопасности;
- сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- завоевание мировых рынков ВИЭ, особенно в развивающихся странах;
- сохранение запасов собственных энергоресурсов для будущих поколений;
- увеличение потребления сырья для неэнергетического использования топлива.

Недостатки использования: зависимость от погодных условий и времени суток; высокая стоимость конструкции; необходимость использования больших площадей.

### **Выводы**

1. Возобновляемые источники энергии являются достаточно эффективными в своей работе, несмотря на перечисленные недостатки.

2. Ветряная энергия или солнечная энергия могут показать разную эффективность в разных местах. Например, ветряная энергия может быть эффективной на побережье с океанскими ветрами, в то время как солнечная энергия может быть более эффективной в районах, где солнце освещает большую часть года.

3. Проанализированы факторы, которые оказывают влияние на эффективность использования возобновляемых источников энергии.

### **Библиографический список**

1. Волков Д. А., Рысин А. В., Солёная О. Я., Солёный С. В., Чернышева О. Б. Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии. – СПб.: ГУАП, 2020. – 121 с.
2. Гедири А. Возобновляемые источники энергии – новая энергетическая революция. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2012. – № 1. – С. 98–104.

*М. Ю. Егоров\**

кандидат технических наук, доцент

*С. С. Митогуз\*\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова,

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

Прогресс в технологиях, увеличение численности населения всего мира увеличивают потребность в энергии. Для удовлетворения этого спроса, снижения затрат на импорт и сохранения окружающей среды, развитые и развивающиеся страны обратили свое внимание на использовании нетрадиционных и возобновляемых (альтернативных) источников энергии. Возобновляемая энергия представляет элемент в создании устойчивой, экологически чистой и экономически эффективной системы производства электроэнергии. Чтобы заменить использование ископаемых топлив альтернативными источниками, большинство стран перешли на применение экономически выгодных методов, учитывая технологические требования, географические ограничения. Источники возобновляемой энергии имеют недостатки: от проблемы интеграции в традиционную энергетическую систему, и до характеристик возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** альтернативная энергия, энергетические ресурсы, энергетические технологии, источники возобновляемой энергии, энергоэффективность.

*М. Yu. Egorov\**

PhD, Tech., Associate Professor

*S. S. Mitoguz\*\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation,

St. Petersburg state forest technical University, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## PROBLEMS OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT

Advances in technology, an increase in the world's population are increasing the need for energy. To meet this demand, reduce import costs and preserve the environment, developed and developing countries have turned their attention to the use of non-traditional and renewable (alternative) energy sources. Renewable energy is a key element in creating a sustainable, environmentally friendly and cost-effective electricity generation system. To replace the use of fossil fuels with alternative sources, most countries have switched to the use of cost-effective methods, taking into account technological requirements, geographical re-strictions, etc. However, renewable energy sources have their drawbacks. Starting from the problem of integration into the existing traditional energy system, and ending with the natural characteristics of renewable energy sources.

**Keywords:** alternative energy, energy resources, energy technologies, renewable energy sources, energy efficiency.

Энергетические ресурсы на основе ископаемого топлива становятся причиной серьезных экологических проблем, включая глобальное потепление и изменение климата. За последние несколько десятилетий выбросы парниковых газов в атмосферу при производстве электроэнергии увеличивались экспоненциально. Из-за этого возникла необходимость использования технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ), с целью производства электроэнергии и преодоления современных экологических проблем. Из-за своих экологически безопасных характеристик и возможности производства электроэнергии с минимальным или отсутствующим выбросом загрязняющих веществ в атмосферу, возобновляемые источники энергии привлекают все больше внимания общества, поскольку растет осознание проблемы сохранения окружающей среды. ВИЭ имеют значительное экономическое влияние.

Несмотря на увеличение использования ВИЭ для генерации электроэнергии, основная часть производства энергии все еще зависит от использования ископаемых топлив. Это связано с переменностью и нестабильностью возобновляемых источников и высокими начальными затратами. Помимо них, существуют и другие недостатки источников возобновляемой энергии: зависимость от местности; хранение энергии; воздействие на окружающую среду; инфраструктура. Целью работы является исследование проблем возобновляемой энергетики и способов их решения. Для этого необходимо рассмотреть технологии возобновляемой энергетики, системы хранения полученной от ВИЭ, гибридизацию возобновляемых источников энергии.

### Материалы, методы и результаты

В наши дни возобновляемые источники энергии получают все более широкое распространения для производства электроэнергии в мире. Это связано с обеспокоенностью общества экологическими проблемами, возникающими в результате производства электроэнергии с помощью ископаемых источников энергии.

Выделяют пять основных групп технологии возобновляемой энергетики: солнечная энергия, гидроэнергетика, энергия ветра, биоэнергетика и геотермальная энергия. Каждый вид энергии имеет условия эксплуатации, которые влияют на эффективность преобразования энергии, поэтому технологии ВИЭ зависят от местоположения и состояния [1].

Солнечная энергия представляет ионизированное излучение, происходящее от Солнца, и является одной из самых широко используемых форм энергии по всему миру. Большинство исследователей стремятся улучшить и повысить эффективность преобразования солнечной энергии, исследуя различные технологии для оптимизации конструкции систем солнечной энергии. Они также работают над оптимизацией издержек и процессов преобразования энергии. Существуют два типа солнечной энергии: фотоэлектрическая и тепловая.

Фотоэлектрическая энергия является одной из наиболее популярных технологий солнечной энергии в будущем. На данный момент фотоэлектрическая энергия обеспечивает приблизительно 2% всего мирового спроса на электроэнергию. Однако данная технология имеет невысокий коэффициент полезного действия, около 31% (предел Шокли-Квиссера). Для преодоления данного ограничения были разработаны некоторые фотоэлектрические технологии, включая фотоэлектрические системы с концентраторами, конвертеры с горячими носителями, многосоставные солнечные элементы, плавучие фотоэлектрические установки и технологии снижения преобразования высокоэнергетических фотонов.

Солнечная тепловая энергия получается путем преобразования энергии излучения в тепловую энергию, которая реализуется в промышленных и бытовых секторах. Технология использует солнечные коллекторы или солнечные термальные электростанции, где тепло от солнечного излучения используется для нагрева жидкости или пара, что затем преобразуется в энергию. Существует три типа солнечных тепловых коллекторов: низкотемпературные, средне-температурные и высокотемпературные. Тепловая энергия способна поглощать более 90% солнечного излучения, что обеспечивает более высокую эффективность преобразования энергии. Недостатком данного вида энергии является высокая стоимость компонентов [2].

#### **Выводы**

1. ВИЭ являются достаточно эффективными в своей работе, несмотря на перечисленные недостатки.
2. Ветряная энергия или солнечная энергия могут показать разную эффективность в разных местах: ветряная энергия эффективна на побережье с океанскими ветрами, солнечная энергия – в районах, где солнце освещает большую часть года.

#### **Библиографический список**

1. Рац Г. И., Мординова М. А. Развитие альтернативных источников энергии в решении глобальных энергетических проблем // Известия ИГЭА. 2012. № 2. С. 132–136.
2. Vivek C. M., Ramkumar P., Srividhya P. K., Sivasubramanian M. Recent strategies and trends in implanting of renewable energy sources for sustainability – A review // Materials Today. Volume 46, Part 17, 2021, Pages 8204-8208.

**К. В. Епифанцев**

Доцент, кандидат технических наук, доцент

ФГАОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Email: epifancew@guap.ru

epifancew@gmail.com

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ САМОКОМПЕНСАЦИИ КРУГЛОМЕРОВ «MAHRFORM MMQ200» И «ROUNDTEST RA-120P»

В тезисах рассмотрены результаты сравнения измерения детали одной конфигурации и массы на кругломерах Mahr и Mitutoyo. Процесс измерения дефектов формы реализован на приборах со сверхточными датчиками, способными улавливать дефекты формы только в процессе вращения детали, что накладывает ряд сложностей при реализации данного алгоритма из-за анализа именно векторных, а не скалярных измеряемых величин. Механизм самокомпенсации приборов устроен также по принципу выравнивания, который является наиболее важным при выравнивании стола, на котором закреплена деталь. Основной целью работы является создание импортозамещенного прибора на основе анализа вышеупомянутых кругломеров

**Ключевые слова:** управление качеством на предприятии, кругломеры, измерение дефектов формы, поправки центрирования-выравнивания детали.

**К. V. Epifantsev**

Ph. D Tech, Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ALGORITHMS OF SELF-COMPENSATION OF ROUND METERS "MAHRFORM MMQ200" AND "ROUNDTEST RA-120P"

The theses consider the results of comparing the measurement of a part of the same configuration and mass on Mahr and Mitutoyo round meters. The process of measuring shape defects is implemented on devices with ultra-precise sensors capable of detecting shape defects only during the rotation of the part, which imposes a number of difficulties in implementing this algorithm due to the analysis of vector rather than scalar measured values. The self-compensation mechanism of the devices is also arranged according to the principle of alignment, which is most important when aligning the table on which the part is fixed. The main purpose of the work is to create an import-substituted device based on the analysis of the above-mentioned round meters.

**Keywords:** quality management at the enterprise, round meters, measurement of shape defects, corrections of centering-alignment of the part.

Дефект формы является крайне сложно определимым браком в процессе контроля качества партии деталей [3]. Процесс определения данных дефектов самым недорогим методом-ощупывание детали вращающейся в центрах индикатором частоты игольчатого типа. Однако данный метод крайне долгий, неавтоматизированный. Выбранные приоры намного быстрее и точнее, но действующие аналоги российских производителей представлены только экспериментальными образцами Самарского центра ФИАН.

Для эксперимента была изготовлена деталь следующих параметров: масса детали – 216.65 грамм, сплав Д16Т, груз, имитирующий осевое биение был расположен в верхней части детали.

Для выявления работы машины по определению поправок на кругломеры Mahr и Mitutoyo деталь была отцентрована (функция центрирование-выравнивание) сначала без пригруза, затем с приклеенным на мастику грузом, который нужен был для имитации торцевого биения детали (рис. 1, рис. 2).



Рис. 1. Вид детали на кругломере Mahr(слева) и Mitutoyo (справа), с пригрузом и без

Пригрузы – это образцовые гири (рис. 2). Рис. 2 схематично представляет схемы раскрепления грузов на разных осях кругломера.

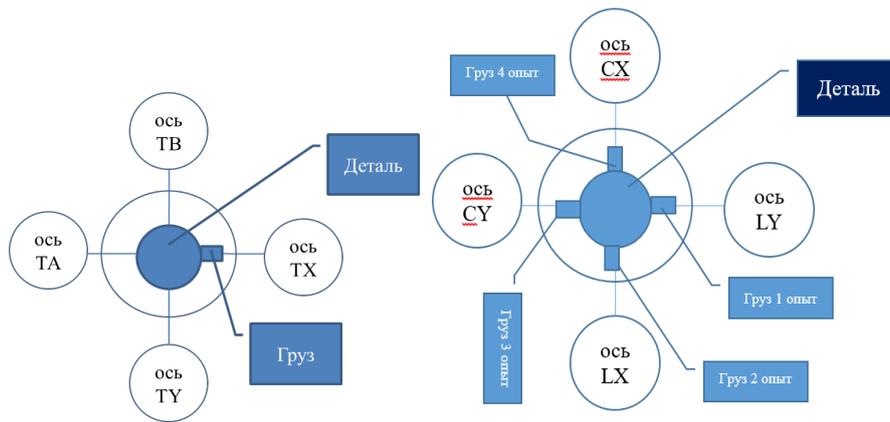


Рис. 2. Набор эталонных гирь (слева) Mahrform и схематичное представление осей кругломера и расположения экспериментальной детали с грузом (справа) Mitutojo

Процесс эксперимента включал измерение биения на кругломере Mahrform (рис. 2) при приклеивании пригруза на разные оси. В кругломере Mitutojo, наоборот измерялось не биение, а результат центрирования-выравнивания: это коэффициенты компенсации, которые вычисляет машина, советуя на определенное количество микрон наклонить столик влево-вправо-вверх-вниз для оптимального положения детали. На рис. 3–5 видно, как поменялась круглограмма в кругломерах Mahr и Mitutojo до наклеивания пригруза и после этого.



Рис. 3. Круглограмма до приклеенного груза (слева) и после наклеивания груза в 200 микрограмм (справа) Mahr



Рис. 4. Круглограмма до приклеенного груза (слева) и после наклеивания груза в 7,9 грамм микрограмм (справа) Mahr



Рис. 3. Круглограмма до приклеенного груза (слева) и после наклеивания груза в 7,1 грамм микрограмм (справа) Mitutojo

Суммарно результаты при установке одного и того же груза весом 27,94 грамма на разных осях представлены ниже на рис. 4

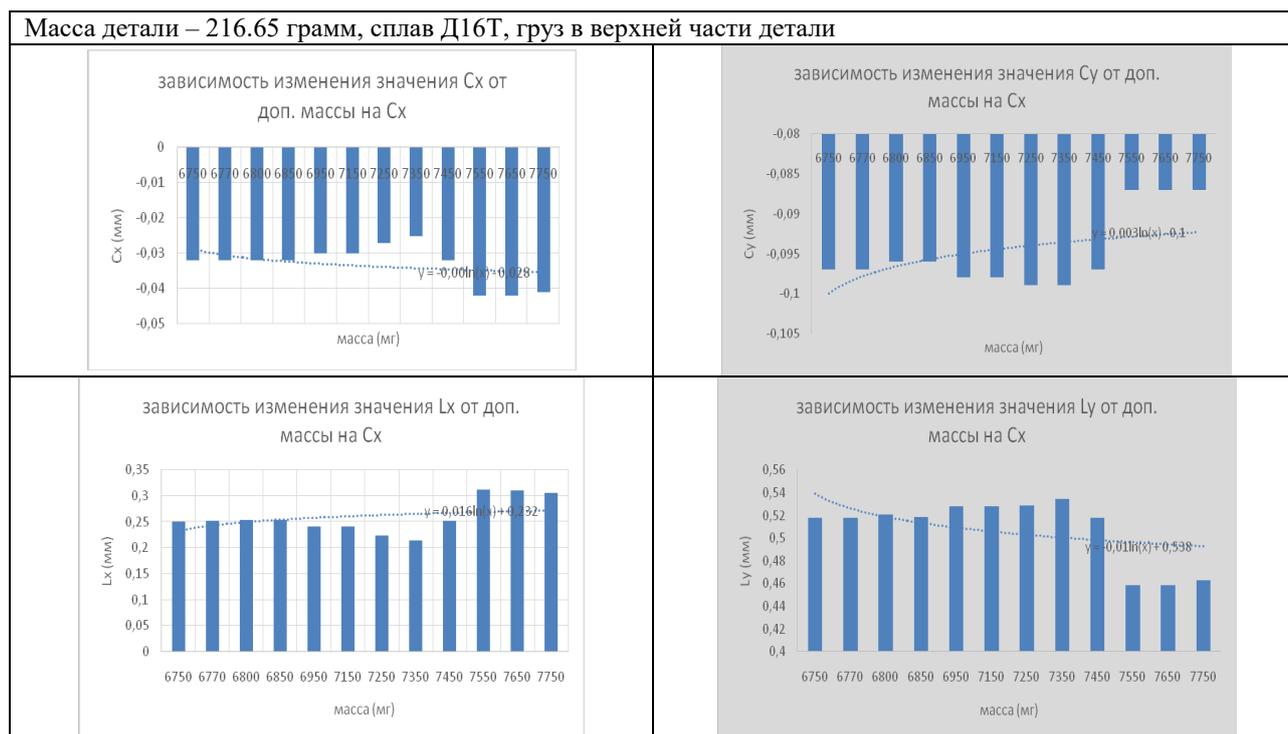


Рис. 5. Графически выведенная зависимость биения от пригруза 27,94 грамма на осях, мкм

Процесс испытания на кругломере Roundtest был представлен на рис. 2, справа. Было проведено 4 опыта с перестановкой детали на разные оси. С математической точки зрения объяснить все круглограммы – это лимаконы Паскаля, кватернионные алгоритмы [2]. Далее с данной же деталью были проведены эксперименты на кругломере «Roundtest».

Таблица 1

### Результаты эксперимента



### Библиографический список

1. ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения. М.: Стандартинформ, 2015.
2. Гаер М.А. Разработка и исследование геометрических моделей пространственных допусков сборок с использованием кватернионов. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Иркутск, 2005
3. Е. А. Гущина. Цифровая метрология: учеб.-метод. пособие / Е. А. Гущина, К. В. Елифанцев, Н. Ю. Ефремов. – СПб.: ГУАП, 2022. – 104 с.
4. Елифанцев К.В. Интерпретации системы координирующих размеров и размерных элементов в конструкторской документации //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23. № 6 (104). С. 52–55.

*М. А. Епринцев\**

Аспирант, преподаватель

*А. С. Кузовов\**

Студент, бакалавр

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА ПЛАТЫ КОНТРОЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОКА ДЛЯ МАКЕТА СПУТНИКА

Представлена плата контроля потребления тока, разработанная для учебного макета малого космического аппарата.

**Ключевые слова:** печатная плата, малые космические аппараты, модуль тока и напряжения.

*М. А. Yeprintsev\**

graduate student,

*A. S. Kuzovov\**

Student, Bachelor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## DEVELOPMENT OF A CURRENT CONSUMPTION CONTROL BOARD FOR A SATELLITE LAYOUT

A current consumption control board designed for a training mock-up of a small spacecraft is presented.

**Keywords:** printed circuit board, small spacecraft, current and voltage module.

В 21 веке в связи с высокими темпами научно-технического прогресса в микроэлектронике и средствах дистанционного зондирования Земли в мировой космонавтике развивается тенденция миниатюризации космических аппаратов (КА), в следствии чего разработка реальных КА и их макетов упрощается.

Целью исследования является разработка платы контроля потребления тока для макета космического аппарата. Разрабатываемая плата должна отслеживать уровень потребления тока, напряжение и мощность приборов, двигателей-маховиков, полезной нагрузки.

В качестве управляющей платы была выбрана Arduino NANO V3 с микроконтроллером ATmega 328, этот микроконтроллер имеет 8-разрядное ядро, основанное на архитектуре RISC. Эта управляющая плата подходит для данной задачи за счет своих размеров и простоты использования [1]. Управляющая плата контрора сопряжена с главной платой управления с помощью протокола 1Wire.

На рис. 1 представлена общая принципиальная электрическая схемы платы контроля. На плате размещены 6 модулей тока и напряжения INA219 и управляющая плата Arduino NANO V3.

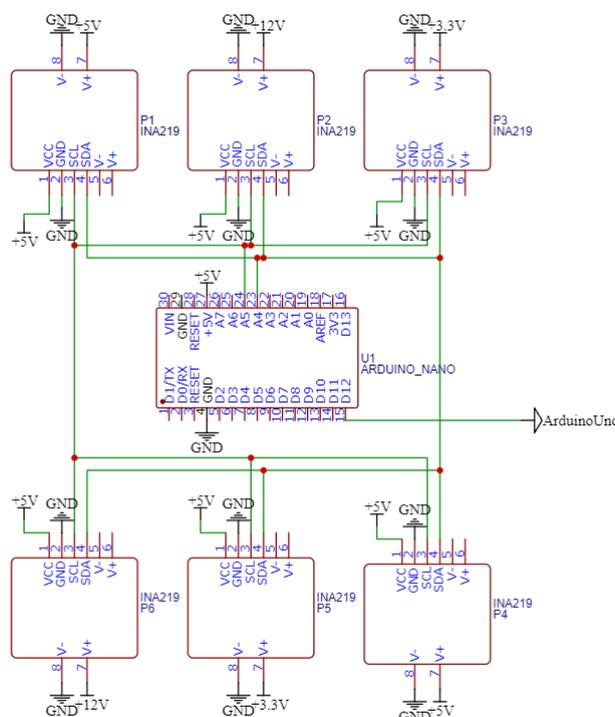


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема платы контроля

С помощью клемных разъемов к модулям тока присоединяются потребители и источники электроэнергии (солнечные панели) с максимальным напряжением до 26 вольт. Далее от модулей тока информация в цифровом виде передается по протоколу I2C на управляющую плату, где обрабатывается и отправляется на главную плату управления.

На основе принципиальной электрической схемы, в программе Sprint Layout, была разработана схема печатной платы [2]. Все компоненты установлены на верхнем слое платы М1 и соединены дорожками толщиной 1 мм. Габаритные размеры платы составляют 100 на 100 мм. На рис. 2 представлена схема разработанной печатной платы.

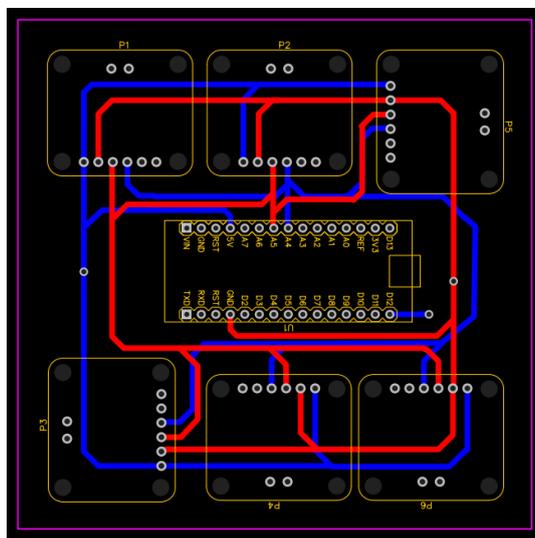


Рис. 2. Печатная плата

Таким образом, согласно принципиальной электрической схеме, была разработана плата контроля потреблением тока, которая отправляет данные на главную плату управления. Данная плата является универсальной и позволяет получать данные одновременно с 6 устройств.

#### Библиографический список

1. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.: ил. – (Электроника).
2. Царев М. Г. Проектирование печатных плат в программе Sprint Layout 6. Ульяновск, 2016. 97 с.

*Н. О. Еременко\**

студент

*А. А. Аристов\**

аспирант, преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**КАЛИБРОВКА И ОЦЕНКА КАЛИБРОВКИ МЕТЕОДАТЧИКОВ BMP280**

Определение аддитивного поправочного коэффициента датчиков BMP280 и определение среднеквадратичного отклонения до и после калибровки.

**Ключевые слова:** датчик BMP280, воздушное давление, калибровка, среднеквадратичное отклонение, систематическая погрешность.

*N. O. Eremenko\**

student

*A. A. Aristov\**

Graduate student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

**CALIBRATION AND ESTIMATION OF CALIBRATION OF METEOSENSOR BMP280**

Determination of the additive correction factor of the BMP280 sensors and determination of the standard deviation before and after calibration.

**Keywords:** BMP280 sensor, air pressure, calibration, standard deviation, systematic error.

Рассматриваемая задача калибровки очень важна в контексте разработки прибора тестирования ПВД, однако сам он к предмету статьи не относится, и продемонстрированный ниже опыт может быть использован в любой схожей задаче.

В приборе тестирования ПВД используется метеодатчики BMP280, имеющие абсолютную погрешность  $\pm 1$  гПа в диапазоне температур от 0 до 65 °С, что указано в документации [1]. Соответственно, планируется получить точность не менее указанной. По документации, датчик способен измерять давление в диапазоне от 300 до 1100 гПа.

Систематическую погрешность сочтем постоянной и независимой от входной функции, справедливость чего будет доказана далее (см рис. 1). Аддитивный поправочный коэффициент найдем как математическое ожидание разности выходного сигнала датчика и истинным значением атмосферного давления.

$$a_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [r - g_j]$$

где  $a_j$  – аддитивный поправочный коэффициент для датчика  $j$ ,  $N$  – количество измерений,  $r$  – истинное атмосферное давление,  $g_j$  – выходной сигнал датчика  $j$ .

Получение выборки для нахождения аддитивного поправочного коэффициента проходило в лабораторных условиях с достоверно известным атмосферным давлением, равным 1008.37 гПа.

Таблица 1

**Полученные аддитивные поправочные коэффициенты**

Номер датчика $j$	Поправочный коэффициент $a_j$ (гПа)
1	-4.23
2	-3.54
3	-3.83
4	-4.08

Возьмем две выборки данных: первая получена некалиброванными датчиками, вторая – откалиброванными; и найдем среднеквадратичное отклонение от истинного значения воздушного давления в обоих случаях. Для получения выборки все датчики были подключены к единому пневматическому коллектору, и каждый из них измерял единое давление.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [r - g_j]^2}$$

Таблица 2

Полученное СКО для датчиков до и после калибровки

Номер датчика $j$	СКО до калибровки, $\sigma$	СКО после калибровки, $\sigma$
1	5.0652	1.1521
2	3.9354	1.0061
3	4.2888	1.5169
4	7.2031	0.9086

Как можно наблюдать, введение аддитивного коэффициента снижает среднеквадратичное отклонение в несколько раз.

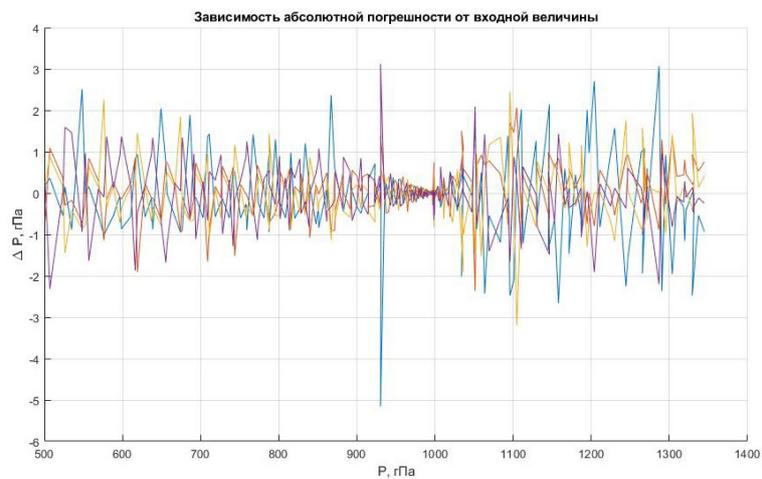


Рис. 1. Зависимость абсолютной погрешности от входной величины

Из рис. 1 ясно, что абсолютная погрешность показаний датчика с величиной давления воздуха не связана, либо влияние этой связи слабо и на масштабах диапазона измерений пренебрежительно.

**Библиографический список**

1. BST-BMP280-DS001-19 «Data sheet. BMP280. Digital Pressure Sensor. Bosch Sensortec».
2. Kalman, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems.
3. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

*Д. Ю. Ершов\**

к. т. н., доцент

*И. Н. Лукьяненко\**

к. т. н., доцент

*Е. Э. Аман\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Предлагается методика расчета оценки технического состояния электромеханической системы на этапе ресурсных испытаний. Диагностирование технического состояния основано на сравнении амплитудно-частотной характеристики реального изделия и проведением математического моделирования по разработанному алгоритму. **Ключевые слова:** техническое состояние изделия, электромеханическая система, подшипник качения, механическая система, переменная составляющая жесткость, алгоритм, вибрационные характеристики.

*D. Y. Ershov\**

Ph. D, Associate Professor

*I. N. Lukyanenko\**

Ph. D, Associate Professor

*E. E. Aman\**

Ph. D, Associate Professor

\*St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ALGORITHM OF ESTIMATION OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS IN THE PROCESS OF LIFE TEST

The methodology of calculation of estimation of technical condition of electromechanical system at the stage of resource testing is proposed. Diagnosis of technical condition is based on comparison of amplitude-frequency characteristics of the real product and mathematical modeling by the developed algorithm.

**Keywords:** technical condition of the product, electromechanical system, rolling bearings, mechanical system, variable component stiffness, algorithm, vibration characteristics.

В процессе эксплуатации электромеханических систем информационным сигналом об их техническом состоянии является собственная вибрация [1]. Наиболее полной характеристикой вибрации изделия является амплитудно-частотный спектр, который позволяет определить изменение амплитуд отдельных составляющих при ресурсных испытаниях [2].

Точность диагностики технического состояния изделия зависит от точности измерения вибрационных характеристик [3], так как вибрация диагностируемого узла  $X$  связана с вектором  $r$ , определяющим техническое состояние системы следующим соотношением

$$X = W(r)F(r)$$

где  $W(r)$  – передаточная функция электромеханической системы;  $F(r)$  – амплитуда возмущений, равная

$$F(r) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} K_n r_k \cos(\omega_{nk} t + \phi_0)$$

$K_n$  – коэффициент разложения в ряд Фурье нелинейной функции контактирования;  $r_k$  – амплитуда  $k$ -го дефекта.

Наибольшее влияние на вибрационные характеристики электромеханической системы оказывают технологические погрешности изготовления и сборки подшипниковых узлов. К погрешностям сборки относятся перекосы и несоосности посадочных мест, монтажные зазоры и торцевые биения. Для диагностики перечисленных выше дефектов составлен алгоритм оценки технического состояния механической системы. В качестве исходных данных принимаются конструктивные и массовые характеристики, условия работы изделия и подшипников и спектр осевой вибрации электромеханической системы при ее вертикальном положении. На первом шаге рассматриваются радиальный зазор  $\Delta$ , угол контакта  $\beta$  в подшипнике, собственная частота колебаний системы  $\Omega$ .

На втором и третьем шагах определяются ряды информационных частот. На четвертом шаге с помощью амплитуд, составляющих на информационных частотах из спектра вибрации, определяется  $\zeta_q$  отношение переменной составляющей жесткости, вызванной дефектами  $q$ -го кольца к среднему значению жесткости

$$\xi_q = \frac{x(\omega_s + Q_q)}{x(\omega_s)} \cdot \frac{(\Omega^2 - \omega_s^2 - Q_q^2)^2 - (2\omega_s Q_q)^2}{\sqrt{(\Omega^2 - \omega_s^2 - Q_q^2)^2 + (2\omega_s Q_q)^2}}$$

где  $\omega_s$  – информативные частоты;  $Q_q$  – частота изменения переменной составляющей жесткости, вызванной дефектами  $q$ -го кольца;  $x(\omega_s)$  – амплитуда вибрации на информативной частоте;  $x(\omega_s + Q_q)$  – амплитуда вибрации на комбинированной частоте.

На пятом шаге по спектру вибрации изделия вычисляются вероятное появления частот каждого информативного ряда, и по коэффициенту  $\xi_q$  определяется величина погрешности изготовления беговых дорожек качения колец подшипников с учетом теоретической зависимости  $\xi_q(a, q)$  вычисленной на первом шаге по следующему выражению

$$\xi = \frac{\int_0^\pi S_3 e(S_3) \cos(ma_1[q]) d\phi}{\int_0^\pi \sqrt{S_3} e(S_3) d\phi}$$

$$e(S_3) = \begin{cases} 1, & \text{если } S_3 > 0 \\ 0, & \text{если } S_3 \leq 0 \end{cases} \quad a_1(q) = \begin{cases} a_2, & \text{для } q = 1 \\ a_3, & \text{для } q = 2 \end{cases}$$

$$S_3 = \delta_0 + \delta_2 \cos a_2 t + \delta_{3m} \cos[ma_1[q]t] - aqt \cos[ka_1[q]t + \phi]$$

где  $\delta_0, \delta_2, \delta_{3m}$  – соответственно постоянная и переменная составляющие деформации;  $m$  – число шариков;  $a_2, a_3$  – числа, определяемые соотношением

$$\frac{a_2}{a_3} = \frac{\omega_3}{\omega_g - \omega_c}$$

Известные дефекты беговых дорожек колец подшипников отправляются на первый этап вычислений, где определяются перекосы и неоосности по формулам

$$\psi_q = \arccos\left(1 - \frac{|a_{q2} - a_{q2}^{cm}|}{R_q}\right)$$

$$\delta_2 = 0,41 \left\{ \frac{A^e - k_1 l}{k_2} - \frac{1}{k_3} (k_3 A^n - k_4 A^e) - R_2 \sin \psi \cos \beta - \Delta \right\}$$

где  $R_q$  – радиус беговой дорожки колец подшипников;  $a_{q2}$  – амплитуда отклонения формы 2-й гармоники  $q$ -го кольца;  $a_{q2}^{cm}$  – среднестатистическое значение амплитуды отклонения второй гармоники  $q$ -го кольца для данного класса подшипников;  $k_1 \dots k_5$  – постоянные коэффициенты, определяемые по обучающей группе изделий.

Погрешность диагностики технического состояния электромеханической системы оценивалась путем сравнения величины диагностируемых параметров со специально создаваемыми и вносимыми в объект отклонениями параметров

$$\Delta a = \sqrt{\sum_{k=2}^n [(a_q)_k - (a_\phi)_k]^2}$$

где  $(a_q)_k$  – амплитуда  $k$ -го дефекта, полученного по предложенному алгоритму  $(a_\phi)_k$  – фактическая амплитуда  $k$ -го дефекта.

Погрешность диагностики технического состояния изделия по предложенному алгоритму составляет около 10% при доверительной вероятности 0,9, что подтверждает правильность математической модели, положенной в основу алгоритма, и показывает возможность использования его для оценки технического состояния электромеханической системы в процессе ресурсных испытаний.

Таким образом, представленный алгоритм диагностики технического состояния электромеханической системы позволяет быстро оценить дефекты изделия в процессе ресурсных испытаний, используя амплитудно-частотный спектр вибрации.

Предложенный алгоритм оценки технического состояния механической системы может быть реализован в широко используемых в настоящее время программных математических пакетах Mathematica, Maple, MathCad, MatLab, GNU Octave и др. [4].

### Библиографический список

1. Некрасов А. И., Некрасов А. А. Эксплуатационный контроль технического состояния и прогнозирования ресурса подшипников электродвигателей. Статья в журнале «Вестник ВИЭСХ», 2017г., №3(8), с. 8–15.
2. Зорков Я. В. Объекты и средства диагностирования. Статья в сборнике трудов Международной научной конференции «Передовые инновационные разработки, перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство». Самарский государственный технический университет 2019г., с. 252–258.
3. Веппер Л. В., Логвин В. В. Обнаружение дефектов подшипников электрических машин с помощью современных методов контроля. Статья в сборнике трудов научной конференции «Современные проблемы машиноведения». Гомель, 2020г., с. 144–146.
4. Вегера М. А., Коршунов К. Е., Костюченко И. Д. Компьютерные интеллектуальные программы выявления дефектов подшипников качения. Статья в сборнике трудов научной конференции «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления». Гомель, 2023г., с.237–239.

*Д. Ю. Ершов\**

к. т. н., доцент

*И. Н. Лукьяненко\**

к. т. н., доцент

*Е. Э. Аман\**

к.т.н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПО ТОЧНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ

Рассматривается влияние дисбаланса на виброактивность механической системы. Приведена математическая модель неуравновешенного ротора и получена зависимость перемещения ротора от величины дисбаланса. Установлена взаимосвязь между износом шарикоподшипников и динамическими характеристиками электромеханической системы во времени.

**Ключевые слова:** неуравновешенная масса, техническое состояние, неуравновешенная сила, неуравновешенный ротор, износ шарикоподшипников, масса ротора, частота вращения.

*D. Y. Ershov\**

Ph. D, Associate Professor

*I. N. Lukyanenko\**

Ph. D, Associate Professor

*E. E. Aman\**

Ph. D, Associate Professor

\*St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF LOW-POWER ELECTRIC MACHINES BY BALANCING ACCURACY

The influence of unbalance on the vibration activity of a mechanical system is considered. The mathematical model of the unbalanced rotor is given and the dependence of the rotor displacement on the value of the unbalance is obtained. The correlation between the ball bearing wear and the dynamic characteristics of the electromechanical system in time is established.

**Keywords:** unbalanced mass, technical condition, unbalanced force, unbalanced rotor, ball bearing wear, rotor mass, rotation frequency.

Одной из наиболее острых проблем повышения качества электрических машин малой мощности (ЭМММ) является обеспечение требуемой точности балансировки роторов. Качество балансировки определяет точность, надежность, ресурс и виброактивность изделия. Как известно, всякий ротор после его изготовления представляет неуравновешенное тело по многим причинам, в частности из-за неоднородности материала его деталей и неточностей при изготовлении и сборке ротора в целом [1, 2].

Моделью неуравновешенного ротора может служить идеально уравновешенный ротор, к которому прикреплена некоторая неуравновешенная масса  $m$ . Во время вращения такого ротора на него будет действовать неуравновешенная сила [3]

$$\vec{F} = m\vec{e}\omega^2 \quad (1)$$

где  $e$  – эксцентриситет неуравновешенной массы;  $\omega$  – угловая скорость ротора.

Векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет, называется дисбалансом

$$\vec{D} = m\vec{e}, \quad (2)$$

Из равенств (1) и (2) получим значение неуравновешенной силы  $\vec{F} = \vec{D}\omega^2$ , выражение которой отличается от дисбаланса  $D$  только скалярным множителем  $\omega^2$ .

Вызванные дисбалансом неуравновешенные силы и действующие на ротор переменные силы (например, магнитные силы) побуждают ротор и вал ротора к колебаниям. Через масляную пленку подшипников колебания и усилия передаются на опоры и на корпус ЭМММ. Величина передаваемых колебаний зависит от ряда параметров. Самые существенные из них это: жесткость и демпфирование масляной пленки, опор и корпуса, а также масса ротора и опор с корпусом.

Оценка колебательных процессов проводится на основе исследования вибрационных процессов в подшипниковых узлах с учетом конструкции изделия [4].

Согласно выражению (1) дисбалансы в плоскостях опор при равном вращении ротора ЭМММ вызывают неуравновешенные силы с амплитудами на частоте вращения  $\omega_e$ .

$$F_L = M_p \omega_e^2 l_L$$

здесь  $M_p$  – масса ротора;  $L = 1, 2$  – номер подшипника;  $l_L$  – значение дисбаланса.

Для установления функциональной связи между собственной вибрацией и дисбалансом ротора рассматриваем ЭМММ как колебательную систему, имеющую ротор с жесткой осью, установленный на упругих радиальных шарикоподшипниках в жестком корпусе. ЭМММ находится на упругом основании, которое не искажает составляющие колебания во всем частотном диапазоне.

Линейные виброперемещения опор ротора, вызванные неуравновешенными силами  $F_L$ , рассчитываются по выражению

$$X_{pL} = F_L [W_L + l_{pL} W_L^\alpha]$$

где  $l_{pL}$  – расстояние центра масс ротора до опоры;  $W_L$  и  $W_L^\alpha$  – передаточные функции

$$W_L = \frac{1}{\Delta} \left[ -\Delta_1^1 - \Delta_2^1 + l_{pL} \Delta_3^1 + \frac{1}{2} l_{kg} \Delta_4^1 \right],$$

$$W_L^\alpha = \frac{1}{\Delta} \left[ -\Delta_1^3 - \Delta_2^3 - l_{pL} \Delta_3^3 + \frac{1}{2} l_{kg} \Delta_4^3 \right],$$

где  $l_{kg}$  – длина корпуса ЭМММ;  $\Delta_k^N$  – минор, получаемый вычеркиванием  $k$ -го столбца и  $N$ -й строки из определителя

$$\Delta = \begin{vmatrix} -(M_p + M_{kp}) \omega_e^2 + C_1 + C_2; -(C_1 + C_2); -C_1 l_{1p} + C_2 l_{2p}; l_{1k} C_1 - l_{2k} C_2 \\ -(C_1 + C_2); -M_{kp} \omega_e^2 + C_1 + C_2; -(C_2 l_{2p} - C_1 l_{1p}); -l_{1k} C_1 + C_2 C_2 \\ C_1 l_{1p} + C_2 l_{2p}; C_1 l_{1p} - C_2 l_{2p}; -J_p \omega_e^2 + C_1 l_{1p}^2 + C_2 l_{2p}^2; -l_{1k} l_{1p} C_1 - l_{2k} l_{2p} C_2 \\ l_{1k} C_1 - l_{2k} C_2; l_{1k} C_1 + l_{2k} C_2; -l_{1k} l_{1p} C_1 - l_{2k} l_{2p} C_2; -J_k \omega_e^2 + l_{1k} C_1 + l_{2k} C_2 \end{vmatrix} \quad (3)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – жесткость подшипников;  $M_{kp}$  и  $M_k$  – масса крыльчатки и корпуса;  $l_{Lk}$  – расстояние от центра масс корпуса до  $L$ -й опоры;  $J_p$  и  $J_k$  – момент инерции ротора и корпуса.

Дополнительные нагрузки, вызванные в шарикоподшипниках динамической и статической неуравновешенностью ротора, определяются с учетом деформации шарика с кольцами  $\delta_L$  и конструктивного коэффициента  $B_{[L]}$ , зависящего от кривизны соприкасающихся тел и физических свойств материала, по выражению

$$N_{[L]} = B_{[L]} \cdot \left| \sum_{q=1}^2 \sum_{i=1}^{m_{[L]}} \delta_{[L,i,q]}^{\frac{3}{2}} \right|$$

где

$$\delta_{[L,i,q]} = \varepsilon_{0[L]} + \sum_{q=1}^2 \varepsilon_{m[L]} \cos(m_{[L]} \omega_{[L,q]} t) + \frac{K'_{[L,q]}^{\frac{3}{2}}}{K'_{[L,1]}^{\frac{3}{2}} + K'_{[L,2]}^{\frac{3}{2}}} \times$$

$$\times \left\{ \left[ X_{p[L,1]} \sin \beta_{[L]} + X_{p[L,2]} \sin \beta_{[L]} \right] \cdot \cos(\omega_{[L,q]} t) \right\} \quad (4)$$

$$\text{где } \omega_{[L,q]} = \begin{cases} \omega_c, & \text{если } q = 1 \\ \omega_e - \omega_c, & \text{если } q = 2 \end{cases}.$$

$K'_{[L,q]}$  – конструктивный параметр  $L$ -го шарикоподшипника  $q$ -го кольца;  $i$  – номер шарика;  $q$  ( $q = 1, 2$ ) – номер кольца:  $q = 1$  – внутреннее,  $q = 2$  – наружное;  $m$  – число шариков,  $\varepsilon_{0[L]}$ ,  $\varepsilon_{m[L]}$  – статические и динамические деформации упругих элементов шариков;  $t$  – текущее время;  $\beta$  – угол контакта, определяемый соотношением осевой и радиальной нагрузок.

Сила, рассчитанные по выражению (4), приводят к интенсивному износу тел качения и беговых дорожек колец, величина которого может быть рассчитана по следующим формулам:

$$\Delta r_{Lq}(t) = \left\{ \sum_{i=1}^m \left[ \frac{\partial J_k}{\partial N_{Li}} \left( \sum_{j=1}^{\infty} N_{Liqj} \Delta t \right) + \frac{\partial J_k}{\partial V_{Lq}} \left( \sum_{j=1}^{\infty} \tau_j \right) \right] \right\} \frac{\Delta t}{t_y}$$

$$\Delta d_{uLi}(t) = \left\{ \sum_{i=1}^m \left[ \frac{\partial J_u}{\partial N_{Li}} \left( \sum_{j=1}^{\infty} N_{Liqj} \Delta t \right) + \frac{\partial J_u}{\partial V_{Lq}} \left( \sum_{j=1}^{\infty} \tau_j \right) \right] \right\} \frac{\Delta t}{t_u} \quad (5)$$

где  $\Delta r_{Lq}(t)$  – износ беговой дорожки и шарика;  $V_{Lq}$  – скорость скольжения между шариком и кольцом;  $J_k, J_u$  – интенсивное износа материала кольца, шарика;  $t_u$  – время действия одного цикл нагрузки шарик–кольцо;  $\tau_i$  – длительность соприкосновения шарика с кольцом на  $j$  – м цикле нагружения;  $t$  – рассматриваемый интервал времени работы ЭМММ.

Таким образом, установив взаимосвязь между износом шарикоподшипников и динамическими характеристиками ЭМММ во времени, можно оценить его техническое состояние на протяжении всего ресурса или путем сравнения соответствующих величин износа с допустимыми значениями определить долговечность подшипниковых узлов ЭМММ по известному значению дисбаланса ротора.

Проведено экспериментальное исследование изменения перемещений ротора на фиксированной частоте вращения с различным значением дисбаланса. Сравнение экспериментальных результатов с расчетными данными позволяет сделать вывод, что погрешность в расчетах составляет не более 20%. Использование зависимостей (4) и (5) дает возможность оценить техническое состояние ЭМММ или прогнозировать его срок службы по известной величине дисбаланса ротора сразу после сборки изделия или в любой момент времени работы.

### Библиографический список

1. Скворцов О. Б. Влияние резонансных процессов на оценку параметров оборотной вибрации роторных узлов. Статья в сборнике трудов «Инновационные технологии в электронике и приборостроении». М., 2021г., с. 444–449.
2. Скворцов О. Б. Анализ вибрационных сигналов при решениях задач балансировки роторов. Статья в журнале «Автоматизация. Современные технологии» 2018г., том 72, с. 60–66.
3. Макаров В. Ф., Белобородов С. М., Ковалев А. Ю. Технологическое обеспечение минимизации локальных дисбалансов ротора. Статья в журнале «Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета» 2011г., том15, №3(43), с. 53–55.

*Д. Ю. Ершов\**

к. т. н., доцент

*И. Н. Лукьяненко\**

к. т. н., доцент

*Е. Э. Аман\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОСОБЕННОСТИ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ В НЕИДЕАЛЬНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКАХ

Устанавливается влияние дефектов изготовления и сборки внутренних колец шарикоподшипников на динамическую неуравновешенность ротора. Получены зависимости величины точечной неуравновешенной массы в плоскостях коррекции от частоты вращения ротора при балансировке и в появлении возможности перекоса и несоосности колец подшипника.

**Ключевые слова:** частота вращения, плоскость коррекции, номинальная частота, динамическая неуравновешенность ротора, дефект изготовления

*D. Y. Ershov\**

Ph. D, Associate Professor

*I. N. Lukyanenko\**

Ph. D, Associate Professor

*E. E. Aman\**

Ph. D, Associate Professor

\*St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## PECULIARITIES OF BALANCING ROTORS OF LOW-POWER ELECTRIC MACHINES IN NON-IDEAL BALL BEARINGS

The influence of manufacturing and assembly errors of inner rings of ball bearings on dynamic unbalance of the rotor is established. Dependencies of the magnitude of the point unbalance masses in the correction planes on the rotor rotation frequency at balancing and on the occurrence of the possibility of skewing and misalignment of bearing rings are obtained.

**Keywords:** rotational frequency, correction plane, rated frequency, rotor dynamic unbalance, manufacturing defect

Ротор является динамически неуравновешенным, если в спектре его вибрации имеется составляющая на частоте вращения [1]. Это определение является наиболее общим, так как распространяется на роторы, установленные как в идеальных, так и в неидеальных шарикоподшипниках. Действительно [2], составляющая вибрации на частоте вращения ротора в случае неидеальных шарикоподшипников обусловлена не только динамической неуравновешенностью ротора, но и дефектами изготовления и сборки внутренних колец, что не позволяет разделять источники неуравновешенности [3].

Возмущения, действующие на ротор на частоте вращения  $\omega$ , обусловлены первой гармоникой разложения в ряд Фурье отклонения по круглости беговых дорожек внутренних колец  $\rho_{s1}^e$  по следу качения и вычисляются по формулам

$$F_{R\omega} = \sum_{s=1}^2 \frac{3EJ}{(3EJ + C_R l_s^3) \cos \beta_0} \rho_{s1}^e \sin(\omega t + \vartheta_{s1}^e)$$

$$F_{a\omega} = \sum_{s=1}^2 (-1)^{s+1} \frac{3EJ l}{2(3EJ + C_R l_s^3) \cos \beta_0} \rho_{s1}^e \sin(\omega t + \vartheta_{s1}^e) \quad (1)$$

где  $EJ$  – изгибная жесткость оси;  $C_R$  – радиальная жесткость шарикоподшипника;  $l_1$  и  $l_2$  – расстояние от левого и правого шарикоподшипника до диафрагмы ротора соответственно,  $\beta_0$  – угол контакта.

Условие полной динамической уравновешенности заключается в выполнении следующего равенства:

$$F_{R\omega} = F_{a\omega} = 0 \quad (2)$$

что имеет место лишь при идеальном изготовлении и сборке шарикоподшипников, т. е. при  $\rho_{s1}^e = 0, s = 1, 2$ . На практике этот случай исключается, так как даже идеально изготовленные шарикоподшипники устанавливаются с некоторым перекосом  $\alpha_s$  и несоосностью  $\Delta_s$ , в результате чего имеем

$$\rho_{s1}^s = r_s \sin \alpha_s \sin \beta_0 \text{ или } \rho_{s1}^s = r_s \frac{\Delta_s}{l} \sin \beta_0, \quad (3)$$

где  $r_s$  – радиус окружности центров кривизны внутренних колец;  $l = l_1 + l_2$ .

Поскольку возмущения  $F_{R\omega}$  и  $F_{\alpha\omega}$  являются внешними по отношению к ротору, то их воздействие эквивалентно возмущению, вызванному некоторыми точечными неуравновешенными массами.

Как известно [4, 5], полное динамическое уравновешивание роторов гиromоторов можно обеспечить двумя корректирующими массами  $m_1$  и  $m_2$  в плоскостях коррекции. Тогда условие полной динамической уравновешенности для ротора можно записать в виде

$$F_{R\omega} = R\omega^2 [m_1 \sin(\omega t + \phi_1) + m_2 \sin(\omega t + \phi_2)] \quad (4)$$

$$F_{\alpha\omega} = R\omega^2 \frac{l_s}{2} [m_1 \sin(\omega t + \phi_1) - m_2 \sin(\omega t + \phi_2)] \quad (5)$$

где  $R$  – радиус ротора;  $l_s$  – расстояние между плоскостями коррекции.

Очевидно, что точность выполнения равенств (4) и (5) ограничена лишь порогом чувствительности балансировочной машины. Как правило, балансировка роторов происходит на частотах вращения  $\omega$ , отличающихся от номинальной частоты  $\Omega$  в 5 – 10 раз. В результате этого ротор, динамически уравновешенный на частоте вращения  $\omega$ , не будет уравновешен на номинальной частоте, так как не выполняются равенства (4) и (5).

Возмущения, возникающие при изменении частоты вращения ротора с  $\omega$  до  $\Omega$  равны

$$\begin{aligned} \Delta F_R &= F_{R\Omega} (v^2 - 1), \\ \Delta F_\alpha &= F_{\alpha\Omega} (v^2 - 1) \end{aligned} \quad (6)$$

где  $v = \frac{\Omega}{\omega}$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что динамическое уравновешивание ротора в неидеальных шарикоподшипниках наиболее эффективно на номинальной частоте вращения.

Расчеты показывают, что большее влияние на динамическую неуравновешенность оказывают дефекты ближайшего к диафрагме подшипника.

Построены зависимости величины точечной неуравновешенной массы в плоскостях коррекции от частоты вращения ротора при балансировке и в зависимости от перекоса и несоосности колец подшипника при следующих параметрах:  $C_R = 0,5 \cdot 10^7$  г/см,  $EJ = 0,8 \cdot 10^6$  гсм<sup>2</sup>,  $l_1 = 0,35$  см,  $l_2 = 1,65$  см,  $R = 1,1$  см,  $\omega_{\min} = 314$  с<sup>-1</sup>,  $C = 3140$  с<sup>-1</sup>.

Полученные выше выражения (4), (5) и (6) показывают, что дефекты изготовления и сборки внутренних колец подшипников приводят к дополнительной динамической неуравновешенности при изменении частоты вращения ротора.

### Библиографический список

1. Вороникин В. А., Геча В. Я., Городецкий Э. А. Методы проектирования малошумных электрических машин. Труды ВНИИЭМ, 2006г., Том 103, с. 166–171.
2. Скворчевский А. К., Тимофеев С. А. Развитие школы теории и практики динамической балансировки машин и приборов. Статья в журнале «Информационная связь», 2012 г., № 3, с. 89–113.
3. Крушенко Г. Г., Голованова В. В. Балансировка некоторых агрегатов космических аппаратов. Статья в журнале «Вестник Сибирского государственного университета аэрокосмического приборостроения им. Академика М.Ф. Решетова». 2014 г. № 3 (55), с 178–184.
4. Горошко А. В., Ройзман В. П., Бармина О. В. Исследование устойчивости и точности алгоритма идентификации эксцентриситетов в задачах балансировки быстровращающихся роторов. Статья в журнале «Проблемы машиностроения и надежности машин». 2016 г. № 3, с. 42–48.
5. Подгорный Ю. И., Мартынова Г. Г., Бредихина А. Н. Уравновешивание роторов технологических машин. Статья в журнале «Актуальные проблемы в машиностроении» Новосибирск, 2015г., № 2, с. 256–262.

*Н. Ю. Ефремов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**АППРОКСИМАЦИЯ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЙ**

Рассмотрены результаты аппроксимации градуировочных характеристик двух датчиков расстояний – ультразвукового и инфракрасного, входящих в состав платы-тренажера датчиков QNET-MESCHKIT. Определена более точная модель аппроксимации.

**Ключевые слова:** ультразвуковой датчик, инфракрасный датчик, LabView, аппроксимация, метод наименьших квадратов.

*N. Yu. Efremov\**

P. H. D., graduate professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

**APPROXIMATION OF THE CALIBRATION CHARACTERISTICS OF DISTANCE SENSORS**

The results of the approximation of the calibration characteristics of two distance sensors – ultrasonic and infrared, which are part of the QNET-MESCHKIT sensor simulator board, are considered. A more accurate approximation model has been defined.

**Keywords:** ultrasonic sensor, infrared sensor, LabVIEW, approximation, least squares method.

В настоящее время на практике всё чаще используют распределенные информационно-измерительные системы, в состав которых часто входят различные датчики и преобразователи линейных и угловых перемещений. Без оценки размеров тех или иных элементов или положения в пространстве трудно решать конкретные прикладные задачи.

В работе в качестве объекта рассматриваются датчики расстояний – ультразвуковой и инфракрасный, входящие в состав платы-тренажера датчиков QNET-MESCHKIT [1] на базе платформы NI ELVIS II и управляемые виртуальным прибором (ВП) в среде LabView. Датчики QNET-MESCHKIT перед проведением измерений неизвестных значений величин подлежат градуировке. По результатам измерений в ВП производится расчет коэффициентов полинома первого или второго порядка (для разных датчиков), относящихся к виду аппроксимирующей функции.

Для датчиков линейных перемещений двух типов в разработанном ВП произведена аппроксимация градуировочных характеристик методом наименьших квадратов для линейной и квадратичной функции [2]. После проведения градуировочных измерений для каждого датчика (по 6-7 точек в диапазоне 7÷50 см) получены результаты (табл. 1), которые подвергнуты обработке. На первом листе ВП фиксируются результаты измерений, а на втором реализуются необходимые расчеты с последующим наложением полученной зависимости на экспериментальные точки. Результатом явились коэффициенты полиномов для линейной и квадратичной модели (табл. 2).

Таблица 1

**Результаты градуировочных измерений (инфракрасный датчик)**

X, см	17	22	27	32	37	42	47
Y, В	2,56	2,32	2,05	1,84	1,62	1,43	1,27

Таблица 2

**Результаты градуировочных измерений (ультразвуковой датчик)**

X, см	7	8	9	10	11	12
Y, В	0,24	0,28	0,32	0,35	0,39	0,42

Таблица 3

Модель	Коэффициенты полинома			Ошибка, %
инфракрасный датчик				
квадратичная	$a=3,44\text{см}/\text{В}^2$	$b=-35,66\text{см}/\text{В}$	$c=85,86\text{см}$	0,68
линейная	$a=-21,92\text{см}/\text{В}$		$b=72,68\text{см}$	1,54
ультразвуковой датчик				
квадратичная	$a=18,62\text{см}/\text{В}^2$	$b=15,41\text{см}/\text{В}$	$c=2,23\text{ см}$	0,42
линейная	$a=27,71\text{см}/\text{В}$		$b=0,26\text{см}$	0,8

Таким образом, для обоих датчиков расстояний высокую точность обеспечивает применение квадратичной модели аппроксимирующей функции, поскольку значение ошибки в этом случае меньше более чем в 2 раза. Меньшей ошибке аппроксимации соответствует меньшая величина погрешности измерений датчика, прогнанированного по результатам определения коэффициентов модели.

#### **Библиографический список**

1. Тренажер QNET Мехатронные датчики. Руководство для преподавателя [Электронный ресурс]. – URL: <http://nitec.nstu.ru/upload/lib/QNET%20МЕСНКИТ%20Laboratory%20-%20Instructor%20Manual.pdf>– дата обращения 17.01.24 г.
2. Численные методы вычислительной математики : учебное пособие / С. Д. Шаповрев ; С.-Петербург. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. – СПб. : Изд-во ГУАП, 2017. – 278 с.

*Н. Ю. Ефремов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены результаты автоматизации измерений удельного электрического сопротивления наполненных полимеров тераомметром на базе рабочей станции NI ELVIS II и среды LabVIEW. Представлены и проанализированы результаты тестовых измерений.

**Ключевые слова:** автоматизация измерений, виртуальный прибор, наполненные полимеры, тераомметр, LabVIEW.

*N. Yu. Efremov\**

P. H. D., graduate professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## AUTOMATION OF MEASUREMENT OF RESISTIVITY OF DIELECTRIC MATERIALS

The results of automation of measurements of the electrical resistivity of filled polymers by a teraohmmeter based on the NI ELVIS II workstation and LabVIEW environment are considered. The results of the test measurements are presented and analyzed.

**Keywords:** measurement automation, virtual instrument, filled polymers, teraohmmeter, LabVIEW.

В современную эпоху цифровизации большинство измерительных процедур выполняются в автоматизированном режиме [1]. Это позволяет упростить и ускорить процесс измерений и последующую обработку измерительной информации.

Рассмотрим результаты автоматизации процедуры измерений удельного электрического сопротивления образцов наполненных полимеров (НП). Измерения производятся аналоговым тераомметром Е6-13А в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50499-93 [2], а автоматизация осуществляется за счет продуктов компании National Instruments: рабочей станции NI ELVIS II и среды графического программирования LabVIEW. Станция выступает в качестве связующего звена в измерительной цепи при автоматизации измерений, измерительный прибор (тераомметр) подключается к станции, а та в свою очередь подключается к компьютеру.

Разработанный виртуальный прибор измерения удельного сопротивления диэлектрических материалов обеспечивает решение следующих задач:

1. Считывание значений объемного или поверхностного сопротивления (на выбор) и их вывод на лицевую панель;
2. Расчет удельного сопротивления образцов по измеренным значениям;
3. Ввод задаваемых вручную величин: время измерения и средняя толщина образца;
4. Вывод полученных результатов удельного сопротивления на лицевую панель в соответствии с временем, когда оно было замерено;
5. Автоматическая запись всех результатов в текстовый файл.

Объектом измерений были выбраны образцы НП на базе наполнителя типа СКТН-А, представленные в табл. 1. Результаты измерений удельного сопротивления с помощью подключенной к измерительной камере тераомметра Е6-13А станции ELVIS представлены в табл. 2.

Таблица 1

### Образцы для измерений

№ образца	Содержание полимерного связующего, масс. %	Содержание наполнителя, масс. %	Содержание дополнительных компонентов, масс. %
1	27	Al(OH) <sub>3</sub> – 68	Толуол – 5; ДБФ -5
2	35	Перлит – 12; Al(OH) <sub>3</sub> – 53	-

Таблица 2

### Результаты измерений удельного сопротивления

№ образца	Измеренное поверхностное сопротивление	Измеренное удельное поверхностное сопротивление, Ом×м
1	4,6 МОм	158,9×10 <sup>6</sup>
2	90,4 КОм	3,1×10 <sup>6</sup>

Таким образом, задача автоматизации полностью решена, и по результатам применения разработанного ВП получены адекватные значения удельных сопротивлений тестовых образцов НП.

#### **Библиографический список**

1. Цифровая метрология / Ю. А. Антохина, В. В. Окрепилов, Е. А. Фролова [и др.]. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. – 181 с.
2. ГОСТ Р 50499-93. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения удельного объемного и поверхностного сопротивления. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 24 с.

*С. А. Иванов<sup>1</sup>*

к.т.н., главный специалист

*А. А. Сенцов<sup>2</sup>*

к.т.н., доцент

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СРЕДСТВАМ

Определена проблема обоснования тактико-технических требований к перспективным радиолокационным средствам, включающая выбор и обеспечение номенклатуры включаемых требований в техническое задание, а также оптимизацию количественных значений требований установленной номенклатуры, предложена общая схема построения методики формирования тактико-технических требований к перспективным радиолокационным средствам.

**Ключевые слова:** формирование тактико-технических требований, техническое задание, перспективное радиолокационное средство, жизненный цикл изделия.

*S. A. Ivanov\**

Candidate of Technical Sciences, Chief specialist

*A. A. Sentsov\*\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

\*St. Petersburg State University

\*\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METHODOLOGY FOR THE FORMATION OF TACTICAL AND TECHNICAL REQUIREMENTS FOR PROMISING RADAR FACILITIES

The problem of substantiating tactical and technical requirements for promising radar facilities is determined, including the selection and provision of the nomenclature of the requirements included in the terms of reference, as well as optimization of the quantitative values of the requirements of the established nomenclature, a general scheme for constructing a methodology for the formation of tactical and technical requirements for promising radar facilities is proposed.

**Keywords:** formation of tactical and technical requirements, terms of reference, promising radar equipment, product life cycle.

Одним из возможных путей повышения эффективности и качества сложных технических систем является разработка и унификация методов обоснования тактико-технических требований [1]. Тактико-технические требования (ТТТ) к перспективным средствам радиолокационного обнаружения являются основой для последующей разработки соответствующих тактико-технических заданий (ТТЗ) или технических заданий (ТЗ) в частности. Формирование методики определения ТТТ к перспективным радиолокационным средствам позволит сократить сроки разработки и повысить научно-технический уровень ТТЗ (ТЗ), при этом технические требования должны удовлетворять следующим общим условиям [2, 3]

- соответствовать прогнозируемым условиям применения и эксплуатации, разработки и производства;
- определять максимально возможные, но реально достижимые основные показатели качества перспективного образца;
- обеспечивать максимум общих и частных показателей качества образца, которые, в свою очередь, должны корректно, т.е. с необходимой чувствительностью и точностью, определять успешность решения задач в соответствии с их назначением;
- корректно и четко определять основные характеристики перспективного образца и общие направления его разработки, не быть противоречивыми;
- допускать применение математических или других методов для достоверной оценки характеристик, включенных в ТТТ.

Проблема обоснования ТТТ к перспективному радиолокационному средству может быть сформулирована следующим образом. Необходимо определить номенклатуру и количественные значения ТТТ, включаемых в ТТЗ, так, чтобы обеспечить заданный в тактико-технических требованиях на образец в целом общий показатель эффективности радиолокационного средства при выполнении задач в соответствии с назначением в определенных условиях применения и обеспечивающих минимум его стоимости с учетом ограничений, накладываемых на показатели качества [4]. Сформулированная проблема может быть представлена в виде композиции двух частных задач:

- выбора и обеспечения номенклатуры ТТТ, которые необходимо включить в ТТЗ;
- оптимизации количественных значений ТТТ установленной номенклатуры.

Общую схему построения методики формирования ТТТ к перспективным радиолокационным средствам можно представить в виде рис. 1.

Из приведенного рисунка видно, что исходными данными для обоснования ТТТ на конкретный образец являются результаты анализа требований к перспективным средствам радиолокационного обнаружения в целом с учетом целей создания и условий применения образца. На основе полученных данных в результате анализа становится возможным построить иерархическую структуру задач, выполняемых образцом в соответствии с его назначением. Кроме того, результаты анализа целей создания и условий применения образца позволяют определить область ограничений на характеристики перспективного образца радиолокационного средства, как показано на рис. 1.

Необходимо отметить, что прежде всего должна быть четко сформулирована основная генеральная задача, т.е. задача, для выполнения которой предназначен образец. На основе данной задачи становится возможным формирование частных задач, решение которых необходимо для ее выполнения. При этом должно выполняться следующее условие: все задачи, включенные в структуру, должны быть согласованы между собой, т.е. задачи, стоящие на верхних иерархических уровнях, должны включать и обобщать задачи более низких уровней.

Таким образом, полученная общая схема обеспечивает, с одной стороны, четкое определение объема работ, который должен быть выполнен для решения генеральной задачи, с другой стороны, она является основой для построения иерархической структуры показателей его эффективности и качества. Показатели эффективности должны определять эффект выполнения основной и частных задач, решаемых образцом, т.е. они должны служить действительной мерой успешности выполнения требуемых функций. При этом должно соблюдаться условие: показатели эффективности верхних уровней должны определяться показателями эффективности нижних уровней в соответствии со связями иерархической структуры задач.

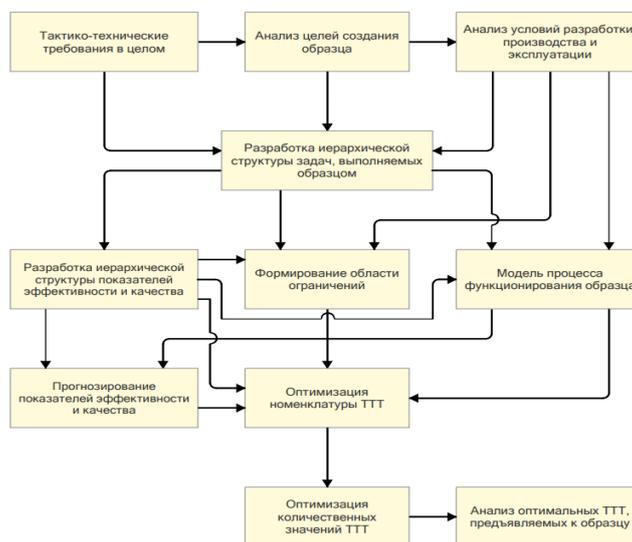


Рис. 1. Общая схема построения методики формирования тактико-технических требований

На основе полученной иерархической структуры задач и показателей эффективности разрабатывается иерархия показателей качества. При этом для каждой задачи определяются группы показателей качества (например, надежности, живучести, помехозащищенности и т. д.), которыми должен обладать образец для того, чтобы успешно выполнять поставленные задачи. После этого определяются показатели качества более низких уровней (например, надежность образца представляется в виде более частных показателей безотказности, ремонтпригодности, долговечности, сохраняемости и т. д.).

Далее для обоснования номенклатуры и количественных значений ТТТ необходимо четко определить связи между показателями эффективности и качества, которые могут быть получены на основе математических моделей, с достаточной точностью и полнотой описывающих процессы функционирования перспективного радиолокационного средства [4]. Обобщенный показатель эффективности выполнения основной задачи определяется весьма большим количеством показателей качества образца. При этом задавать требования ко всем показателям качества представляется нецелесообразным, так как в этом случае существенно уменьшаются возможности разработчика по технической реализации многочисленных ТТТ. В связи с этим в рамках общей проблемы формирования методики задания ТТТ возникает более частная задача, связанная с обоснованием номенклатуры показателей, по которым целесообразно определять ТТТ к перспективному радиолокационному средству.

Как показывают результаты исследований [5, 6], оптимальная номенклатура тактико-технических требований должна отвечать следующим требованиям:

- ТТТ должны соответствовать назначению образца и условиям его применения;
- ТТТ должны включать те показатели эффективности и качества образца, которые оказывают наиболее существенное влияние на его общий показатель эффективности;

– ТТТ должны, с одной стороны, давать достаточную информацию разработчику о перспективном радиолокационном средстве с точки зрения успешного выполнения им задач в соответствии с назначением, а с другой стороны – обеспечивать необходимую свободу выбора разработчиком технических решений для обеспечения требуемого общего показателя эффективности образца.

Одним из наиболее проблемных условий является последнее, так как при задании требований к образцу только по общему показателю эффективности разработчику представляется минимальная информация о требуемых характеристиках перспективного радиолокационного средства и, вместе с тем, максимальная свобода выбора технических решений. В таком случае он может обеспечить требуемое значение общего показателя эффективности, но при этом создать образец, не удовлетворяющий в полной мере требованиям заказчика. В противоположном случае при задании требований по значительно большому числу показателей разработчику предоставляется максимальная информация о перспективном радиолокационном средстве, но при этом он попадает в весьма затруднительные условия, когда необходимо технически обеспечить требования по большому числу характеристик. В этом случае возможности разработчика по выбору технических решений будут сведены к минимуму.

Таким образом, при формировании ТТТ должен быть соблюден баланс номенклатурных характеристик, который обеспечит достаточную информацию и необходимую свободу выбора технической реализации. Важная особенность заключается в том, что при обосновании ТТТ необходимо располагать информацией о значениях показателей качества перспективного радиолокационного средства, которые могут быть достигнуты к моменту его разработки и производства, что становится возможным при использовании методов прогнозирования [7, 8]. При этом в связи с имеющейся неопределенностью в знании характеристик, прогноз их значений целесообразно получить в виде законов распределения. На основе данных законов может быть оценена не только информативность отдельных показателей качества, но и определена вероятность реализации конкретного значения того или иного показателя качества перспективного радиолокационного средства.

Следующим этапом после обоснования номенклатуры ТТТ является определение их оптимальных количественных значений, которые должны обеспечивать минимальные затраты на разработку, производство и эксплуатацию радиолокационного средства с учетом условия обеспечения ограничений на общий показатель эффективности и другие характеристики [9, 10]. Данная задача выходит за рамки темы настоящей статьи и требует проведения дополнительных исследований.

#### Библиографический список

1. Смирнов, Е. Е. Методика обоснования тактико-технических требований к информационно-измерительной системе реального времени в интересах функционирования в условиях сложной фоно-целевой обстановки / Е. Е. Смирнов. // Молодой ученый. – № 25 (420). – 2022. – С. 26–28.
2. Филиппов В.П. Вопросы формирования технических требований при проведении закупок радиоэлектронного оборудования // Техника средств связи. № 3 (147). 2019. – С. 91–98.
3. Кузнецов С. С., Винограденко А. М. Модель единой централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием вооружения, военной и специальной техники / С. С. Кузнецов, А. М. Винограденко // Научные технологии в космических исследованиях Земли. Т. 10. № 4. 2018. – С. 48–54.
4. Турчак А. А., Шестун А. Н., Сенцов А. А. Формализация и оптимизация жизненного цикла создания бортовых радиоэлектронных комплексов: [монография] / А. А. Турчак, А. Н. Шестун, А. А. Сенцов; под ред. Ю. М. Смирнова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 294 с.
5. Иванов С. А., Бажин Д. А., Басотин Е. В. Методика определения необходимой информации о перспективном образце вооружения и военной техники / С. А. Иванов, Д. А. Бажин, Е. В. Басотин // журнал: Труды военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. №626. 2010. – С. 42–46.
6. Россошанский П. В., Грайворонский С. А. Анализ методов нормирования показателей качества сложных технических систем / П. В. Россошанский, С. А. Грайворонский // НиКа. 2010. №.8, С.14–18.
7. Салангин А. А. Моделирование и прогнозирование в системном проектировании. Псков: Изд-во ППИ, 2012. – 292 с.
8. Мусатова А. В., Сенцов А. А., Иванов С. А. Модель интеграционной многофункциональной системы для отладки алгоритмов комплексной обработки информации / А. В. Мусатова, А. А. Сенцов, С. А. Иванов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий. IV Международный форум: сборник статей. – СПб.: ГУАП, 2022. – С. 97-100.
9. Сенцов А. А. Методы повышения эффективности радиолокационных средств обнаружения воздушных объектов / А. А. Сенцов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: V Междунар. форум: сб. ст. под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 193–195.
10. Сенцов А. А., Поляков В. Б., Шкодырев В. П. Системное проектирование бортовых радиоэлектронных комплексов: учеб. пособие / А. А. Сенцов, В. Б. Поляков, В. П. Шкодырев; под ред. Ю. М. Смирнова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 200 с.

*Ю. П. Иванов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ФИНИТНО-ВРЕМЕННАЯ И СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ПОМЕХ ИЗМЕРЕНИЯ С ОДНОМОДАЛЬНЫМ ЗАКОНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Раскрыты основные достоинства и недостатки классической методологии обработки измерительных сигналов на основе использования марковских моделей. Описана идеология и основные свойства новой временной и спектральной методологии обработки произвольных сигналов на фоне аддитивных помех измерения.

**Ключевые слова:** достоинства и недостатки классической методологии обработки информации, марковские модели сигналов, спектрально-временные новые методы обработки сигналов измерения, теорема ортогонального проецирования.

*Yu. P. Ivanov\**

Ph. D. Tech., Associated Pro

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## UNIVERSAL FINITE-TIME AND SPECTRAL-FINITE METHODOLOGY FOR OPTIMAL PROCESSING OF ARBITRARY SIGNALS AGAINST THE BACKGROUND OF ARBITRARY MEASUREMENT INTERFERENCE WITH A SINGLE-MODAL DISTRIBUTION LAW

The main advantages and disadvantages of the classical methodology of measuring signal processing based on the use of Markov models are revealed. The ideology and basic properties of the new temporal and spectral methodology for processing arbitrary signals against the background of additive measurement interference are described.

Keywords: advantages and disadvantages of the classical information processing methodology, Markov signal models, spectral-temporal new methods of measurement signal processing, the orthogonal projection theorem.

В настоящее время на практике широко применяются классические методы оптимальной обработки измерительной информации, которые базируются на использовании марковских моделей оцениваемых сигналов [1–2]. Основное достоинство данных подходов к обработке сигналов заключается в получении рекуррентных алгоритмов оценки и классификации измерительных сигналов, позволяющих сохранить полученную информацию на всё интервале наблюдения в виде достаточных и эффективных статистик малой размерности.

Но при синтезе подобных алгоритмов обработки информации не принимаются во внимание такие важные характеристики как практические интервалы корреляции сигнала, реальные временные и частотные свойства устройств фильтрации и классификации сигналов, взаимосвязь требований к точности, надёжности, универсальности и сложности используемых алгоритмов обработки сигналов. В связи с этим широко используемые классические алгоритмы обработки измерительных сигналов имеют ряд серьёзных недостатков, к наиболее важным из которых можно отнести следующие: сложность их реализации, неадекватность используемых моделей измерения реальным физическим измеряемым процессам, низкая устойчивость, помехозащищённость и робастность алгоритмов обработки информации.

В связи с этим возникла необходимость в разработке новой методологии обработки сигналов измерения, удовлетворяющей требованиям современной практики.

В настоящее время в СПбГУАП на кафедре аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов разработана методология обработки моделей сигналов широкого класса на фоне аддитивных произвольных помех измерения. Полученные методы линейной и нелинейной фильтрации, прогнозирования, интерполирования, адаптации и классификации сигналов обладают важными свойствами, к которым можно отнести возможность использования для классов флуктуационных и регулярных моделей измерения, высокое качество получаемых оценок, не уступающее классическим методам обработки информации, более простую структуру устойчивых алгоритмов обработки сигналов относительно широко используемых в настоящее время. В соответствии с новым подходом разработаны методы оценки априорных, апостериорных и безусловных вероятностей невыхода гауссовского случайного оцениваемого процесса и результата измерений на заданном текущем интервале времени за произвольные допустимые значения, не требующего марковского свойства от исследуемого процесса [4].

Новая методология базируется на временном и спектральном представлении, в общем случае, не марковских, нестационарных, флуктуационных и регулярных моделей измерения и на использовании теоремы ортогонального проектирования и ее следствия, а также с учетом практических значений памяти случайных процессов сигнала, помехи измерения и устройств обработки информации [5], [6]. В течение нескольких десятилетий на кафедре были разработаны на основе новой методологии многочисленные алгоритмы обработки результатов из-

мерения, которые используются как в учебном процессе, так и на различных предприятиях нашими выпускниками, разработанные методы опубликованы в различных научно-технических журналах и апробированы на многочисленных научно-технических конференциях.

#### **Библиографический список.**

1. Э. Сейдж, Дж. Мелс Теория оценивания и её применение в связи и управления. – М.: Связь, 1976. – 495 с.
2. Сосулин Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов М.: Советское радио. 1978. – 320с.
3. Иванов Ю. П. “Финитно-временной метод оптимальной фильтрации дискретных сигналов” Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика № 5 2018г. 23–28 с
4. Иванов Ю. П. Метод оценки апостериорной достоверности прогноза принимаемых решений. Сб. трудов V научно-практической конференции РАРАН “ Радиоэлектронное и ракетное вооружение: Взгляд в будущее.” 2020 г. 54–67с.
5. Иванов Ю. П. Финитно-временной и спектрально-финитный методы оптимальной фильтрации дискретных сигналов. «Морские интеллектуальные технологии» № 3 том1 2021 г. 140 с. – 147с.
6. В. П. Перов Прикладная спектральная теория оценивания М. “Наука” ГРФМЛ, 1982, с. 432.

*В. И. Казаков\**

к.т.н., доцент

*В. В. Кумаев\**

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Исследованы возможности применения метода лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии в задаче обнаружения частиц микропластика в водной среде.

**Ключевые слова:** экология, микропластик, оптическая спектроскопия, дифракционная решетка, анализ.

*V. I. Kazakov\**

Ph.D. Tech., Associate Prof

*V. V. Kitaev\**

PhD Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## APPLICATION OF OPTICAL SPECTROSCOPY METHODS IN THE PROBLEM OF DETECTING MICROPLASTIC PARTICLES IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

The possibilities of using the laser-induced breakdown spectroscopy method in the problem of detecting microplastic particles in an aquatic environment have been studied.

**Keywords:** ecology, microplastic, optical spectroscopy, diffraction grating, analysis.

Размерный диапазон микропластика составляет от 0.1 до 5 мм [1]. Для частиц размером от 0.3 до 5 мм используются нейстоновые сети с сеткой 333 мкм, обычно используемые в полевых условиях для улавливания планктона и плавающего мусора. Частицы меньшего размера (1,6 мкм) были обнаружены, но стандартной процедуры их отбора проб в морской воде не разработано [2]. Анализ и обнаружение частиц размером менее 0.3 – 0.5 мм связан со значительными техническими сложностями [3]. Существует несколько видов пластика: полиэтилентерефталат ((C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>)<sub>n</sub>), полиэтилен высокой и низкой плотности ((C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>n</sub>), поливинилхлорид ((C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl)<sub>n</sub>), полипропилен ((C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)<sub>n</sub>), полистирол ((C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>)<sub>n</sub>), поликарбонат, полиамид и прочие виды пластмасс.

Среди наиболее разработанных физико-химических методов анализа микропластика является инфракрасная спектрометрия с преобразованием Фурье и рамановская микроспектрометрия, пиролизная газовая хроматография – масс-спектрометрия, термогравиметрический анализ, также подходы основанные на жидкостной хроматографии, микрофлуориметрии, аналитической сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии и др. Нерешенные проблемы в области исследований микропластика включают большую трудоемкость и низкую производительность применяемых технологий идентификации, отсутствие референтных и стандартных образцов микропластика, сложность применяемого оборудования [4].

В работе предложен спектроскопический метод обнаружения частиц микропластика методом лазерной искровой эмиссионной спектроскопии. Проанализированы спектроскопические информационные параметры для обнаружения микропластика. Разработана оптическая схема для экспериментальных исследований. Выполнено математическое описание процедуры получения спектра дифракционным спектрометром, включая процедуру считывания ПЗС-линейкой.

### Библиографический список

1. Richard C. Thompson, Ylva Olsen, Richard P. Mitchell, Anthony Davis, Steven J. Rowland, Anthony W. G. John, Daniel McGonigle, Andrea E. Russell. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? SCIENCE. Volume 304. Issue 5672. May 2004.
2. Amandine Collignon, Jean-Henri Hecq, François Galgani, France Collard, Anne Goffart. Annual variation in neustonic micro- and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean–Corsica), Marine Pollution Bulletin, Volume 79, Issues 1–2, 2014, Pages 293–298.
3. Зобков М. Б., Есюкова Е. Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Российская академия наук Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН Атлантическое отделение, Калининград, 2017 г.
4. Гмошинский И. В., Шипелин В. А., Колобанов А. И., Соколов И. Е., Маисая К. З., Хотимченко С. А. Методы идентификации и количественного анализа микропластиков в пищевых продуктах // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 5 (549). С. 87–102.

**В. И. Казаков\***

к.т.н., доцент

**А. С. Параскун\***

старший преподаватель

**Я. А. Рывкина\***

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА С ТЕПЛЫМ КОНВЕКТИВНЫМ ПОТОКОМ

В работе исследованы корреляционный и интегрально-разностный методы обработки профиля лазерного пучка. Выполнена оценка эффективности предложенных методов обработки.

**Ключевые слова** пожарный извещатель, тепловой конвекционный поток, лазер, распределение профиля интенсивности, возгорание, взаимно-корреляционная функция, дискретный сигнал.

**V. I. Kazakov\***

Ph.D., associate professor

**A. S. Paraskun\***

senior lecturer

**Ya. A. Ryvkina\***

student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## INTERACTION OF LASER BEAM WITH THERMAL CONVECTION FLOW

In this paper two methods: correlation and integral-difference of processing of the laser beam profile are researched. An assessment of efficient of mentioned processing methods was implemented.

**Keywords:** fire detector, thermal convection flow, laser, intensity distribution profile, ignition, cross-correlation function, discrete signal.

Стандартные и широко применяемые дымовые пожарные извещатели работают по принципу фотодетектирования рассеянного света от продуктов горения (дым, сажа и т.д.) [1]. Лазерно-оптические методы и системы обнаружения возгораний являются перспективными в аспекте устранения недостатков стандартных дымовых пожарных извещателей [2]. Поскольку любое возгорание сопровождается выделением тепла, то в результате тепловой конвекции возникают потоки, формирующие случайное изменение показателя преломления воздуха.

Для исследования динамики взаимодействия теплового конвективного потока был разработан лабораторный макет, принцип работы которого заключается в формировании лазерного пучка большого размера (несколько сантиметров) и последующей регистрации пространственных характеристик лазерного пучка (распределения профиля интенсивности).

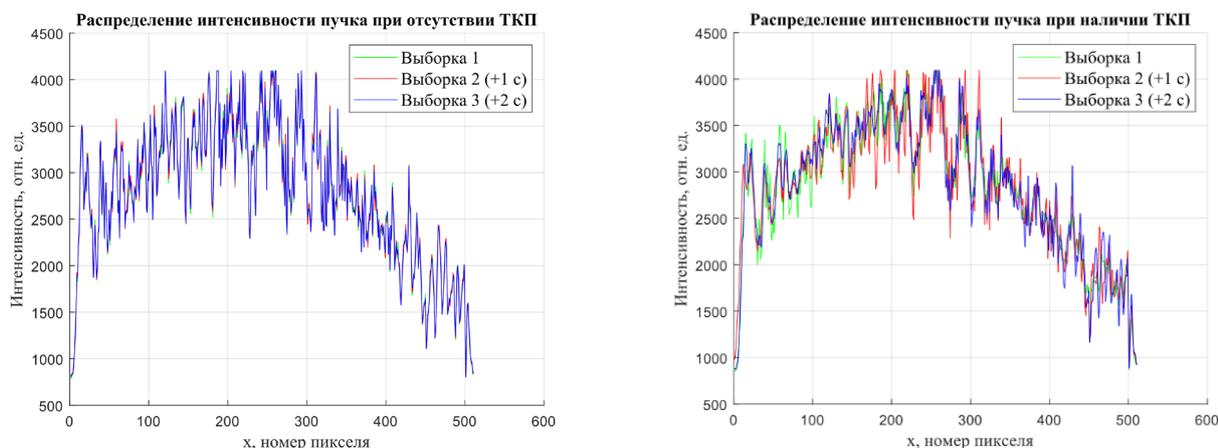


Рис. 2. Результат регистрации трех выборок профиля распределения интенсивности пучка при отсутствии (а) и появлении (б) теплового конвективного потока

Для подтверждения эффективности и работоспособности предложенной схемы регистрации появления теплового конвективного потока были проведены экспериментальные исследования, которые заключались

в имитации штатного режима работы системы посредством регистрации выборок распределения профиля интенсивности пучка в течение 20 секунд с интервалом в 1 секунду и в формировании теплового конвективного потока и последующей регистрации флуктуаций распределения профиля интенсивности пучка за счет использования пламени свечи за тот же период измерений.

Для наглядного представления флуктуаций профиля распределения интенсивности пучка на рис. 2 представлены по три зарегистрированные выборки при отсутствии и появлении теплового конвективного потока.

#### **Библиографический список**

1. Юртаев С. В. Принцип работы извещателей. Выбор типа пожарного извещателя // Вестник науки. 2022. Т. 1. №. 2 (47). С. 227–232.
2. Казаков В. И., Москалец О. Д., Пресленев Л. Н. Взрывобезопасный волоконно–оптический пожарный извещатель. Математическая модель чувствительного элемента // Датчики и системы. 2015. № 2. С. 19–22.

*М. В. Калашиникова\**

Ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ОЦЕНКУ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РАДОНА

Статья посвящена влиянию метеорологических факторов среды на качественную оценку радоноопасности территории г. Санкт-Петербурга. Анализ воздействия метеорологических факторов среды на результаты оценки радоноопасности территории позволит выявить влияния данного фактора и повысить качественную оценку объемной активности дочерних продуктов радона и торона в воздухе.

**Ключевые слова:** измерений, радоноопасность, влияния, метеорологические факторы.

*M. V. Kalashnikov\**

Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE ASSESSMENT OF RADON LEVEL MEASUREMENT RESULTS

The article is devoted to the influence of meteorological environmental factors on the qualitative assessment of the radon hazard of the territory of St. Petersburg. The analysis of the impact of meteorological environmental factors on the results of the assessment of the radon hazard of the territory will reveal the effects of this factor and improve the qualitative assessment of the volumetric activity of radon and thoron daughter products in the air.

**Keywords:** measurements, radon hazard, influences, meteorological factors.

Для человека радиация является опасным фактором окружающей среды. Основная доза облучения населения приходится на естественные источники облучения. Радон является источником радиоактивного излучения. Он вносит основной вклад в естественные источники ионизирующего облучения.

Проблема радоноопасности на территории г. Санкт-Петербурга связана не только с его геологическим строением, но также с метеорологическими особенностями. Основными метеорологическими факторами, влияющими на радоноопасность г. Санкт-Петербурга, являются: влажность и температурные особенности города. Все эти факторы вносят свой вклад в радоноопасность г. Санкт-Петербурга.

Цель работы – оценить влияние метеорологических факторов среды на качественную оценку радоноопасности территории г. Санкт-Петербурга.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели:

- оценить влияния метеорологических факторов на уровень радона на заданной территории;
- обсудить полученные результаты и выводы.

Методы исследования. Для исследования данного вопроса были использованы теоретические методы такие как: анализ литературных источников, описание, сравнение, индукция, синтез.

К метеорологическим особенностям следует отнести: климат, температурный режим, влажность, атмосферные осадки, снежный покров, ледовый режим, ветер, скорость переноса воздушных масс. Город Санкт-Петербург относится к атлантико-континентальной области умеренного пояса. Из-за этого климат города сочетает в себе черты морского и континентального, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Температурные режимы из-за климата находятся в середине диапазона температур. В свою очередь, на температурный режим влияют два фактора: радиационный режим и циркуляция атмосферы. По данным ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» среднегодовая температура за период 29 лет для г. Санкт-Петербурга является 6,3°C [1]. Также стоит отметить, что за последние 30 лет были выявлены изменения в температуре. Исходя из анализа было установлено, что за год температура за последние 30 лет повысилась на 3,5 °C зимой и 1,5 °C летом [2].

Для радоноопасности территории данный показатель является существенным, так как, чем выше температура окружающей среды, тем быстрее и в большем количестве выделяется радон на поверхность Земли. В городе 177 дней преобладает пасмурная погода, а в дни, когда присутствует солнце – время его пребывания варьируется от 10,1 часа в июне до 2 часов в декабре [3]. В городе Санкт-Петербурге влажность воздуха составляет около 80%. Это обусловлено большим количеством осадков, которые в полной мере не успевают испаряться с поверхности земли. Санкт-Петербург находится в зоне избыточного увлажнения, и из-за этого суммарное количество осадков за 30 лет составило примерно 653 мм. В свою очередь фактором, влияющим на выпадение такого количества осадков, является циклон.

За год основная масса осадков выпадает, начиная в период с апреля по октябрь, пик осадков приходится на летний период. Устойчивый снежный покров наблюдается в г. Санкт-Петербурге в декабре, сам снежный покров держится на протяжении 120 дней, и его максимальный прирост составляет около 22 см. Пока что не было

исследований, доказывающих зависимость радоноопасности от влажности воздуха. Однако, существуют исследования, в которых поднимался вопрос зависимости уровня радона от количества осадков. По данным исследования было установлено, что уровень радона на открытом пространстве снижается при выпадении осадков [4].

Подводя итоги о влиянии метеорологических особенностей на радоноопасность на территории г. Санкт-Петербурга, можно сказать, метеорологические особенности косвенно влияют на радоноопасность. В большинстве своем из метеорологических особенностей большим влиянием обладают температурные показатели, атмосферные осадки и скорость переноса воздушными массами.

Для экспериментальной оценки радоноопасности города путем полевого исследования и оценки объемной активности радона на данной территории, необходимо учитывать факторы, влияющие на качества полученных результатов. Для максимально объективных результатов и повышения качества оценки радоноопасности территории, необходимо проводить полевое исследование при степени вертикальной устойчивости воздуха «конвекция».

#### **Библиографический список**

1. Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области область [Электронный ресурс] – URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения: 20.02.2023).
2. Характеристика климата Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] – URL: <https://www.infoeco.ru/index.php?id=1091> (дата обращения: 20.02.2023).
3. Наш край: Санкт-Петербург и Ленинградская область [Электронный ресурс] – URL: [http://imc.edu.ru/wp-content/uploads/2020/05/КУЗНЕЦОВА-ГЕОГРАФИЯ-СПБ-и-Ленинградской-области\\_консультация.pdf](http://imc.edu.ru/wp-content/uploads/2020/05/КУЗНЕЦОВА-ГЕОГРАФИЯ-СПБ-и-Ленинградской-области_консультация.pdf) (дата обращения: 20.02.2023).
4. Ferry C., Beneito A., Richon P., Robe M.C., An automatic device for measuring the effect of meteorological factors on radon-222 flux from soils in the long term, (2001), Radiation Protection Dosimetry, Volume 93 (3), p. 271–274.

*М. В. Калашиникова\**

Ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ОЦЕНКУ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РАДОНА

Статья посвящена влиянию геологических факторов среды на качественную оценку радоноопасности территории г. Санкт-Петербурга. Учет данного фактора при оценке радоноопасности города позволит повысить качественную оценку объемной активности дочерних продуктов радона и торона в воздухе.

**Ключевые слова:** измерений, радоноопасность, влияния, геологических факторы.

*M. V. Kalashnikova\**

Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE ASSESSMENT OF RADON LEVEL MEASUREMENT RESULTS

The article is devoted to the influence of geological environmental factors on the qualitative assessment of the radon hazard of the territory of St. Petersburg. Taking these factors into account when assessing the radon hazard of the city will improve the qualitative assessment of the volumetric activity of radon and thoron daughter products in the air.

**Keywords:** measurements, radon hazard, influences, geological factors.

Основными факторами, влияющими на радоноопасность г. Санкт-Петербурга, являются: залежи ураноносного сланца, влажность и температурные особенности города, разломы тектонических плит, строительные материалы. Все эти факторы вносят свой вклад в радоноопасность г. Санкт-Петербурга [1].

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что анализ данного вопроса и повышение качества оценки радоноопасности территорий является актуальным и необходимым для территории не только г. Санкт-Петербурга, но и Российской Федерации.

Цель работы – оценить влияние геологических факторов среды на качественную оценку радоноопасности территории г. Санкт-Петербурга.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели:

- оценить влияния геологических факторов на уровень радона на заданной территории;
- обсудить полученные результаты и выводы.



Рис. 1. Карта разломов на территории г. Санкт-Петербурга

Методы исследования. Для исследования данного вопроса были использованы теоретические методы такие как: анализ литературных источников, описание, сравнение, индукция, синтез.

Залежи ураноносных сланцев – одна из геологических причин радоноопасности на территории г. Санкт-Петербурга. Уран накапливается в основном в глинистых, карбонатных, обогащённых углеродом, обломочных породах и в торфяниках. Зачастую породы со скоплением урана либо имеют его маленькую концентрацию, или малое количество. Самые большие залежи наблюдаются в Красносельском районе. Сланцы характеризуются высоким содержанием урана – выше  $20 \cdot 10^{-4}$  до  $50 \cdot 10^{-4}$  %, (тория от  $8 \cdot 10^{-4}$  до  $15 \cdot 10^{-4}$  %), иногда достигающим рудных концентраций (более  $100 \cdot 10^{-4}$  %).

По результатам исследования было выявлено, что для повышения качества оценки радоноопасности территории необходима учитывать геологические факторы, такие как: расположение ураноносного диктионемового сланца и разломы тектонических плит. Геологические факторы напрямую воздействуют на уровень содержания радона в воздушных массах.

Разломы напрямую влияют на количество и концентрацию выхода радона на поверхность Земли. На рис. 1 представлена карта разломов на территории г. Санкт-Петербурга с обозначением пересечения геологических разломов.

Подводя итоги о влиянии геологических особенностей на радоноопасность на территории г. Санкт-Петербурга, можно сказать, что основными влияющими факторами на радоноопасность являются порода и тектонический разлом плит.

Для повышения качества полученных результатов следует проводить оценку радоноопасности территории непосредственной близости к местам разлома тектонических плит и ураноносного диктионемового сланца. Именно в этих точках измерений будет наблюдаться максимальная объёмная активность радона.

#### **Библиографический список**

1. Калашникова М. В. оценка влияния радона на здоровье учащихся и персонал университета СПбПУ // сборник материалов Всероссийской конференции охрана труда в организациях, подведомственных Минобрнауки России 2022. С. 25–29.
2. Геологическое строение Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/9437122/page:2/> (дата обращения: 10.12.2023).

*И. А. Киришина\**

Кандидат экономических наук, доцент

*А. К. Шереметьев\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОТ ШУМОВ И НАВОДОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В работе рассматриваются виды и причины возникновения наводок шумов в печатных платах. Предлагаются методы и рекомендации по устранению и минимизации шумов.

**Ключевые слова:** печатные платы, шумы, наводки.

*I. A. Kirshina\**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

*A. K. Sheremetev\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METHODS FOR REDUCING ERRORS FROM NOISE AND INTERFERENCE WHEN DESIGNING PRINTED BOARDS

**Abstract.** The work discusses the types and causes of noise interference in printed circuit boards. Methods and recommendations for eliminating and minimizing errors from noise.

**Keywords:** printed circuit boards, noise, interference.

Печатные платы (ПП) используются в большинстве электронных устройств, и они должны быть разработаны таким образом, чтобы обеспечить надежную передачу сигналов без помех и шумов. Однако, из-за растущих требований к производительности и скорости работы электронных устройств, проблемы с шумами и помехами (EMI) на ПП становятся все более серьезными. Помехи могут привести к сбоям в работе устройства, потере данных и даже ухудшению здоровья пользователей. В этой статье мы рассмотрим рекомендации и методы уменьшения шумов в ПП, которые помогут обеспечить надежное функционирование электронных устройств. Мы также рассмотрим, как использование этих методов может улучшить производительность ПП и сократить расходы на производство.

В данной статье будут рассмотрены возможные источники шумов и методы, которые могут помочь решить данные проблемы.

### Основные виды шумов

Тепловой шум происходит из-за теплового движения электронов в проводниках и присутствует во всех электрических компонентах. Межмодуляционный шум возникает при воздействии двух или более сигналов различных частот на нелинейные элементы, что может вызывать искажения сигналов. Электромагнитные помехи возникают из-за воздействия внешних электромагнитных полей на электрические системы, а перекрестные помехи возникают при взаимодействии сигналов от различных источников, что также может привести к искажениям и ошибкам в передаче данных. [1]

### Методы и рекомендации по устранению и минимизации шумов

В идеальной ситуации источник питания не имеет внутреннего сопротивления, но на практике разные источники питания обладают внутренним сопротивлением, что может привести к наложению шума на источник. Одним из основных способов борьбы с этой проблемой является создание дополнительного слоя на печатной плате с соединительным пластом для размещения источника питания.[2] Однако не всегда возможно добавление ещё одного слоя на печатной плате, поэтому существуют и другие методы решения этой проблемы. Установка фильтра шума питания также может быть эффективным способом подавления помех от электрохимических и тепловых процессов в источнике питания., но далеко не всегда допустим ещё один дополнительный слой в печатной плате поэтому есть и другие решения.

Установка шумового фильтра питания так же является решением данной проблем, он может эффективно подавлять шум от электрохимических, тепловых процессах в источнике питания.

Стоит всегда разделять как цифровое питание, так и аналоговое, аналоговое питания намного чувствительнее чем цифровое. Между ними всегда должен стоять фильтр и грамотное заземление, влияние наводок и шумов цифрового питания очень сильно влияют на аналоговое.

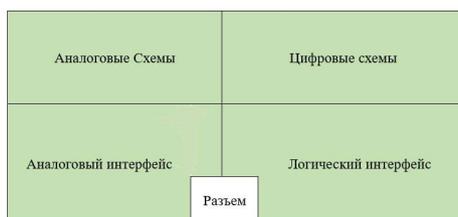


Рис. 1. Разделение схемы на функциональные блоки

Желательно использовать отдельные источники питания или, по крайней мере, отдельные участки заземления для высокочастотных приемопередатчиков и цифровой логики микроконтроллеров. Это поможет минимизировать влияние высокочастотных помех и снизить их воздействие на систему. Если не допускается реализация двух различных источников питания, то стоит разделять их фильтрами (см. рис. 2).

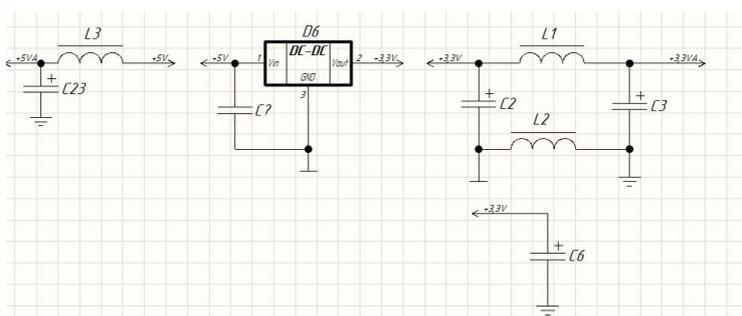


Рис. 2. Вариант разделения питания на аналоговое и цифровое при одном источнике

На этом небольшом участке схемы показано, что преобразованное через DC-DC компонент напряжение в дальнейшем разделяется с помощью фильтра, +3.3V – цифровое питание, +3.3VA – аналоговое питание.

Для минимизации взаимодействия между аналоговыми и цифровыми сигналами можно использовать правила и организацию плоскости заземления. Одним из способов является изоляция областей цепи на отдельных аналоговых и цифровых плоскостях заземления. Аналоговая плоскость содержит только аналоговые схемы, а цифровая плоскость – только цифровые. При этом две плоскости никогда не должны перекрывать друг друга.

Если плоскости заземления перекрываются, то ток будет свободно перетекать из одной заземляющей плоскости в другую. Использование многослойной платы с плоскостями питания и заземления является оптимальным решением, однако не всегда практично. На двухслойной плате необходимо максимально заполнить область плоскости заземления с обеих сторон платы с помощью трассировки (рис. 3). [3]

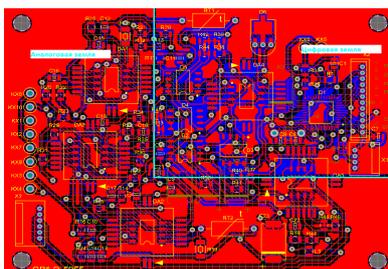


Рис. 3. Двусторонняя плата с двумя разделёнными землями

На рис. 3 приведен пример разрабатываемой платы, где на левой части находится аналоговая часть схемы, там же и полигоном залита аналоговая земля, на верхней-правой части находится цифровая часть схемы с микроконтроллером, там же и цифровая земля.

При проектировании платы рекомендуется разделять участки на различные блоки и продумывать топологию заранее.

Стоит заранее установить в используемой системе автоматического проектирования определенные параметры: размеры дорожек, размеры переходных отверстий, минимальное расстояние между дорожками, объектами.

Стоит узнать минимальный размер платы, что может быть реализовано, а что нет.

Для избегания порождения паразитной индуктивности дорожки нельзя делать слишком тонкими и длинными, минимальны размер дорожки может быть 20 мм, оптимальный минимальный размер для схем где присутствует аналоговая часть от 30 мм, так же можно комбинировать размеры.

В платах, где реализуется только цифровая часть иногда могут использоваться дорожки 10–15 мм, но в платах где присутствует аналоговая часть так лучше не делать, наводки могут быть серьёзные.

Не стоит проводить цифровые дорожки и аналоговые друг на другом, между дорожками создаётся паразитная ёмкость и цифровой сигнал может сильно влиять на чувствительный аналоговый.

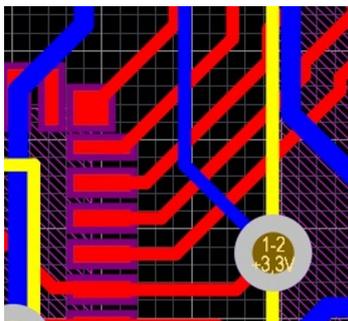


Рис. 4. Разные размеры дорожек

При размещении аналоговых и цифровых компонентов на одной плате необходимо организовать их в отдельные блоки, чтобы снизить взаимодействие между шумными цифровыми блоками и чувствительными аналоговыми схемами. Для этого высокочастотные компоненты логики следует разместить близко друг к другу и к разъему, чтобы длина дорожек для высокочастотных сигналов была минимальной. Это позволит уменьшить распределенную емкость и взаимную индуктивность между сигнальными дорожками. Низкочастотные логические блоки и элементы аналоговой схемы можно разместить дальше друг от друга, но все же необходимо компактно размещать высокочастотные части схем отдельно от низкочастотных. [4]

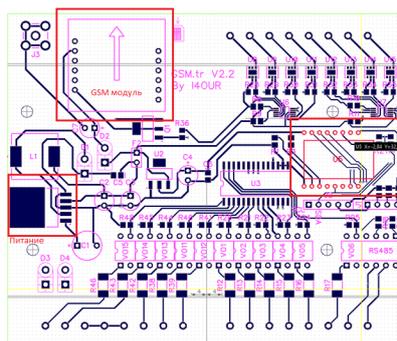


Рис. 5. Шумящая плата

На рис. 5 представлена плата, где установлен микроконтроллер и GSM-модуль. Главная проблема данной платы заключалась в том, что GSM-модуль создавал огромные наводки на любые подключённые и рядом лежащие дорожки.

В данной плате установлен всего один источник питания, земля в данной плате может быть реализована только одна, так же по интерфейсу UART создавались сильные наводки из-за чего в микроконтроллере срабатывал со временем RESET и он выключался, так же 3 канала АЦП работали не правильно.

В данном примере наглядно видно, что для таких элементов как GSM-модуль стоит делать отдельную землю, питание, фильтры и в идеале экранирование, но последнее может выходить очень дорого.

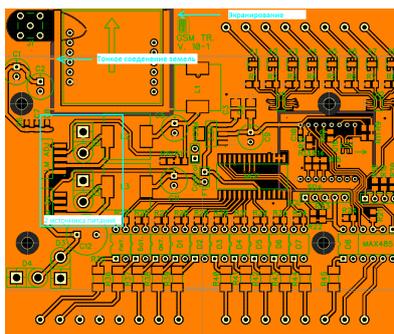


Рис. 6. Исправленная версия платы

Данная плата является исправленной версией, в ней разделены 2 источника питания, поставлено экранирование (нарисованный серый механический слой вокруг GSM), стоит дополнительная фильтрация от питания до GSM модуля, потому что помехи могут пойти по новому установленному источнику питания и на общую землю.

Были поставлены дополнительные трансформаторные модули на UART, чтобы разделить интерфейс.

В сумме эти изменения позволили решить проблемы, аналогово-цифровой преобразователь стал работать в нормальном режиме, на UART больше не наводилось помех, микроконтроллер переставал включать модуль RESET.

Экранирование является крайней мерой, применяемой для борьбы со шумом. При разводке печатной платы существует множество компонентов, которые могут создавать проблемы с шумом, и иногда искушение заключается в простом экранировании этих компонентов и игнорировании остального.

Перед применением экранирования рекомендуется ознакомиться с набором рекомендаций и рассмотреть различные варианты экранирования.

Однако стоит отметить, что экранирование может быть достаточно затратной процедурой, поэтому рекомендуется предпринять все возможные меры для предотвращения шума и помех перед его применением [2].

Экранирование часто используется для цифровых интерфейсов или для защиты сверхчувствительных компонентов от сильных помех.

Изолирование чувствительных компонентов от питания, некоторые компоненты могут быть очень чувствительны к помехам, поэтому их стоит устанавливать как можно дальше от источника питания. В особенностях это касается микроконтроллеров и модулей связи или любого блока, который чувствителен к частотам.

### **Выводы**

Избавление от шумов в печатных платах является важной частью процесса разработки и разводки. Шумы могут возникать из-за множества компонентов на плате, что может привести к снижению качества сигналов и негативно повлиять на работу электронных устройств.

Одной из крайних мер, которую можно применить для борьбы со шумами, является экранирование. Это процедура, которая позволяет удалить или снизить нежелательные помехи и наводки, создаваемые компонентами на плате. Однако стоит помнить, что экранирование может быть дорогостоящим и требует особого подхода и проектирования.

Перед применением экранирования следует рассмотреть и применить другие рекомендации и меры, направленные на предотвращение шумов. Например, правильное размещение компонентов, использование грунтовых плоскостей для заземления и питания, трассировка с учетом минимизации паразитных эффектов и шумов.

Перед созданием собственной печатной платы следует провести предварительное ознакомление с рекомендациями и руководствами, предлагаемыми производителями компонентов и специалистами в области разработки печатных плат. Это поможет определить наиболее эффективные методы борьбы со шумами и создать надежную и качественную печатную плату.

### **Библиографический список**

1. Шумы в электрических системах: их влияние, источники и методы борьбы // Научные Статьи.Ру – портал для студентов и аспирантов. – Дата последнего обновления статьи: 21.11.2023. – URL <https://nauchniestati.ru/spravka/vozdjstvie-shumov-na-elektricheskie-sistemy/> (дата обращения: 29.01.2024).
2. Некоторые методы ослабления шумов и электромагнитных помех – Время электроники URL: <https://russianelectronics.ru/nekotorye-metody-oslableniya-shumov-i-elektromagnitnyh-pomeh/?ysclid=lrwn35s8cg652892825> (дата обращения – 11.01.2024).
3. Рекомендации по проектированию печатной платы для динамически запрограммированных аналоговых микросхем Anadigm Щерба Александр :URL :<https://kit-e.ru/rekomendaczii-po-proektirovaniyu-pechatnoj-platy-dlya-dinamicheski-programmirovannyh-analogovyh-mikroshem-anadigm/> (дата обращения – 12.01.2024).
4. Щерба А. Динамическое программирование аналоговых схем Anadigm управляющим методом // Компоненты и технологии. 2010. № 12.2. Гольденберг Л.М. Импульсные устройства.

*И. А. Киришина\**

к. э. н., доцент

*А. В. Жмурин\**

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ФОТОГРАФИИ: ОБЪЕКТИВНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Рассматриваются информационные элементы действительности и наиболее полная передача их на цифровом изображении, влияние параметров съемочных устройств на качественную передачу изображения.

**Ключевые слова:** изображение, визуальная информация, снимающее устройство, алгоритмы.

*I. A. Kirshina\**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

*A. V. Zhmurin\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METROLOGICAL ASPECTS IN PHOTOGRAPHY: OBJECTIVE REALITY AND DIGITAL IMAGE

The information elements of reality and their most complete transmission in the digital image, the influence of the parameters of filming device on the high-quality image transmission are considered.

**Keywords:** image, visual information, filming device, algorithms.

Развитие современных технологий обеспечило нас множеством инструментов, позволяющих регистрировать те или иные объективные факты с различной степенью точности. Не исключением стал и сам внешний вид окружающего нас мира. С приходом фотографии стало проще регистрировать визуальную информацию, а ее достоверность и качество интерпретации увеличились в разы, по сравнению со словесным описанием или ручными зарисовками [1]. Следующим шагом в развитии съятия фотографий (как элемента регистрации фактов и событий) является наиболее полное приближение снимка к объекту реальности, а именно точная передача всей визуальной информации, в которую входят форма, цвет, текстура, яркость и т.п., а также отсутствие негативных составляющих, таких как шумы, размытия, засветы и т.п., приводящие к утрате информации.

Рассмотрим характеристики, влияющие на качество фотографии с технической точки зрения. Практически все снимающие устройства обладают следующими характеристиками. Разрешение – количество чувствительных элементов, размер чувствительного элемента, качество объектива. Хотя данные параметры не поддаются регулировке и качество изображения зависит от них напрямую, например, чем больше разрешение, тем более точно будут переданы детали на снимке. Выдержка – для точного замера экспозиции, диафрагма – регулирует количество попадающего на сенсор света, фокусировка, чувствительность по стандартам ISO. Это характеристики, которые можно изменять и которые по разному будут влиять на передачу информации, ухудшать в одном случае и улучшать в другом, так, например, при съемке в темное время суток или при недостаточном освещении необходимо использовать большое значение чувствительности, так как света на сенсор попадает очень мало, в то же время большое значение чувствительности при ярком освещении даст на изображении засветы, ведущие в свою очередь к потере информации [2].

Одним из решений данной проблемы является опытный оператор снимающего устройства, который способен в ручном режиме подбирать вышеперечисленные параметры, но человеческий ресурс стоит дорого, поэтому перспектива на стороне автоматических алгоритмов, анализирующих параметры среды и подстраивающих под них параметры устройства [3].

Каждый разработчик предлагает свои методы автоматической регулировки. Задача с метрологической стороны является определение точности подстраивающих алгоритмов и стандартизация наиболее успешных разработок.

Примерами таких алгоритмов могут послужить автоматические программы замера и изменения экспозиции. Матричный экспомер разбивает кадр на зоны, собирает информацию яркости этих зон и на основе этой информации выставляет соответствующую экспозицию для всего кадра [4].

Такой экспомер хорошо подходит, когда нам нужна информация всего кадра целиком, такими кадрами могут быть снимки местности. Иллюстрация результата матричного экспомера приведена на рисунке 1.

Центрально-взвешенный экспомер также учитывает яркость всех зон кадра, но с нормировочными коэффициентами. Приоритет отдается зонам расположенными ближе к центру кадра, а на периферии яркость практически не учитывается. Такой экспомер применяется в случае выделения предмета расположенного по центру кадра, для полной передачи всех деталей объекта. Иллюстрация работы центрально-взвешенного экспомера приведена на рис. 2.



*Рис. 1. Иллюстрация результата работы матричного экспомера*



*Рис. 2. Иллюстрация результата работы центрально-взвешенного экспомера*

Точечный экспомер применяется для еще лучшей передачи яркостных характеристик определенного объекта, не учитывая остальные зоны кадра. Зона такого экспомера обычно находится либо в центре, либо в точке фокусировки. Иллюстрация работы точечного экспомера приведена на рис. 3.



*Рисунок 3 – Иллюстрация работы точечного экспомера*

### **Заключение**

Результаты автоматизированного определения экспозиции, как и других характеристик фотографии, могут расходиться с представлениями фотографа об изображаемом объекте, поскольку человеческий глаз имеет существенно более широкий диапазон восприятия, но подобные результаты вполне достаточны для передачи основной информации об объекте съемки.

### **Библиографический список**

1. Тереньтева И. Н., Фото-текст: раскрытие или конструирование реальности. Вестник НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Серия «Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии» С. 16–21. 2014 г.
2. Павлушко О. В. Цифровые фотоаппараты: сравнительные характеристики и применение. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, С. 183–190. 2002 г.
3. Шарыгин М. Е., Сканеры и цифровые камеры. СПб: БХВ – Санкт-Петербург, 2000 г.
4. Катков Д. В., Экспозиция для цифровых фотографов. Фотожурнал «ХЭ», 2006 г. URL: <http://photoelement.ru/book/exposition/exposition.html> (дата обращения: 20.01.2024).

*А. В. Клименко\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SDR ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАДИОСКАНИРОВАНИЯ

Рассмотрены методы и средства применения SDR технологий для радиосканирования.

**Ключевые слова:** SDR технологии, радиосканирование.

*A. V. Klimenko\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\* St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## USING SDR TECHNOLOGIES FOR RADIO SCANNING

The methods and tools of using SDR technologies for radio scanning are described.

**Keywords:** software-defined radio, radio scanning.

Современные технологии в области радиосвязи и связанных с ней приложений постоянно развиваются. Одной из самых перспективных и инновационных технологий является SDR (Software-Defined Radio), или программно-определяемое радио. SDR представляет собой систему, в которой аппаратная часть радиостанции заменена программным обеспечением, что позволяет гибко настраивать и модифицировать параметры работы радиоэфира.

Принцип SDR был впервые определен Джоозефом Митола в начале 1990-х годов [1]. Одним из ключевых применений SDR технологий является сканирование радиоэфира в полевых условиях. Данная задача актуальна для множества отраслей: от коммерческого использования до научных исследований и экстренных операций. Благодаря возможности программного изменения параметров работы, SDR устройства предлагают новые возможности для эффективного анализа и мониторинга беспроводного спектра в реальном времени.

SDR – это технология, которая позволяет программно настраивать и контролировать радиосистемы, вместо использования жестко заданных аппаратных компонентов. В SDR системах обработка сигнала происходит в цифровой форме, что позволяет гибко настраивать радиочастотные параметры и изменять функциональность радиосистемы без необходимости модификации аппаратной части.

Технологии цифровой обработки данных в последнее время очень активно развиваются. Это применительно к системам связи, радиолокационным системам, системам радиоэлектронной разведки и радиоэлектронного подавления. Цифровая обработка обеспечивает большую скорость и более проста в обслуживании, чем традиционные аналоговые подсистемы. Поэтому вполне понятным является стремление заменить как можно больше аналоговых блоков и узлов приёмопередающей аппаратуры цифровыми.

Она содержит блоки аналого-цифрового, цифро-аналогового преобразования, антенну, цепи обработки цифровых сигналов и другие вспомогательные блоки. Как правило, помимо цифрового сигнального процессора, радио с архитектурой SDR содержит микроконтроллер. Рассмотрим подробнее каждый из блоков для случая приёмника с архитектурой SDR. Одним из самых важных узлов такого SDR-устройства является аналого-цифровой преобразователь. В реальности АЦП напрямую подключается к антенне, то есть преобразовывает непрерывный во времени сигнал в дискретную двоично-кодированную форму. Очевидно, что характеристики АЦП будут во многом определять и параметры устройства в целом.

Другой не менее важный компонент – цифровой сигнальный процессор. Именно он обеспечивает гибкость системы и используется главным образом для проведения расчётов, необходимых для выполнения алгоритма обработки сигнала. Традиционно ЦСП использовались для выполнения функций пред-модуляционной обработки и обработки сигнала после детектирования (в приёмниках). Однако в последнее время они используются в основном в трансиверах с расширенными коммуникационными возможностями для детектирования, коррекции, демодуляции, синтеза частот и фильтрации каналов.

Использование SDR технологий для сканирования радиоэфира имеет огромное значение и актуальность в современном мире. Традиционные радиосистемы, основанные на аппаратных компонентах, имеют ограниченные возможности для настройки и изменения функциональности. Это усложняет и замедляет процесс разработки и внедрения новых радиосистем.

SDR технологии позволяют гибко настраивать параметры приемника, такие как ширина полосы пропускания, чувствительность и выборочность фильтров, а также декодирование различных типов сигналов. Благодаря этому, SDR системы могут быть использованы для сканирования радиоэфира с целью обнаружения и анализа различных сигналов.

### Библиографический список

1. Mitola, J., & Maguire Jr, G. Q. Cognitive radio: making software radios more personal. IEEE Personal Communications, 1999 (4), 13–18.

*Т. В. Колобашкина\**

доцент, кандидат технических наук, доцент

*Р. Н. Целмс\**

доцент, кандидат технических наук

*М. А. Скоков\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОДИСПЕРСНЫХ ПОЛИСТИРОЛОВЫХ ЛАТЕКСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Рассмотрен генератор аэрозоля, основанный на распылении суспензий монодисперсных полистироловых латексов сжатым воздухом. Предложена конструкция пневматического распылителя, позволяющая из широкого спектра капель выделять капли заданного размера. Приведены рекомендации по приготовлению суспензий монодисперсных латексов с целью получения на выходе генератора модельного аэрозоля с параметрами, соответствующими исходному латексу.

**Ключевые слова:** аэрозольные загрязнения, монодисперсные полистироловые латексы, суспензия, распылитель, генератор модельного аэрозоля дисперсный состав, счетная концентрация.

*T. V. Kolobashkina\**

PhD, Tech., Associate Professor

*R. N. Tselms\**

PhD, Tech., Associate Professor

*M. A. Skokov\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE USE OF MONODISPERSE POLYSTYRENE LATEXES FOR TESTING AEROSOL EQUIPMENT

An aerosol generator based on spraying suspensions of monodisperse polystyrene latexes with compressed air is considered. The design of a pneumatic sprayer is proposed, which makes it possible to separate droplets of a given size from a wide range of droplets. Recommendations are given for the preparation of suspensions of monodisperse latexes in order to obtain a model aerosol at the output of the generator with parameters corresponding to the original latex.

**Keywords:** aerosol contaminants, monodisperse polystyrene latexes, suspension, sprayer, model aerosol generator, dispersed composition, counting concentration.

Атмосферный воздух является наиболее подвижным из всех природных сред. Поэтому загрязняющие атмосферу химические вещества быстро распространяются на большие расстояния и обнаруживаются повсеместно на нашей планете. Загрязнение атмосферы является причиной глобальных экологических проблем, к которым относят изменение климата планеты и разрушение озонового слоя.

Один из наиболее серьезных факторов – наличие в воздухе аэрозольных загрязнений. Аэрозоли относят к дисперсным системам, где дисперсионной средой является воздух, а дисперсной фазой – частицы твердого или жидкого вещества [1]. Аэрозольные загрязнения уменьшают прозрачность атмосферы, угнетают рост растений, способствуют порче зданий и оборудования. Качество атмосферного воздуха влияет на здоровье и благополучие человека.

Оперативный и достоверный контроль уровня загрязнения воздушной среды требует соответствующего метрологического обеспечения применяемых средств измерений. Поэтому создание модельных аэрозолей с узким спектром размеров частиц, имеющих одинаковую форму, и стабильной концентрацией для градуировки и поверки аэрозольной аппаратуры является актуальной задачей.

Для получения модельного аэрозоля предлагается генератор, основанный на распылении суспензий, состоящих из частиц заданного размера и летучей жидкости, чистым сжатым воздухом [2]. Для приготовления суспензий использованы монодисперсные полистироловые латексы со сферической формой частиц, которые разбавляются жидкостью, например, дистиллированной водой. Суспензия монодисперсных частиц, распыляясь, превращается в туман, капельки которого содержат твердые частицы. Эти капли смешиваются с очищенным и осушенным потоком газа-носителя, в результате чего происходит испарение жидкости. Наличие более одной частицы в каплях ведет при их испарении к образованию «двойников», «тройников» и т.д. Это приводит к увеличению размеров частиц аэрозоля на выходе генератора по сравнению с размерами частиц исходного латекса, что ухудшает степень монодисперсности модельного аэрозоля.

Вероятность  $P(n)$  того, что  $n$  частиц встретится в капле с диаметром  $d_0$ , рассчитана по формуле Пуассона [3]:

$$P(n) = \frac{(\bar{n})^n}{n!} e^{-\bar{n}}.$$

$\bar{n} x(d_0/d)^3$  – среднее число частиц, приходящихся на каплю;  $x$  доля объема, занимаемой частицами суспензии;  $d_0$  диаметр капли;  $d$  диаметр частицы латекса.

Расчеты были сделаны для латекса с диаметром частиц  $d = 1$  мкм при условии, что диаметр капель воды изменяется от 1 до 10 мкм, а  $n$  принимает значения от 1 до 3. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица

**Влияние размера капель, размера частиц латекса и концентрации суспензии на степень монодисперсности аэрозоля**

Диаметр капли $d_0$ , мкм	Диаметр частицы латекса $d$ мкм	Концентрация суспензии $x$ , %	$P(n)$			Ухудшение степени монодисперсности аэрозоля, %
			$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	
3	1	0,05	0,015	0	0	0
4			0,035	0	0	0
5			0,060	0	0	0
6			0,1	0	0	0
7			0,15	0,01	0	6,25
8			0,2	0,025	0	11,1
9			0,25	0,05	0	16,7
10			0,3	0,075	0	20
3	1	0,2	0,05	0	0	0
4			0,11	0,01	0	8,3
5			0,2	0,025	0	10
6			0,275	0,06	0,01	20,3
7			0,35	0,12	0,03	30
3	1	0,6	0,14	0,01	0	6,7
4			0,25	0,05	0	16,7
5			0,35	0,125	0,04	32
3	1,9	1	0,025	0	0	0
4			0,085	0	0	0
5			0,15	0,01	0	6,2
6			0,24	0,025	0	9,4
7			0,3	0,05	0,01	16,7

На основании данных, приведенных в таблице, можно сделать следующие выводы:

- для получения высокодисперсного аэрозоля с диаметром частиц  $d = 1$  мкм необходимо сильное разбавление исходного латекса жидкостью;
- при среднем диаметре образующихся капель жидкости  $d_0$  не более 5 мкм и концентрации суспензии не более 0,2% ухудшение степени монодисперсности аэрозоля на выходе генератора не превысит 11%.

В распылителе использован пневматический способ распыления жидкости, при котором вытекающая из сопла жидкость дробится движущимся с большой скоростью воздухом. Для этих распылителей характерен очень широкий диапазон размеров капель.

Предложена конструкция распылителя, позволяющая из широкого спектра капель различных размеров выделить капли заданного размера (рис. 1).

Для этого в распылителе установлена сетка с ячейками заданного размера, через которую пропускают поток газа-носителя с каплями распыленной суспензии. Капли, непрошедшие через сетку, сдувает дополнительный поток газа-носителя, что позволяет содержать сетку в рабочем состоянии. При необходимости изменения дисперсного состава капель ставится сменная сетка с другим калибром ячеек.

Для проведения надежных испытаний аэрозольной аппаратуры осуществлялся контроль размеров частиц модельного аэрозоля и стабильность его концентрации на выходе генератора. Для контроля размеров частиц и их счетной концентрации использовался счетчик аэрозольных частиц АЗ-10 [4]. Для контроля стабильности концентрации модельного аэрозоля во времени использовался анализатор пыли ИКП-5, измеряющий мгновенное значение концентрации аэрозоля.

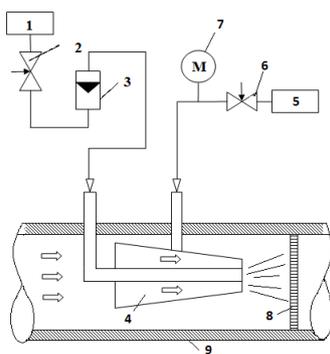


Рис. 1. Пневматический прямоструйный распылитель: 1 – дозатор; 2 – вентиль; 3 – расходомер; 4 – форсунка; 5 – компрессор; 6 – вентиль; 8 – сетка с ячейками заданного размера; 9 – труба для дополнительного потока газа-носителя.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при заданных размерах частиц латексов увеличение концентрации суспензии требует уменьшения размера капель, образующихся при распылении, что достигается предложенной конструкцией распылителя;
- с увеличением размера частиц латекса при заданных размерах капель допустимы более концентрированные суспензии при сохранении малого количества «двойников». Так при  $d_0 = 5$  мкм и  $d = 1$  мкм допустимая концентрация суспензии  $x = 0,2\%$ , при  $d = 1,9$  мкм –  $x = 1\%$ .

При соблюдении указанных рекомендаций на выходе генератора можно получить аэрозоль с параметрами, соответствующими исходному латексу.

#### Библиографический список

1. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию: Пер. с англ. – М.: Мир 2014. – 280 с.
2. А. с. № 876182. СССР. Б.И. № 40, 1981.
3. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1969. – 428 с.
4. Счетчик аэрозольных частиц АЗ-10. Руководство по эксплуатации ЭЖИТ 7.830.000 РЭ, Москва, 2010. – 10 с.
5. Анализатор пыли ИКП-5. Руководство по эксплуатации ШДЕК 416 339.002 РЭ. – СПб., 2009. – 5 с.

*Т. В. Колобашкина\**

доцент, кандидат технических наук, доцент

*М. А. Скоков\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ РАСПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ

Рассмотрены способы перевода в аэрозольное состояние порошкообразных материалов при анализе их дисперсного состава, для получения модельных аэрозолей при лабораторных исследованиях, при моделировании пылевых заболеваний, при испытаниях воздухоочистительного оборудования, а также для введения лекарственных веществ через органы дыхания. Предложен генератор аэрозоля, который позволяет обеспечивать регулирование и поддержание в течение длительного времени заданной массовой концентрации и дисперсного состава создаваемого аэрозоля.

**Ключевые слова:** распыление порошков, аэрозоль, генератор аэрозоля, массовая концентрация, дисперсный состав.

*T. V. Kolobashkina\**

PhD, Tech., Associate Professor

*M. A. Skokov\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ANALYSIS OF POWDER SPRAYING METHODS AND THE POSSIBILITY OF USING THEM TO GENERATE AEROSOLS

The methods of converting powdered materials to an aerosol state in the analysis of their dispersed composition, for obtaining model aerosols in laboratory studies, for modeling dust diseases, for testing air purification equipment, as well as for the administration of medicinal substances through the respiratory organs are considered. An aerosol generator is proposed, which allows for the regulation and maintenance for a long time of a given mass concentration and dispersed composition of the created aerosol.

**Keywords:** powder spraying, aerosol, aerosol generator, mass concentration, dispersed composition.

Все известные способы образования аэрозолей путем распыления порошков можно разделить на следующие группы:

1) основанные на распылении порошков при прохождении через них воздушного потока. Применяются при распылении грубодисперсного порошка. Используются, когда требуется распылять предварительно размельченные порошки. Распылители порошков подобного типа просты, однако не позволяют управлять дозировкой и не обеспечивают эффективного дезагрегирования материала [1];

2) основанные на пневматическом способе распыления. Применяются для распыления мелкодисперсных порошков, которые характеризуются сильной аутогезией частиц. Распыляемый материал предварительно подготавливается путем механического перемешивания или воздействием вибрации [2]. Весьма полное дезагрегирование мелкодисперсных порошков достигается при их продувании через спиральную трубку малого диаметра [3]. При движении пылеводушной смеси через спиральную трубку агрегаты разбиваются, в результате чего дисперсный состав аэрозоля приближается к дисперсному составу порошка. К недостаткам устройств, основанных на этом способе распыления, следует отнести то, что при распылении мелкодисперсных порошков на отдельных участках спирали происходит налипание слоев порошка, последующий срыв которых при циклической работе устройства искажает дисперсный состав последующих проб;

3) основанные на центробежном формировании аэрозолей. Диспергирование порошков происходит за счет центробежной силы и центробежно направленного потока воздуха [4].

При выборе генератора аэрозоля необходимо учитывать свойства распыляемого порошка (размер частиц, их форму, гигроскопичность). Порошки с радиусом 5 мкм и более сравнительно легко распыляются сжатым воздухом с образованием аэрозолей с полной дезагрегацией частиц. По мере уменьшения размера частиц распыление их осуществляется все труднее. При распылении порошков помимо размера частиц большое значение имеет их форма, упругие свойства и влажность. Пластинчатые или игольчатые частицы распыляются труднее, чем сферические. Порошки из жесткого материала легче, чем из мягких. Увлажнение порошков резко ухудшает распыляемость. Пересушенные порошки также плохо распыляются из-за высоких трибоэлектрических зарядов.

Ни один из упомянутых выше устройств не удовлетворяет полностью следующим требованиям:

- постоянство концентрации и степени дисперсности;
- возможность регулирования этих параметров в широких пределах;

- получение аэрозоля с радиусом частиц менее 0,5 мкм.

Для обеспечения равномерного распыления порошков предлагается одновременно с вибрационными колебаниями на порошок воздействовать вертикально направленным пульсирующим потоком воздуха. Частоту пульсаций вертикально направленного потока воздуха выбирают равной частоте вибрационных колебаний.

Устройство для распыления порошков содержит ёмкость, в которую засыпают порошок и которая снабжена насадкой, выполненной в виде коаксиальных полых цилиндров, прикреплённых верхними основаниями ко дну ёмкости. Наружный цилиндр снабжён патрубком, связанным с устройством для ввода пульсирующего потока воздуха в полость между цилиндрами. Дно ёмкости внутренним цилиндром соединено с патрубком для ввода порошка в смесительную камеру.

Этот распылитель порошка с пульсирующим воздушным потоком достаточно прост в конструкции и в то же время позволяет обеспечивать регулирование в широких пределах и поддержание в течение длительного времени заданной массовой концентрации и дисперсного состава создаваемого аэрозоля.

#### **Библиографический список**

1. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Пер. с английского под ред. Н.А. Фукса. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1969. – 428 с.
2. Патент RU №2614706 С1. Бюл. № 10, 2017.
3. Фукс Н.А., Селин А.Н. Пневматическое распыление порошков. Инженерно-физический журнал. Т.УИ. No I, 1964.
4. Патент RU № 2013137862 С1. Бюл. № 5, 2015.

*Т. В. Колобашкина\**

доцент, кандидат технических наук, доцент

*Я. В. Добрицкий\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА НА ЧЕЛОВЕКА

Проведен анализ рабочей ситуации для конкретного рабочего места, выбрана стратегия измерения на основе рабочей операции, приведены результаты измерения и расчета основной нормируемой характеристики шумового воздействия – эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день и его неопределенности. Результаты исследований позволили оценить условия труда на рабочем месте с точки зрения кумулятивного воздействия шума на работника.

**Ключевые слова:** шум, стратегия измерения, рабочая операция, неопределенность измерения, эквивалентный уровень звука, гигиеническое нормирование.

*T. V. Kolobashkina\**

PhD, Tech., Associate Professor

*Ya. V. Dobritsky\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ASSESSMENT OF THE HUMAN IMPACT OF INDUSTRIAL NOISE

The analysis of the working situation for a specific workplace is carried out, a measurement strategy based on the work operation is chosen, the results of measuring and calculating the main normalized characteristic of noise exposure – the equivalent sound level for an 8-hour working day and its uncertainty are presented. The results of the research made it possible to assess the working conditions at the workplace in terms of the cumulative impact of noise on the employee.

**Keywords:** noise, measurement strategy, work operation, measurement uncertainty, equivalent sound level, hygienic rationing.

Шум является одним из неблагоприятных факторов производственной среды, воздействие которого на работающих сопровождается развитием у них преждевременного утомления, снижением производительности труда, ростом профессиональной заболеваемости и травматизма. В первую очередь, изменения в организме наблюдаются в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Патологические изменения в органе слуха имеют кумулятивный характер и происходят в том случае, когда повышенный шум действует на работника в течение длительного времени.

Для оценки опасности кумулятивного воздействия шума используют эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день  $L_{EX,8h}$ , измерение которого проводят для номинального рабочего дня в предположении, что весь стаж работ будет накоплен работником на одном рабочем месте при существующих условиях труда [1]. Результат измерения сопоставляют с гигиеническим нормативом и принимают решение о соответствии или несоответствии условий труда допустимым [2].

Рассмотрим оценку шума на рабочем месте оператора в лаборатории при испытании аэрозольной аппаратуры. В состав испытательного стенда входит компрессор, снабжающий генератор модельного аэрозоля сжатым воздухом и создающий интенсивный шум.

Рабочий день оператора включает в себя: планирование работ (в малозумных условиях), подготовку стенда к работе, четыре периода проведения испытаний и обеденный перерыв, который рассматривается как составная часть рабочего дня. В ходе анализа рабочей обстановки определен номинальный день (рабочий день, выбранный для оценки шумового воздействия), который показан в таблице 1.

Таблица 1

Номинальный день оператора

Рабочая операция	Продолжительность, ч
Планирование работ, перерывы (малозумные условия)	2
Подготовка стенда к работе	1
Проведение испытаний (калибровка пылеизмерительной аппаратуры)	5
Всего	8

Так как число операций, выполняемых оператором, ограничено и каждая из них определена, для расчета эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день выбрана стратегия измерения на основе рабочей операции.

Вклад шумового воздействия во время планирования работ и перерывов в шумовое воздействие за день несущественно, поэтому для них достаточно выполнить несколько контрольных выборочных измерений.

В результате измерений были получены следующие значения:

- для планирования работ и перерывов  $L_{p,A,eq T 11} = 60$  дБ;
- для подготовки стенда к работе  $L_{p,A,eq T 21} = 62,1$  дБ;  $L_{p,A,eq T 22} = 64,2$  дБ;
- $L_{p,A,eq T 23} = 61,2$  дБ;
- для проведения испытаний  $L_{p,A,eq T 31} = 96,5$  дБ;  $L_{p,A,eq T 32} = 94,2$  дБ;  $L_{p,A,eq T 33} = 97$  дБ.

Для каждой рабочей операции по результатам измерений рассчитаны эквивалентные уровни звука  $L_{p,A,eq T, m}$  [3]

$$L_{p,A,eq T, m} = 10 \lg \left( \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 L_{p,A,eq T, mi}} \right), \quad (1)$$

где  $L_{p,A,eq T, mi}$  – эквивалентный уровень звука при выполнении  $m$  – й операции на периоде  $i$ - го измерения;  $i$  – номер выборочного измерения шума  $m$  – ой операции;  $I$  – число измерений при выполнении  $m$  – ой операции.

Вклад  $m$  – ой операции в эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день  $L_{EX,8h,m}$  с учетом выражения (1) рассчитан по формуле

$$L_{EX,8h,m} = L_{p,A,eq T, m} + 10 \lg(T_m / T_0), \quad (2)$$

где  $T_m$  – средняя продолжительность  $m$  – ой операции;  $T_0$  – базовая длительность рабочего дня, равная 8 ч.

Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день  $L_{EX,8h}$  с учетом выражения (2) вычислен по формуле

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left( \sum_{m=1}^M 10^{0,1 L_{EX,8h,m}} \right),$$

где  $M$  – число рабочих операций, дающих вклад в эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день.

Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2

#### Эквивалентные уровни звука

№ операции	Рабочая операция	Эквивалентный уровень звука при выполнении $m$ -ой операции $L_{p,A,eq T, m}$	Вклад $m$ -ой операции в эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день $L_{EX,8h,m}$	Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день $L_{EX,8h}$
1	Планирование работ, перерывы (малозумные условия)	60	54	
2	Подготовка стенда к работе	62,7	53,7	
3	Проведение испытаний	96	94	
За 8-часовой рабочий день				94

Для оценки неопределенности эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день  $u(L_{EX,8h})$  был использован метод, приведенный в стандарте [3].

Стандартная неопределенность измерения, соответствующая периоду планирования работ и перерывов, принята равной нулю; для операции подготовки стенда к работе – 0,89 дБ; для проведения испытаний – 0,89 дБ. Инструментальная составляющая стандартной неопределенности принята равной 1,5 дБ. Неопределенность, обусловленная расположением микрофона, – равной 1,0 дБ.

С учетом указанных значений стандартная неопределенность эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день, обусловленная только изменением уровня шума, равна 1,98 дБ.

В результате проведенных измерений получен эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день на рабочем месте оператора  $L_{EX,8h} = 94$  дБ со стандартной неопределенностью  $u(L_{EX,8h}) = 1,98$  дБ. Так как значение  $u(L_{EX,8h})$  не превышает 3 дБ, с гигиеническим нормативом (80 дБ) сравниваем результат измерения  $L_{EX,8h} = 94$  дБ и делаем вывод, что на данном рабочем месте условия труда с точки зрения воздействия шума являются вредными.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.003 – 2014 «Шум. Общие требования безопасности». – М.: Стандартинформ, 2014. – 41 с.
2. ГОСТ 12.1.003 – 83 «Шум. Общие требования безопасности». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
3. ГОСТ ISO 9612 – 2016 «Измерения шума для оценки его воздействия на человека». – М.: Стандартинформ, 2014. – 41 с.

*А. В. Кондратьев\**

к.т.н., доцент

*М. В. Букреев\**

студент

\*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

## ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОИСКА ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Проведённый анализ методов поиска точечных источников радиации позволил сделать вывод о наличии нескольких проблем, накладывающих ограничения на их применение. Комбинирование методов разных групп, а также применение нового разрабатываемого авторами метода может способствовать устранению этих ограничений.

**Ключевые слова:** точечный источник, гамма-излучение, методы поиска, радиация.

*A. V. Kondratyev\**

Ph.D. Tech., Associated Prof,

*M. V. Bukreev\**

student

\*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg Mining University»

## THE PROBLEM OF EXISTING METHODS OF SEARCHING FOR POINT SOURCES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

The analysis of methods for searching point sources of radiation has allowed us to conclude that there are several problems that impose limitations on their application. Combination of methods of different groups, as well as application of a new method developed by the authors can help to eliminate these limitations.

**Keywords:** point source, gamma radiation, search methods, radiation.

На данный момент существуют следующие методы поиска источников: наземная и воздушная гамма-съёмка, триангуляция, коллимация, «эффект тени», метод Байеса, регуляризованный фильтр частиц, матрица сцинтилляционных кристаллов, визуализация гамма-излучения. Основные проблемы этих методов: необходимость сближения с источником на небезопасное расстояние, а также длительного пребывания в области воздействия источника.

Использование автономных и управляемых мобильных роботов и летательных аппаратов – основное предлагаемое решение для обеспечения безопасности оператора от гамма-излучения. Однако следует учитывать и то, что источники гамма-излучения зачастую испускают и другие виды излучения с большей ионизирующей способностью, что делает использованную технику новой угрозой здоровью оператора.

В данной работе предлагается снизить воздействие источника на оператора и технику путём комбинирования уже существующих методов. Так как различные методы имеют разные выделенные недостатки, приводящие к двум основным проблемам, то можно устранить их, применив, например, два подхода одновременно. Также предлагается разрабатываемая авторами модификация метода коллимации до направленного измерения гамма-излучения. У детектора экранирующим слоем, ослабляющим гамма-излучение на известную величину со всех сторон, формируется диафрагма. Прибор устанавливается в область воздействия источника или источников, характеризующейся значением интенсивности, превышающей фоновое минимум на две погрешности её измерения. Далее проводится измерение приходящей на диафрагму интенсивности гамма-излучения в угле 360° вокруг оси прибора. Полученные пиковые значения на графике интенсивности от угла поворота позволяют определить направления на источники. Повторение измерений в другой точке позволит определить геометрически расстояния до всех источников, в области воздействия которых находятся две точки измерений.

Предложенный метод направленного измерения гамма-излучения позволяет определить местоположение нескольких источников всего за два измерения без необходимости приближения на небезопасное расстояние и долгого пребывания в области воздействия.

### Библиографический список

1. Бака Т., Джилек М., Манек, Стибингер, Линхарт В., Якубек Й., Саска М. Детектор излучения Timerix для автономной локализации излучения и картирования микро-беспилотными транспортными средствами // Международная конференция IEEE по интеллектуальным роботам и системам. 2019. С. 1129–1136.
2. Букартас А., Финк Р., Валлин Й., Рязф К.Л. Байесовский метод локализации потерянных гамма-источников // Прикладное излучение и изотопы. 2019. Т. 145. С. 142–147.
3. Каварабаяси Д., Мацуи Д., Фува Ю., Такахаси Т., Томита Х., Игучи Т., Такада Э. Разработка всенаправленного гамма-тепловизора с тонкими сцинтилляторами барного типа // 2017 Симпозиум IEEE по ядерной науке 2017 и конференция по медицинской визуализации NSS/MIC 2017 – Материалы конференции. 2018.

*Д. В. Копытина\**

студент

*А. И. Шихов\**

к. т. н., ассистент

*А. А. Виноградова\**

к. т. н., доцент

*А. В. Кондратьев\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

**АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Проанализированы основные виды дефектов сварных соединений полиэтиленовых труб и причины их возникновения. Представлено описание образцов для проведения экспериментального исследования влияния дефекта на прочность сварного соединения полиэтиленового трубопровода.

**Ключевые слова:** дефект, сварное соединение, полиэтиленовая труба, ультразвуковой контроль

*D. V. Kopytina\**

Student

*A. I. Shikhov\**

Cand. Sc. Tech., Assistant

*A. A. Vinogradova\**

Cand. Sc. Tech., Assoc. Prof.

*A. V. Kondratev\**

Cand. Sc. Tech., Assoc. Prof.

\*Saint Petersburg Mining University

**ANALYSIS OF DEFECTS IN WELDED JOINTS OF POLYETHYLENE PIPELINES**

The main types of defects in welded joints of polyethylene pipes and the causes of their occurrence are described. A description of samples for conducting an experimental study of the effect of a defect on the strength of a welded joint of a polyethylene pipeline is presented.

**Keywords:** defect, welded joint, polyethylene pipe, ultrasonic inspection.

Благодаря ряду достоинств в последние десятилетия трубы из полиэтилена широко применяются для строительства газо- и водопроводов. Широкий температурный интервал вязкотекучего состояния (более 70°C) и относительно малая вязкость расплава позволяют отнести полиэтилен к группе хорошо свариваемых материалов [1].

При неправильных подготовительных операциях перед или в процессе сварки полиэтилена могут возникнуть дефекты сварных соединений. В таблице 1 приведена классификация дефектов, используемая в основных нормативных документах.

Таблица 1

Типы дефектов

Тип дефекта	Допустимые размеры
ГОСТ Р 54792-2011	
Трещина	Не допускается
Впадина между валиками грата или надрез	Не допускается
Нарушение форма грата	Допускается при положительных результатах механических испытаний
Не симметричный грат	Условие допуска $b_1 \geq 0,7b_2$ ; $b$ – ширина грата
Несплавление	Не допускается
Непровар (раковина)	Не допускается
Поры (включение инородных тел)	Условие допуска $s_1 \geq 0,05s$ ; $s$ – ширина стенки трубы; $s_1$ – диаметрвключения
СП 399.1325800.2018	
Загрязнение сварочного шва	Не допускается
Несплавление и трещины, расположенные в сварочном шве или грате	Не допускается
Поры, полости, раковины	Не допускаются

Источники возникновения дефектов достаточно разнообразны. Около 80% случаев брака приходится на причины, связанные с нарушением технологии и, в меньшей степени, на низкое качество свариваемых материалов. Проблемы со сварочным и вспомогательным оборудованием составляют менее 2% во всем объеме источников дефектов. Большое значение имеет температура окружающей среды, различие показателей текучести свариваемых труб [2].

Для выявления дефектов в сварных соединениях полиэтиленовых труб используют два метода неразрушающего контроля: визуально-измерительный и ультразвуковой. Для выявления внутренних дефектов наиболее применим ультразвуковой метод контроля, основанный на отражении ультразвуковой волны от границы раздела сред. Несмотря на наличие нормативной документации, регламентирующей проведение ультразвукового контроля, возможность выявления различных видов дефектов исследована не до конца.

Целью данного исследования является определение уровня достоверности выявления дефектов различных видов в стыковых сварных соединениях полиэтиленовых труб ультразвуковыми методами неразрушающего контроля [3]. Для этого, в первую очередь, необходимо определить минимальный размер дефекта, влияющего на эксплуатационные характеристики сварного соединения. Был проанализирован ряд статей, посвященных изучению влияния различных дефектов на прочность сварного соединения полиэтиленовой трубы. Имитация дефектов осуществлялась различными способами, например, в виде металлических шариков различных размеров, расположенных в центре сварного соединения [4]. Однако, в рассмотренной работе используются дефекты больших размеров относительно толщины стенки трубы, что не позволяет оценить степень влияния скрытых дефектов малого размера на прочность сварного соединения.

В представленном исследовании был разработан ряд образцов стыковых сварных соединений труб из полиэтилена, содержащих искусственные дефекты. Эти дефекты представляют собой кусочки алюминиевой фольги размерами 5x5, 5x7, 7x5, 7x7 мм и толщиной 9, 18 и 27 мкм, а также проволоку, диаметром 1 мм, расположенные по периметру шва полиэтиленовой трубы диаметром 110 мм и толщиной стенки 11 мм.

В дальнейшем будет исследовано влияние описанных дефектов на прочность сварного соединения путем испытаний на разрывной машине. В зависимости от полученных результатов будут установлены требования к ультразвуковому оборудованию, обеспечивающие достоверность обнаружения скрытых опасных дефектов в сварных соединениях полиэтиленовых трубопроводов.

#### Библиографический список

1. Будун, М. А. Применение полимерных труб при строительстве газопровода / М. А. Будун, Т. В. Федюнина // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы XII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 21–22 апреля 2022 года. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2022. – С. 23–26.
2. Зуев М. А., Ренгач А. С., Огибин С. Ю. Анализ причин брака сварных соединений из полимерных материалов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022). – 2022. – С. 50–53.
3. K V Gogolinskii and V A Syasko Actual metrological and legal issues of non-destructive testing. Journal of Physics: Conference Series. 1379 (2019) 012045. DOI:10.1088/1742-6596/1379/1/012045.
4. Huan Sheng Lai, Nwe Ni Tun, Kee Bong Yoon, Seong Hee Kil, Effects of defects on failure of butt fusion welded polyethylene pipe, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2016, 139, 117. <https://doi.org/10.1016/j.ijvp.2016.03.010>.

*О. М. Косогоров\**

ст. преподаватель

*А. А. Макаров\*\*\**

доктор физико-математических наук, профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет

## О ФОРМИРОВАНИИ ВХОДНОГО ПОТОКА ДАННЫХ В СИСТЕМЕ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЙ ЦИФРОВУЮ ОБРАБОТКУ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Целью данной работы является исследование вопроса формирования входного потока данных, подаваемого на устройство сжатия цифровой информации (либо на соответствующий программный модуль) при осуществлении передачи данных в системах для обнаружения целей и наблюдения, основанных на принципах радиолокации.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, аппроксимация, сжатие данных, передача данных, радиолокация.

*О. М. Kosogorov\**

Senior lecturer

*A. A. Makarov\*\*\**

Dr. Sc., Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

\*\*St. Petersburg State University

## ON THE FORMATION OF AN INPUT DATA STREAM IN A SYSTEM THAT DIGITALLY PROCESSES A RADAR SIGNAL

The purpose of this work is to investigate the issue of forming an input data stream fed to a digital information compression device (or to an appropriate software module) when transmitting data in target detection and surveillance systems based on the principles of radar.

**Keywords:** AI, approximation, data compression, data transmission, radar.

В современных системах для обнаружения целей и наблюдения, основанных на принципах радиолокации, практически все этапы обработки информации осуществляются в цифровой форме. Что порождает ряд задач обработки и передачи различных видов цифровой радиолокационной информации с учётом её специфики.

Одной из таких задач является задача сжатия радиолокационного сигнала на различных этапах его обработки. Как показала практика, одним из эффективных решений этой задачи является применение аппарата сплайн-вэйвлетной аппроксимации цифровых потоков данных, который планомерно развивается в последнее время (см. [1-15]). Очевидно актуальна данная проблематика, например, при создании многопозиционной РЛС (см. [16]).

Алгоритмы сплайн-вэйвлетного сжатия хорошо учитывают как достаточно традиционные требования к подобным алгоритмам (большой коэффициент сжатия, при этом высокое качество восстановленных данных, небольшая ресурсоёмкость), так и специфические требования, характерные для применения в радиолокационных системах. В первую очередь, это высокая скорость сжатия и восстановления, позволяющая передачу данных в режиме реального времени. А также свойственная для радиолокационных данных определённая структура обрабатываемого цифрового потока. При этом на эффективность алгоритма сжатия заметно влияет способ формирования входного потока, который, в свою очередь, следует выбирать, учитывая особенности оцифровки аналогового сигнала.

### Библиографический список

1. Demy'anovich Yu. K., Makarov A.A. Calibration relations for nonpolynomial splines // J. Math. Sci., 142 (2007), no. 1, 1769–1787.
2. Makarov A. A. On wavelet decomposition of spaces of first order splines // J. Math. Sci., New York 156 (2009), no. 4, 617–631.
3. Демьянович Ю. К., Косогоров О. М. Сплайн-вэйвлетные разложения на открытом и замкнутом интервалах // Проблемы матем. анализа. Вып. 43. 2009. С. 69–86.
4. Demy'anovich Yu. K., Kosogorov O. M. Calibration relations for nonpolynomial splines // J. Math. Sci., 164 (2010), no. 3, 364–382.
5. Макаров А. А. Кусочно-непрерывные сплайн-вэйвлеты на неравномерной сетке // Труды СПИИРАН. 2010. № 3 (14). С. 103–131.
6. Makarov A.A. Construction of splines of maximal smoothness // J. Math. Sci., New York 178 (2011), no. 6, 589–604.

7. Яковлева Е.С., Макаров А.А. О свойствах блочного алгоритма бинаризации цифровых изображений // Компьютерные инструменты в образовании. 2015. № 4. С. 26–36.
8. A. Makarov, E. Yakovleva. Comparative analysis of halftoning algorithms for digital watermarking // 18th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT), 2016, 193–199.
9. Kosogorov O., Makarov A. On some piecewise quadratic spline functions // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10187. pp. 448–455.
10. V. Gorbachev, E. Kaynarova, A. Makarov, E. Yakovleva. Digital image watermarking using DWT basis matrices // 21st Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 2017, 127–133.
11. А. А. Макаров, В. В. Максимов. О бинаризации гидролокационных изображений // Гидроакустика. 2017. Вып. 30(2). С. 42–51.
12. А. А. Makarov. On two algorithms of wavelet decomposition for spaces of linear splines // J. Math. Sci., 232:6 (2018), 926–937.
13. B. Shumilov, Y. Gerasimova, A. Makarov. On Binarization of Images at the Pavement Defects Recognition // Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics, EExPolytech 2018, 107–110.
14. О. М. Косогоров, А. А. Макаров, С. В. Макарова. О матричном представлении фильтров, соответствующих сплайн-вейвлетам со смещенным носителем // Численные методы и вопросы организации вычислений. XXXIII, Зап. научн. сем. ПОМИ, Т. 496, 2020, 156–168.
15. Kosogorov O. M., Makarova S. V., Makarov A. A. Matrix representation of filter banks corresponding to spline wavelets with shifted supports // Journal of Mathematical Sciences. 2021. Vol. 255. no. 3. pp. 315–323.
16. О. М. Косогоров, А. А. Макаров. О некоторых проблемах передачи данных в системе, обеспечивающей функционирование многопозиционной РЛС // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: V Междунар. форум: сб. ст. / под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 67–68.

*А. С. Костин\**

ассистент,

*Н. Н. Майоров\**

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛОЖНОТРАЕКТОРНОГО АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА

Описаны основные компоненты беспилотной системы для построения автономного маршрута движения.

**Ключевые слова:** дрон, навигация, автономный полет, датчики.

*A. S. Kostin\**

assistant,

*N. N. Maiorov\**

PhD, Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## INFORMATION AND MEASURING SYSTEM FOR COMPLEX TRAJECTORY AUTONOMOUS FLIGHT

The main components of an unmanned system for constructing an autonomous route are described.

**Keywords:** drone, navigation, autonomous flight, sensors.

Развитие отрасли применения и развития беспилотных авиационных систем, а также их интеграция в различные сферы деятельности, в том числе в сфере навигации вызвали всплеск исследовательского интереса в широком спектре областей исследований. За счет возможности выполнения автономных полетов во время выполнения полетной задачи, беспилотные авиационные системы позволяют автоматизировать различные процессы, за счет чего открываются многочисленные преимущества в гибкости, стоимости и возможностях [1].

Одной из основных задач выполнения сложнотраекторного автономного полета является построение маршрута движения беспилотной авиационной системы. Для решения данной задачи рассматриваются различные методы и алгоритмы, в частности методы планирования на основе теории графов, эвристический алгоритм планирования и алгоритмы роевого интеллекта. Для построения автономной полетной задачи беспилотной авиационной системы формируются определенные задачи, в частности, выполняется автономный запуск двигателей взлет на заданную высоту, следование по заданному маршруту, идентификация объектов при помощи машинного зрения и датчиков. Для решения данной задачи на БАС устанавливаются различные аппаратные компоненты и выбирается определенная беспилотная авиационная система. Для данной задачи наиболее оптимально будет применение БАС мультироторного типа, квадрокоптера, за счет высокой маневренности и возможности выполнения зависания в точке.

Данное исследование выполняется в рамках темы государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSRF-2023-0003 (внутренний номер С-16) «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

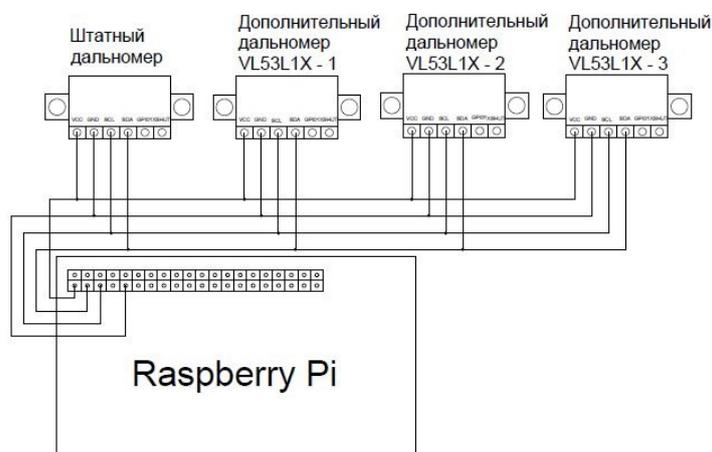


Рис. 1. Принципиальная схема подключения датчиков БАС

Для решения задачи автономной навигации с выполнением сложнотраекторного движения требуется использование определенного типа полетного контроллера с одноплатным компьютером, к которому подключаются лазерные дальномеры и камера [2]. Полетный контроллер обрабатывает команды, полученные от одноплатного компьютера посредством протокола связи mavlink и программного обеспечения контроллера на базе PX4, установленного на борту БАС, и поддерживает стабильность полета квадрокоптера в пространстве. Инерциальные датчики помогают стабилизировать дрон в горизонтальной плоскости. Для идентификации препятствий в автономном режиме с выполнением маневра облета, к одноплатному компьютеру подключаются дополнительные дальномеры, при помощи которых осуществляется поиск препятствий в горизонтальной плоскости относительно БАС (рис. 1).

За счет использования аппаратных компонентов, а также алгоритмов обработки данных с установленных датчиков, появляется возможность обнаружения препятствий с построением альтернативных маршрутов движения автономной БАС.

#### **Библиографический список**

1. Костин, А. С. Автоматизация процесса идентификации объектов при выполнении автономных полетных заданий беспилотной авиационной системой / А.С. Костин, Н.Н. Майоров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 640–646.
2. Костин, А. С. Эксплуатация беспилотных авиационных систем/ Т. Ю. Карпова, А. С. Костин, Н. Н. Майоров. – Учеб.-метод. пособие. – СПб.: ГУАП, 2021. – 169 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ОТНОСИТЕЛЬНО ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ С ПОМОЩЬЮ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

В данной работе рассмотрен способ определения координат беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) самолётно-го типа в интеллектуальной системе автоматической посадки, в состав которой входит система технического зрения. Описан процесс обработки видеоизображения в системах технического зрения с помощью нейронных сетей.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, инфракрасный излучатель, инфракрасная камера.

Посадка – это важный и ответственный этап полёта БПЛА, требующий от оператора больших профессиональных навыков и опыта. Следовательно, ошибки, допускаемые при дистанционном управлении, зависят от человеческого фактора и могут привести к крупным финансовым потерям. Анализ показывает, что часть авиационных происшествий (12 – 15%) с участием БПЛА происходит на этапе посадки, осуществляемой с помощью оператора. Около 40% из них заканчиваются потерями [1]. Наиболее актуальным и современным решением данной проблемы является система технического зрения, использующая нейронные сети для обработки информации, полученной с наземных инфракрасных ориентиров.

**Принцип работы и структура интеллектуальной системы автоматической посадки беспилотного летательного аппарата.** Предлагаемая система автоматической посадки состоит из наземного сегмента, который включает в себя три инфракрасных ориентира, расположенных на взлётно-посадочной полосе в заданной конфигурации, и бортового сегмента, структурная схема и принцип работы которого представлены на рис. 1.

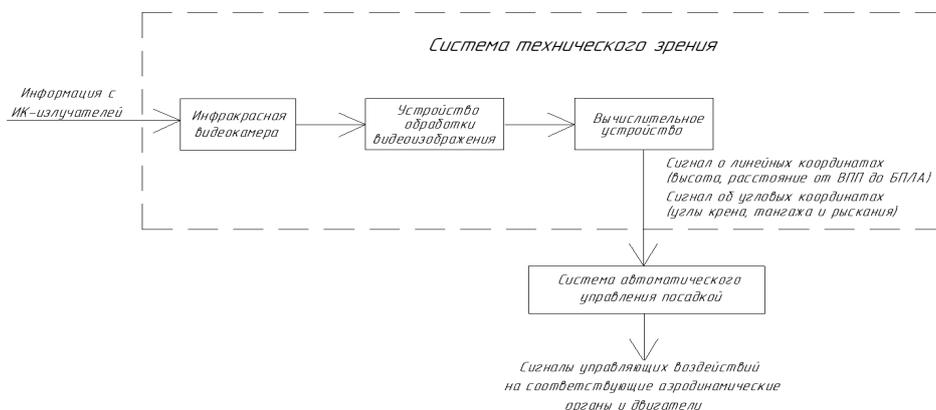


Рис. 1. Структурная схема бортового сегмента интеллектуальной системы автоматической посадки

### Основные этапы обработки видеоизображения нейронной сетью:

1. Предварительная обработка изображения с помощью фильтрации Гаусса. Задача данного этапа – эффективное подавление шума. В результате фильтрации повышается качество распознавания инфракрасных ориентиров и более точно выделяются границы объектов. Функция Гаусса используется для вычисления преобразования, применяемого к каждому пикселю изображения. Формула функции Гаусса в двух измерениях имеет следующий вид [5]:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где  $x, y$  – координаты точки, а  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение нормального распределения.

2. Сегментация изображения. В результате выполнения сегментации изображение разделяется на области, для которых выполняется определенный критерий однородности (какие-либо общие свойства). Для решения задачи распознавания наземных инфракрасных ориентиров предлагается выделять на полученном изображении области с одинаковой яркостью. Именно это и будет являться критерием однородности распознаваемых объектов при обработке видеоизображения. Координаты центра яркости изображения маяка можно вычислить следующим образом (на пример вычисления координаты X) [6]:

$$X = \frac{r \sum R(i, j) * (i - 0.5)}{R} \quad (2)$$

где  $r$  – размер пикселя,  $R(i, j)$  – яркость пикселя в зависимости от номера строки  $i$  и номера столбца  $j$ ,  $R$  – интегральная яркость изображения.

1. Бинаризация изображения. Бинаризация осуществляется для уменьшения количества информации на изображении, с которой в дальнейшем приходится работать. Данный этап заключается в преобразовании исходного изображения сначала в серое, а далее в двухцветное с чёрными и белыми пикселями.

2. Сопоставление образов с эталонами из базы данных.

### Заключение

Таким образом, исследованный способ управления движением беспилотного летательного аппарата при осуществлении посадки отличается автономностью и помехозащищённостью, так как он не предполагает использования спутниковых систем навигации, а также не требуется связь с пунктом управления. Пиксельная обработка изображения по данным многочисленных исследований и разработок позволяет достичь сантиметровой точности.

### Библиографический список

1. А.М. Агеев, В.В. Беляев, В.Г. Бондарев, В.В. Проценко. Системы автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов: проблемы и пути решения // Военная мысль. № 4 – 2020.
2. Агеев, А.М., В.Г. Бондарев, В.В. Проценко. Обоснование выбора источников излучения для системы технического зрения в задаче автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов // Компьютерная оптика. – 2022. – Т.46, № 2. – С.239-245. – DOI: 10.18287/2412-6179-СО-875.
3. Специальные системы. Фотоника. – URL: [https://sphotronics.ru/upload/iblock/a50/ssp\\_dln\\_1550\\_datasheet\\_rus-2](https://sphotronics.ru/upload/iblock/a50/ssp_dln_1550_datasheet_rus-2) (Дата обращения: 15.01.2024).
4. Laser Components. – URL: <https://lasercomponents.ru/product/teplovizionnye-sistemy-i-komplektuyushhie/teplovizory/kamery-swir/kamera-swir-gh-swu3/> (Дата обращения: 15.01.2024).
5. К. В. Иванников, А. В. Гаврилов, А. С. Боев, И. С. Шошин. Способ посадки беспилотного летательного аппарата вертолетного типа с использованием инфракрасной камеры. // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей» | № 3, 2016.
6. В. Г. Бондарев, Д. В. Лопаткин, Д. А. Смирнов. Автоматическая посадка летательных аппаратов // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, 2018, № 2.
7. Исрафилов Х. С. Исследование методов бинаризации изображений. // Вестник науки и образования № 6(30). Том 2. 2017.

*Е. Н. Котликов\**

доктор физ.-мат. наук, профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УЧЕТ ДИССИПАТИВНЫХ ПОТЕРЬ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ

Разработана методика, которая основана на коррекции спектров пленок с учетом диссипативных потерь, характеризующихся коэффициентом поглощения. Коррекция спектров осуществляется путем использования модели поглощающей пленки. Данная методика для позволила получить частотные зависимости оптических констант пленок BaMgF<sub>4</sub>, широко используемых в оптическом приборостроении.

*E. N. Kotlikov\**

Doctor of Phys.-Math. Sc., Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ACCOUNTING FOR DISSIPATIVE LOSSES IN THIN FILMS TO IMPROVE THE ACCURACY OF MEASURING THEIR OPTICAL CONSTANTS

A technique has been developed that is based on the correction of the spectra of films taking into account dissipative losses characterized by the absorption coefficient. The spectra are corrected by using an absorbing film model. This technique has made it possible to obtain the frequency dependences of the optical constants of BaMgF<sub>4</sub> films, which are widely used in optical instrumentation.

**Keywords:** optical constants of thin films, spectrophotometric method

Для поиска оптических констант (ОК) тонких пленок BaMgF<sub>4</sub> автором выбран спектрофотометрический R,T-метод [1,2]. Для решения задачи нахождения ОК пленки BaMgF<sub>4</sub> в широком диапазоне спектра, содержащем ряд полос поглощения, было выбрано направление поиска ОК пленок и материалов проходной оптики, которое базируется на коррекции спектров на поглощение в них с последующим использованием минимизационных методов. Такая коррекция позволяет упростить задачу, поскольку поглощением в спектрах после коррекции можно пренебречь. Таким образом, в предположении, что поглощение равно нулю ( $A=0$ ), при обработке спектров одна переменная полностью исключается, что существенно облегчает задачу поиска ОК известными методами. Коррекция спектров с учетом поглощения происходила в несколько этапов. На первом этапе измерялись спектры подложек. По ним находились коэффициенты экстинкции ( $k_s$ ) и показатели преломления ( $n_s$ ) подложки. На втором этапе учитывается поглощение в пленке. Предположим, нами измерены спектры отражения  $R_{\text{экс}}$  и пропускания  $T_{\text{экс}}$  пленок на подложке. Тогда полное экспериментально найденное поглощение  $A_{\text{экс}}$  может быть определено по формуле:

$$A_{\text{экс}} = 1 - (R_{\text{экс}} + T_{\text{экс}}), \quad (1)$$

где  $R_{\text{экс}}$  – спектр отражения и  $T_{\text{экс}}$  – спектр пропускания. С другой стороны, полное поглощение  $A_{\text{экс}}$  складывается из двух: поглощение в спектре отражения  $A_{fs}^r$  и поглощение в спектре пропускания  $A_{fs}^t$ . Для выражения  $A_{fs}^r$  и  $A_{fs}^t$  через  $A_{\text{экс}}$  вводятся функции коррекции  $f_r$  и  $f_t$ :

$$A_{fs}^r = f_r A_{\text{экс}}; A_{fs}^t = f_t A_{\text{экс}}. \quad (2)$$

Введем спектры пленки  $R_0$  и  $T_0$ , в которой поглощение равно нулю, тогда функции коррекции могут быть выражены через спектры  $R_0$ ,  $T_0$ ,  $R_{\text{экс}}$  и  $T_{\text{экс}}$ :

$$f_r = (R_0 - R_{\text{экс}}) / A_{\text{экс}}; f_t = (T_0 - T_{\text{экс}}) / A_{\text{экс}}. \quad (3)$$

Нахождение  $f_r$  и  $f_t$  является некорректной задачей, поскольку нет однозначной связи оптических констант пленки с коэффициентами отражения и пропускания пленки на подложке. Но если бы удалось каким-либо образом определить  $f_r$  и  $f_t$  то по известным  $R_{\text{экс}}$  и  $T_{\text{экс}}$  можно было бы из (3) легко найти спектры  $R_0$  и  $T_0$ .

Чтобы обойти эту трудность, применим для определения  $f_r$  и  $f_t$  численное моделирование. При этом модель пленки на подложке подберем так, чтобы рассчитанные спектры качественно соответствовали экспериментальным. Толщина пленки  $h_f$  и коэффициент преломления  $n_f$  определяются из экспериментально полученного спектра. Чтобы модель соответствовала реальным спектрам фторидов заложим в нее поглощение в характерных

областях инфракрасного диапазона. В ходе проведенных исследований определены спектры показателей преломления  $n$  и коэффициентов экстинкции  $k$  для тонкой пленки  $BaMgF_4$  в интервале длин волн ИК части оптического диапазона от 1,3 до 27 мкм.

#### Библиографический список

1. Poelman D., Smet P. F. Methods for the determination of the optical constants of thin films from single transmission measurements: a critical review // J. Phys. D: Appl. Phys, 2003. V. 36, pp. 1850–1857.
2. Gao L., Lemarchand F., Lequime M. Comparison of different dispersion models for single layer optical thin film index determination // Thin Solid Films. 2011. № 520. pp. 501–509.

УДК 535.345,

*Е. Н. Котликов\**

доктор физ-мат. наук, профессор

*Н. П. Лавровская\**

канд. физ-мат. н, доцент

*Г. В. Терещенко\**

канд. физ-мат. н, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СИНТЕЗ СВЕТОДЕЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА СПЕКТРА

Описан синтез светоделительных покрытий для поляризованного и неполяризованного излучения в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, которые могут быть использованы в различных оптических системах SWIR диапазона (0,8-3,0 мкм).

**Ключевые слова:** светоделительные покрытия, инфракрасные системы, SWIR диапазон, синтез, спектры пропускания, отражения, поглощения

*E. N. Kotlikov\**

Dr. of Phys. and Math. Sci., Professor

*N. P. Lavrovskaya\**

Ph. D. Phys. and Math., Ass. Prof.

*G.V. Tereshchenko\**

Ph. D. Phys. and Math., Ass. Prof.

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## SYNTHESIS OF BEAM SPLITTERS FOR THE NEAR-IR RANGE OF THE SPECTRUM

The synthesis of beam-splitting coatings for polarized and unpolarized radiation in the near infrared range of the spectrum, which can be used in various optical systems of the SWIR range (0.8-3.0) microns, is described in this paper.

**Keywords:** beam-splitting coatings, infrared systems, SWIR range, synthesis, transmission, reflection, absorption spectra.

В настоящее время инфракрасные системы получили широкое применение при решении различных практических задач тепловидения в промышленности, медицине и научных исследованиях. В тепловидении широко используется коротковолновый диапазон SWIR (0,8-3,0 мкм), в котором возможен прием отраженного света от Солнца, звезд, а также других искусственных источников, в том числе лазеров. Для реализации оптических систем в этом диапазоне требуются светоделители, обеспечивающие одинаковое пропускание и отражение для поляризованного и неполяризованного излучения [1-3]. В работе описан синтез светоделительных покрытий для поляризованного и неполяризованного излучения в диапазоне (0,8-3,0) мкм, которые могут быть использованы в указанных системах.

С использованием программы «FilmAnalysis» [4]. были синтезированы структуры светоделительных покрытий на подложке из кварца, синтез проводился в несколько этапов. На первом этапе синтезировались пяти-слойные структуры с произвольными значениями показателей преломления пленок и их толщин. Полученная структура имела вид

$$П(1,378[1,580])(0,041[3,778])(1,157[2,096])(1,152[3,966])(0,061[3,967])(0,219[1,501])В, \quad (1)$$

где первая цифра в круглых скобках задает толщину пленки в долях  $\square_0/4$  ( $\square_0=1$  мкм), цифра в квадратных скобках задает показатель преломления пленки. П-подложка из кварца, В –воздух.

На рис. 1 представлены спектры пропускания этой структуры. Кривые 1 и 2 пропускание неполяризованного излучения при нормальном падении и падении под  $45^\circ$ . Кривая 3-пропускание поляризованного (P – поляризация) света при падении под углом  $45^\circ$ . Кривая 4-пропускание поляризованного (S – поляризация) света при падении под углом  $45^\circ$ .

Добиться одинакового пропускания для S и P поляризаций в принципе невозможно, так как комплексный показатель преломления пленки входит в числитель или знаменатель в матрице, описывающей одиночную пленку [5] в зависимости от типа поляризации.

На следующем этапе проводился синтез покрытия с реальными значениями показателей преломления и поглощения известных пленок. Для этого найденные значения толщин и показателей пленок заменялись на реальные значения в имеющейся базе данных пленок программы [4] и проводился синтез покрытия.

Оптимальная структура для пропускания неполяризованного излучения имела вид

$$П(1.709 PbF_2)(1.009 Ge)(0.181 ZnS)(0.726 PbF_2)В. \quad (2)$$

Здесь первая цифра в круглых скобках задает толщину пленки в долях  $\square_0/4$  ( $\square_0=1$  мкм), второе значение задает материал пленки. П-подложка из кварца, В –воздух.

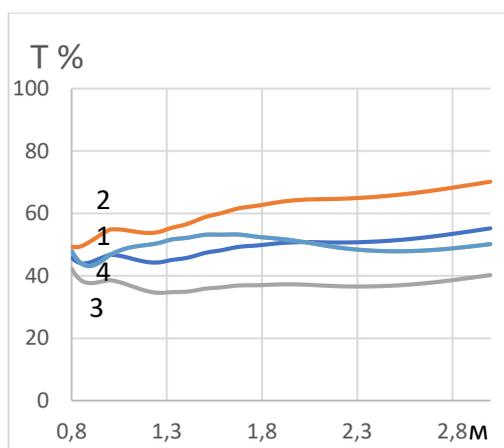


Рис. 1. Спектры пропускания структуры

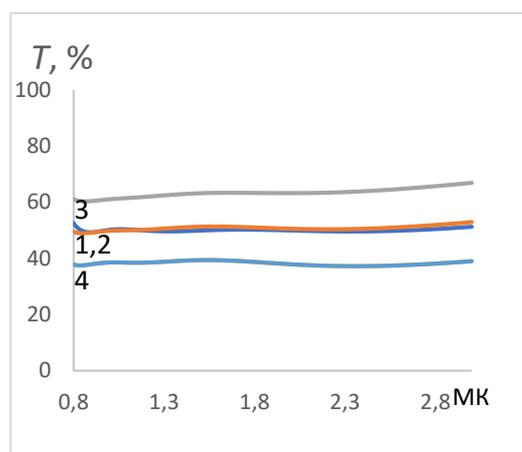


Рис. 2. Спектры пропускания структуры на первом этапе синтеза на основе реальных пленок

Спектры пропускания этой структуры для поляризованного и неполяризованного света приведены на рисунке 2. 1 – нормальное падение, 2 – S поляризация, 3 – P поляризация, 4 – неполяризованный свет при угле падения  $45^\circ$ . Как было показано выше, получить одинаковые значения пропускания невозможно. Реально пропускание для S и P поляризаций различается на  $\pm 15\%$ .

Заключение. В работе рассмотрена методика синтеза светоделительных покрытий для поляризованного и неполяризованного излучения при его падении под нормальным углом и углом  $45^\circ$ . Синтезированы покрытия светоделителей, в которых может использоваться неполяризованный и поляризованный свет, падающий под углами менее 45 градусов. Отличие в пропускании всех поляризаций не превышает 15%. Реально поляризация излучения в проходящем в рабочей структуре света менее 100%. Это означает, что разность пропускания (отражений) для всех случаев менее 15%.

#### Библиографический список

1. Фомин Ф. В. Современное состояние и перспективы развития зарубежных ИК-систем. Под ред. Н. Н. Вилковой. – Москва: ЗАО «МНИТИ», 2018. – 35 с.
2. Справочник технолога – оптика. Справочник под общ. ред. М. А. Окатова. СПб.: Политехника. 2004. 679 с.
3. Котликов, Е. Н., Прокашев В. Н., Хонинев А. Н., Хонинева Е. В. Синтез светоделительных покрытий // Оптический журнал. – 2001, Т. 68, №8. С. 49–53.
4. Котликов Е. Н., Котликов А. Н., Юрковец Е. В. Программа анализа оптических спектров пленок «FilmAnalysis», свидетельство о регистрации РФ №2018611718 от 6.12.2018.
5. Борн, М., Вольф Э. Основы оптики. Пер. с англ. под ред. Г.П. Мотулевич М.: Наука. 1970. 856 с.

*Н. С. Красенков\**

Аспирант

*Ю. П. Иванов\**

Кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФИНИТНО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ И ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА

Проведен исследовательский анализ оптимальной финитно-временной фильтрации с обратной связью и фильтрации Калмана для дискретного результата измерения по характеристикам точности, робастности и помехозащищенности.

**Ключевые слова:** финитно-временная обработка, обратная связь, фильтр Калмана, робастность, помехозащищенность, точность.

*N. S. Krasnenkov\**

Graduate student

*Y. P. Ivanov\**

PhD. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF KALMAN FINITE-TIME PROCESSING AND FILTERING METHOD

A research analysis of optimal time-finite filtering with feedback and Kalman filtering for a discrete measurement result was carried out according to the characteristics of accuracy, robustness and noise immunity.

**Keywords:** finite-time processing, feedback, Kalman filter, robustness, noise immunity, accuracy.

В настоящее время широко используются методы фильтрации сигналов на основе фильтра Калмана, которые имеют множество преимуществ [1]. Однако фильтрация Калмана также обладает некоторыми недостатками:

- 1) требования, чтобы полезный сигнал обладал свойством марковости, что ограничивает его универсальность в методе обработки;
- 2) наличие обратной связи при изменении входных данных может вызвать нестабильную работу алгоритма, что приводит к снижению робастности и помехоустойчивости;
- 3) использование модели помехи в виде белого шума или коррелированного случайного процесса не обеспечивает универсальности;
- 4) для работы алгоритма фильтрации Калмана необходимо иметь большой объем входных данных, содержащих информацию о модели сигнала и распределении помех измерения;
- 5) для правильной работы алгоритма фильтрации Калмана необходимо решить нелинейное уравнение Риккати.

Для исправления недостатков фильтра Калмана был разработан новый финитно-временной метод оптимальной оценки измерительной информации на основе теоремы ортогонального проецирования, с использованием обратной связи [2, 3]. Этот метод является универсальным, поскольку может обрабатывать как коррелированные, так и некоррелированные погрешности моделей измерения. Он также оптимален с точки зрения среднеквадратичной ошибки оценки на конечном временном интервале и прост в реализации алгоритмов для его обработки. Более того, он не требует представления в пространстве состояний сигналов, и совпадает по точности с фильтром Калмана.

Таким образом, возникла необходимость в исследовании финитно-временной обработки с обратной связью и фильтром Калмана с целью сравнения по характеристикам точности, робастности и помехозащищенности.

Сравнительный анализ был рассмотрен на примере следующей модели измерения:  $Y_i = X_i + N_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $Y_i$ ,  $X_i$  – стационарные, гауссовские, эргодические, центрированные, в общем случае не Марковские случайные процессы;  $N_i$  – аддитивная погрешность измерения.

В результате сравнительного анализа было установлено, что точность финитно-временного с обратной связью метода обработки асимптотически приближается к точности фильтра Калмана с увеличением выборки, что видно на графике ниже.

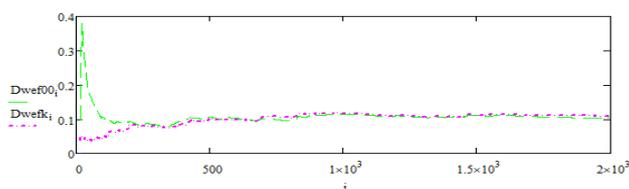


Рис. 1. График зависимости дисперсий ошибок оценок исследуемых методов обработки полезного сигнала от выборки.  $Dwef00$  – финитно-временная обработка с обратной связью;  $Dwefk1$  – фильтр Калмана

Финитно-временная обработка с обратной связью так же оказалась робастна по 6 параметрам. Тогда как фильтр Калмана робастен по 5 параметрам.

Финитно-временная обработка с обратной связью оказалась помехозащищена по 2 параметрам. Тогда как фильтр Калмана так же помехозащищен по 2 параметрам. При этом наибольшей помехозащищенностью обладает именно фильтрация Калмана.

Таким образом, был сделан вывод, что исследуемая финитно-временная обработка с обратной связью обладает более высокой робастностью и менее высокой помехозащищенностью по отношению к фильтру Калмана, а точность обработки данных не уступает традиционной Калмановской фильтрации.

#### **Библиографический список**

1. Иванов Ю. П. Рекуррентный оптимальный метод фильтрации произвольных дискретных сигналов на фоне коррелированных помех измерения. Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем // Сборник докладов Третьей Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург. 2022. С. 27–32.

2. Иванов Ю. П. Универсальный финитно-временной оптимальный метод фильтрации дискретных сигналов информационно-измерительных систем // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 5. С. 11–17. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-5-11-17.

3. Иванов Ю. П. Исследование финитно-временного оптимального метода оценки сигналов с обратной связью / Ю. П. Иванов, А. А. Кузнецов. – Текст : электронный // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии. – Сборник докладов Первой Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2020. – С. 42–47.

*А. Ф. Крячко\**

д. т. н., профессор

*М. Е. Невейкин\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ НА РЕАЛЬНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Для анализа снижения реальной эффективности адаптивной антенной решетки относительно потенциально достижимой вследствие ошибок в значениях вектора весовых коэффициентов использована нормированная характеристика эффективности. Получены выражения, позволяющие задавать требования к каналу передачи вычисленных значений вектора весовых коэффициентов, исходя из допустимых потерь эффективности адаптивной антенной решетки.

**Ключевые слова:** адаптивная антенная решетка, вектор весовых коэффициентов, эффективность, шумовая помеха.

*A. F. Kryachko\**

Dr. Sc. Tech., Prof.

*M. E. Neveykin\**

PhD, Tech., Associate Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## THE EFFECT OF ERRORS IN CALCULATING WEIGHT MULTIPLIERS ON THE REAL EFFICIENCY OF THE ADAPTIVE ANTENNA ARRAY

To analyze the decrease in the real efficiency of the adaptive antenna array relative to the potentially achievable one due to errors in the values of the vector of weighting coefficients, a normalized efficiency characteristic was used. Expressions are obtained that make it possible to set the requirements for the transmission channel of the calculated values of the vector of weighting coefficients, based on the permissible efficiency losses of the adaptive antenna array.

**Keywords:** adaptive antenna array, vector of weight coefficients, efficiency, noise interference.

Одной из основных причин снижения реальной эффективности адаптивной антенной решетки (ААР) относительно потенциально достижимой [1] является неточность задания исходных данных и конечная точность вычислителя, приводящая к появлению ошибок в значениях вектора весовых коэффициентов (ВВК).

Возможны несколько подходов к исходным допущениям, в частности, статистическая зависимость или независимость показателей эффективности ААР.

Независимость величины отношения уровня полезного сигнала к суммарной мощности помех на выходе  $V = P_{\text{свых}} / P_{\text{(сумм)вых}}$  от случайных ошибок физически означает, что к выходу сумматора ААР подключен полосовой фильтр, сглаживающий флуктуации выходных уровней сигнала и помех, вызываемых наличием случайных неточностей в исходных данных. Такой подход не является справедливым при низкой инерционности исполнительных устройств выставления ВВК. В этом случае показатель  $V$  оказывается функционально связанным с ошибками вычисления значений ВВК.

Для анализа эффективности ААР определим нормированную характеристику эффективности ААР, определяемую как

$$\eta_{\text{cp}}(\sigma_{\Delta W}^2) = V_{\text{cp}}(W_{\text{opt}}, \sigma_{\Delta W}^2) / V_{\text{max}},$$

где  $W_{\text{opt}}$  – оптимальная ВВК;  $\sigma_{\Delta W}^2$  – дисперсия вектора ошибок ВВК;  $V_{\text{cp}}$  и  $V_{\text{max}}$  – среднее и максимальной значения коэффициента  $V$  соответственно.

Тогда для ВВК, оптимального по критерию максимума отношения сигнал/шум имеем

$$\eta_{\text{cp}}(\sigma_{\Delta W}^2) = \mathbf{h}_c^T \mathbf{M}^{-1} \mathbf{h}_c / L - \sigma_{\Delta W}^2 \left[ \sum_{j=1}^J p_{nj} + 1 - 1/\mathbf{h}_c^T \mathbf{M}^{-1} \mathbf{h}_c \right], \quad (1)$$

где  $\mathbf{h}_c$  – вектор направленности для источника сигнала;  $\mathbf{M}$  – ковариационная матрица суммарных помех на выходе элементов ААР;  $L$  – число элементов ААР;  $J$  – число внешних помех;  $p_{nj} = P_{nj} / P_{\text{ш}}$ ;  $P_{nj}$  – мощность помех на выходе элемента ААР.

Нетрудно показать, что при попадании достаточно мощных помех в область боковых лепестков ААР выражение (1) упрощается

$$\eta_{\text{cp}}(\sigma_{\Delta W}^2) = 1 - \sigma_{\Delta W}^2 \sum_{j=1}^J p_{\text{ц}j}. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) позволяют, в частности, задавать требования к каналу передачи вычисленных значений ВВК, исходя из допустимых потерь эффективности ААР.

#### **Библиографический список**

1. Родимов А. П., Поповский В. В., Попов А. С. Синтез и анализ алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов и помех с использованием марковской модели флуктуации весовых коэффициентов антенной решетки // Радиотехника и электроника. Т. 28. № 6. 1982. С. 11–17.

*О. С. Лебеденко\**

к.т.н., региональный представитель

\*Accurate Sales & Services Pvt. Ltd., Республика Индия

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЯМ

Рассмотрены некоторые новые подходы к измерениям, такие как цифровизация измерений, неопределенность измерений, геометрические размеры и допуски, анализ измерительных систем и статистический контроль процессов.

**Ключевые слова:** цифровизация, неопределенность измерений, GD&T, MSA, SPC.

*O. S. Lebedenko\**

Ph. D. Tech., Regional representative

\*Accurate Sales & Services Pvt. Ltd., Republic of India

## NEW APPROACHES TO MEASUREMENTS

Some new approaches to measurements such as measurements digitalisation, measurements uncertainty, geometrical dimensions and tolerances, measurement systems analysis and statistical process control are considered.

**Keywords:** digitalisation, measurements uncertainty, GD&T, MSA, SPC.

За последние несколько десятилетий появилось много международных стандартов, регламентирующих выбор средств измерений, расчет неопределенности измерений, обозначение геометрических размеров и допусков на чертежах и другие вопросы, касающиеся измерений, нацеленных на то, чтобы сделать измерения более достоверными и однозначными. Многие из этих стандартов приняты в нашей стране. Однако применяются они очень ограниченным числом предприятий.

Это связано, с одной стороны, с добровольностью применения тех или иных стандартов и неочевидностью для предприятий преимуществ от их принятия, а с другой стороны – сложностью их внедрения, особенно на крупных предприятиях. При этом на многих предприятиях существуют проблемы с качеством продукции после механической обработки, разными результатами измерений, получаемых операторами станков и контролерами, с собираемостью изделий из компонентов, признанных годными, и их рабочими характеристиками после сборки. Многие из этих проблем можно решить после внедрения современных подходов к измерениям.

К новым можно отнести следующие подходы к измерениям: цифровизация измерений, учет неопределенности измерений, анализ измерительных систем (MSA), концепция GD&T: геометрические размеры и допуски, статистическое управление производственными процессами (SPC).

Цифровизация измерений – довольно широкое понятие и может включать в себя как использование цифровых средств измерений и измерительных систем, так и использование программного обеспечения для обработки измерений, а также других цифровых технологий, включая проводную и беспроводную передачу данных и объединение всех средств измерений в единую сеть для обеспечения концепции Качество 4.0 как составной части Индустрии 4.0. Это довольно широкая тема и требует отдельного рассмотрения. Однако даже если рассмотреть только сами цифровые средства измерений, то они обладают многими преимуществами по сравнению с аналоговыми (шкальными). Это, как правило, более высокая точность, более высокая однозначность и безошибочность при съеме показаний, меньшее количество механических компонентов, более высокая надежность и другие преимущества.

Тема неопределенности измерений на Западе внедрена повсеместно, от национальных метрологических институтов до предприятий-изготовителей конечной продукции. В нашей стране эта тема также внедряется на разных уровнях, но пока используется в очень малой степени, в особенности на предприятиях, занимающихся мехобработкой. У нас до сих пор ведутся дискуссии и даже споры о необходимости внедрения данного подхода к измерениям. Часто на предприятиях, при принятии решения о выборе средств измерений, используется только понятие погрешности средства измерений без учета условий самих измерений. А факторов и объектов, влияющих на процесс измерений, может быть достаточно много: оператор, сам объект измерения, методика измерения, окружающая среда, параметры средства измерений и др. Для визуализации основных источников неопределенности измерений часто используют диаграмму, известную под названием диаграммы Исикавы или «Скелет рыбы».

Применение подхода с выявлением неопределенности измерений предоставляет следующие преимущества: исключает применение недостоверных результатов измерений, повышает качество машиностроительной продукции, обеспечивает управление качеством изготовления продукции, позволяет расширить приёмочные границы за счёт пересчёта неопределённости, повышает ответственность технологов и метрологов за достоверность результатов измерений, кроме того, неопределенность измерения обеспечивает единый в мировой практике подход к обеспечению достоверности измерений, позволяет анализировать и сравнивать различные методики измерений [1].

Анализ измерительных систем (MSA) – это метод, призванный дать заключение относительно приемлемости используемой измерительной системы через количественное выражение её характеристик. Анализ изме-

рительных систем используется для минимизации риска того, что несоответствие элементов измерительной системы приведёт к ложным решениям при контроле продукции и к излишнему регулированию процесса. Целью анализа измерительной системы является обеспечение достоверности измерений посредством подтверждения её пригодности [2]. Существует несколько методик анализа измерительных систем, изложенных в соответствующих документах (собственно MSA, GUM "Руководство по выражению неопределенности измерения", ГОСТ 34100.1-017). Использование данного подхода позволяет выбрать правильное средство измерения, соответствующего конкретной измерительной задаче с учетом допусков и характеристик данного средства измерения.

Традиционный подход к обозначению размеров и допусков на чертежах не гарантирует сопрягаемость и надлежащее функционирование деталей после их соединения в узел или агрегат. Концепция GD&T при назначении геометрических размеров и допусков предполагает учет собираемости изготавливаемых деталей в сборку в процессе производства каждой детали. Первоначально она была изложена в американском стандарте ASME Y14.5. Затем она была принята в Европе как ИСО 1101, а также и в нашей стране как ГОСТ Р 53442-2015. Концепция GD&T – это система обозначения размеров и допусков механических деталей. Она позволяет узнать на 100%, что отдельные детали будут сопрягаться и функционировать на уровне сборки. Это система более мощная, чем традиционная система обозначения размеров и допусков «плюс-минус». В этой системе есть свой словарь, свои определения, правила и символы. Но эта система работает только тогда, когда все: и конструкторы, и технологи и станочники ее используют [3].

Статистическое управление процессами (англ. statistical process control (SPC)) – метод мониторинга производственного процесса с использованием статистических инструментов с целью управления качеством продукции «непосредственно в процессе производства» [4]. Этот метод позволяет контролировать не готовую деталь по факту ее изготовления, а непосредственно производственный процесс, выявлять как обычные, так и особые причины его изменчивости. Так называемые особые причины изменчивости процесса возникают от причин, которые можно устранить без больших капиталовложений. Их необходимо выявлять и устранять. Применительно к механической обработке такими причинами могут быть вибрации от другого оборудования, плохое состояние обрабатываемого центра, отклонения температуры и др. Стабильный процесс с устраненными особыми причинами изменчивости позволяет предотвратить появление брака продукции после механической обработки. Данный метод широко используется во всем мире, в особенности в автомобильной промышленности.

Безусловно, все вышеупомянутые подходы требуют более подробного рассмотрения, чтобы понять их преимущества и необходимость применения на конкретном предприятии. Но их внедрение действительно может помочь предприятиям решить множество проблем, связанных с измерениями и с браком продукции после механической обработки.

#### **Библиографический список**

1. Вебинар Неопределенность измерений – достоверность результатов измерений [Электронный ресурс]: Канал Представительства Mahr GmbH на YouTube. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=VN4bhOFZjdU>.
2. MSA [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MSA> (дата обращения: 21.21.2023). Wikipedia.
3. What is GD&T in 10 Minutes [Электронный ресурс]: Канал на YouTube «Straight To The Point Engineering». – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=P5GT9ZSRY10>.
4. ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012). Геометрические характеристики изделий. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.
5. Статистическое управление процессами [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Статистическое\\_управление\\_процессами](https://ru.wikipedia.org/wiki/Статистическое_управление_процессами) (дата обращения: 21.21.2023). Wikipedia.

**Я. Я. Левин\***

к. т. н, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫМ СИГНАЛОМ ТИПА ФРАКТАЛЬНОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА

Исследованы энергетические, спектральные и корреляционные свойства сигналов типа фрактальный гауссовый шум генерируемых с использованием дискретной модели Манделброта.

**Ключевые слова:** генератор хаотических колебаний, псевдослучайное колебание, фазовая траектория, спектр, фрактал.

**Y. Y. Levin\***

Ph. D., associate professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS WITH PSEUDORANDOM SIGNAL OF FRACTAL GAUSSIAN NOISE TYPE

Energy, spectral and correlation properties of signals of fractal Gaussian noise type generated using discrete Mandelbrot model are investigated.

**Keywords:** chaotic oscillation generator, pseudorandom oscillation, phase trajectory, spectrum, fractal.

Анализ данных [1] показывает, что проводятся систематические исследования генераторов хаотических колебаний, математической моделью которых являются системы нелинейных уравнений с квадратичными, кубическими и нелинейностями более высоких порядков. Схемотехническая реализация таких систем требует использования аналоговых умножителей, что является достаточно дорогостоящей технологией. Другим методом генерирования сложных колебаний является использование в колебательных контурах радиотехнических элементов с кусочно-линейными характеристиками, отдельные участки которых имеют отрицательное сопротивление. Отрицательное сопротивление обеспечивается использованием особых электронных приборов, использующих явление токового отражения и называются current-to-voltage converter.

В зависимости от количества точек излома в вольт-вольтовой характеристике нелинейного элемента система генерирует хаотическое колебание, характеризующиеся аттракторами с различными по своей сложности структурами – от одновиткового до многовиткового, что сопоставимо с системами высшего порядка, например, системой Лю. Проведены исследования систем с различными типами нелинейных характеристик – квадратичной (система четвертого порядка Лю), генераторов Чуа и кольцевых с трех- и пятисегментными характеристиками. Фундаментальной особенностью систем с псевдослучайными колебаниями является существование аттрактора в виде фрактального множества точек фазового пространства, к которому направляются фазовые траектории системы с развитием во времени.

Для структуры цифровых устройств наибольшее значение имеет информационная надежность – способность выполнять свои функции при различных ошибках данных и сбоях. Она обеспечивается методами кодирования информации (избыточного и без избыточного), когда кодированные сигналы имеют свойства обнаружения, а иногда и исправления ошибок. Корректирующая способность кода количественно определяется вероятностью обнаружения или исправления ошибок различных типов. Для контроля правильности функционирования цифровых устройств применяют различные виды помехоустойчивых кодов, позволяющие в сочетании со специальными схемами обнаружения ошибок отслеживать правильность функционирования устройства.

Надежность обработки информации делят на аппаратную, алгоритмическую и информационную. Надежность отдельных элементов определяется уровнем развития технологии. Поэтому решение проблемы создания высоконадежных цифровых устройств на базе уже существующих элементов является введение информационной избыточности. Аппаратная надежность обеспечивается аппаратной избыточностью (статической и динамической), а именно резервированием на уровне отдельных схем и устройств.

### Библиографический список

1. Дмитриев А. С., Кузьмин Л. В., Панас А. И., Пузиков Д. Ю., Старков С. О. Прямохаотические системы связи // Успехи современной радиоэлектроники. – 2003. – № 9. – с.40–55.
2. Федер Е. Фракталы: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
3. Левин Я. Я. Особенности применения сигналов типа фрактальный гауссовский шум в телекоммуникационных системах. // Радиотехника – 2023. – т.87. – № 6, С. 41–50.

*С. Н. Лисовенко*

Студент

*Е. П. Виноградова*

Старший преподаватель

**ВЫБОР ДОПУСКОВ И РАСЧЕТ ПОСАДОК ДЛЯ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА**

В ходе этой работы будут выбраны допуски на размеры и расчет посадок для червячного редуктора.

**Ключевые слова:** червячный редуктор, расчет посадок, допуск.

*S. N. Lisovenko*

Student

*E. P. Vinogradova*

Senior Lecturer

**SELECTION OF TOLERANCES AND CALCULATION OF FITS FOR A WORM GEAR REDUCER**

During this work, tolerances for dimensions and calculations of fits for a worm gear reducer will be selected.

**Keywords:** worm gear reducer, calculation of fits, tolerance.

В данном редукторе могут быть представлены подшипники типов 27308 и 7212 (конический). Параметр шероховатости Ra посадочных поверхностей под подшипники на валах для подшипников класса точности 6 не должен превышать 0,63 мкм.

Таблица 1

**Выбор допусков на размеры, степеней и классов точности для червячного редуктора**

Шпонки	Предельные отклонения ширины – P9 Предельные отклонения высоты – P11 Шероховатость поверхности – Ra 3,2 Шероховатость дна паза – Ra 6,3
Манжеты	Предельные отклонения по наружному диаметру: $62^{+0.4}_{+0.2}$ Некруглость – не более 0,35 мм Предельные отклонения высоты – $\pm 0,3$ мм Разностенность – не более 0,3 мм Предельные отклонения по наружному диаметру: $85^{+0.4}_{+0.2}$ Некруглость – не более 0,35 мм Предельные отклонения высоты – $\pm 0,3$ мм Разностенность – не более 0,3 мм

Для шариковых подшипников установлены следующие классы в порядке повышения точности: 8, 7, нормальный, 6, 5, 4, Т, 2. Класс точности подшипников – 6-ой. Параметр шероховатости Ra посадочных поверхностей под подшипники на валах для подшипников класса точности 6 не должен превышать 0,63 мкм.

Допуски формы посадочных мест валов не должны превышать следующих значений:

- допуск круглости – 3,5 мкм;
- допуск профиля продольного сечения – 3,5 мкм;
- допуски непостоянства диаметра в поперечном сечении – 7 мкм;
- допуски непостоянства диаметра в продольном сечении – 7 мкм.

Для крышек предельные отклонения высоты центрирующей поверхности – + IT14 / 2 Поле допуска отверстия под манжету – H8. Поля допусков диаметров центрирующих поверхностей глухих крышек и крышек с отверстием по манжете соответственно – d11, h9. (ГОСТ 18514-73).

Для неуказанных предельных отклонений используется ГОСТ 30893.1–2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками». Неуказанными предельными отклонениями называют такие отклонения, которые не показаны непосредственно после номинальных размеров на чертеже, но оговорены общей записью в технических требованиях чертежа. Такие отклонения используются для размеров низкой точности – размеров несопрягаемых поверхностей в неотчетливых соединениях Стандарт отдает предпочтение симметричным отклонениям. В курсовой работе допуски установлены по точному классу

## Расчет посадок

Под системой допусков и посадок в технике понимается построенная на основании определенных закономерностей совокупность предельных отклонений размеров деталей и стандартизованных допусков, а также посадок, образуемых имеющими стандартные предельные отклонения валами и отверстиями. Согласно стандартам, при конструировании и изготовлении деталей можно использовать как систему вала, так и систему отверстия.

В системе вала для всех посадок заданного класса предельные размеры вала одинаковы. Создание посадок происходит исключительно за счет того, что изменяются предельные размеры отверстия. В системе отверстия все происходит с точностью до наоборот.

Разработчики выбирают систему вала или систему отверстия в зависимости от того, какие именно технологические, конструктивные и экономические требования предъявляются к изделию.

### Посадки подшипников

В заданном редукторе установлено один вид подшипников: шарикоподшипники и роликовые радиально-упорные подшипники.

При выборе посадок руководствуемся ГОСТ 3325-85 «Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки».

Посадка подшипников представлена на рис. 1 и 2.

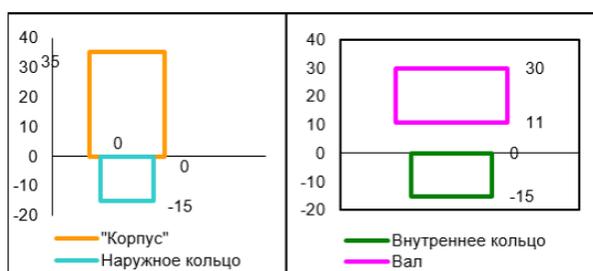


Рис. 1. Посадка подшипников

Переходная посадка:  $\varnothing 110 \frac{H7^{+0.035}}{I6^0_{-0.015}}$ ;  $S_{\max} = 0.05$ ;  $S_{\min} = 0$

Посадка с натягом:  $60\varnothing \frac{L0^0_{-0.015}}{m6^{+0.030}_{+0.011}}$ ;  $N_{\max} = es - EI = 0.03 + 0.015 = 0.045$ ;  $N_{\min} = ei - ES = 0.11 - 0 = 0.11$ .

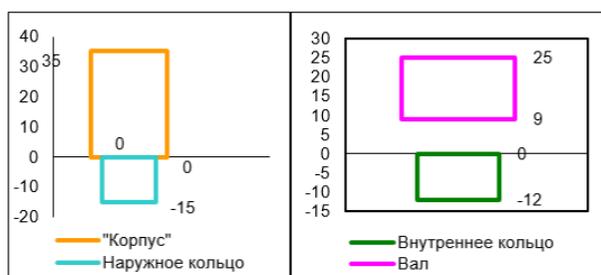


Рис. 2. Посадка подшипников

Переходная посадка:  $\varnothing 90 \frac{H7^{+0.035}}{I6^0_{-0.015}}$ ;  $S_{\max} = 0.05$ ;  $S_{\min} = 0$

Посадка с натягом:  $40\varnothing \frac{L0^{0.025}}{m6^0_{-0.012}}$ ;  $N_{\max} = es - EI = 0 - 0.009 = -0.009$ ;  $N_{\min} = ei - ES = -0.012 - 0.025 = -0.037$ .

### Посадка крышки в корпус

Торцовые поверхности крышек свободны и не используются в качестве базовых для установки подшипников, их основное назначение – закрывать отверстие в корпусе, соответственно, точное центрирование таких крышек по отверстию корпуса не требуется.

Таким образом, поле допуска центрирующей поверхности глухой крышки принимаем d11 согласно ГОСТ 18511-73, а поле допуска центрирующей поверхности крышки с отверстием под манжету принимаем h9 согласно ГОСТ 18512-73.

Нам необходимо получить посадку в системе отверстия, поэтому поле допуска для корпуса берем H8.

Посадка глухой крышки в корпус представлена на рис. 3.

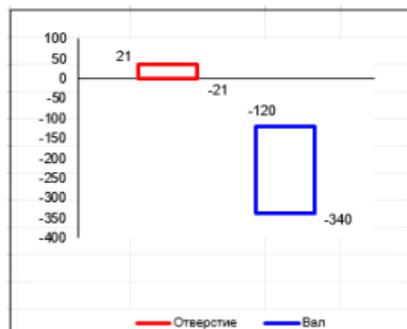


Рис. 3. Посадка крышки в корпус

Посадка с зазором:  $\varnothing 110 \frac{H7_0^{+0.035}}{d11_{-0.34}^{-0.12}}$ ;  $S_{\max} = ES - ei = 0.035 + 0.34 = 0.375$ ;  $S_{\min} = EI - es = 0 + 0.12 = 0.12$ .

Посадка полумуфты на вал представлена на рис. 4.

#### Посадка полумуфты на вал

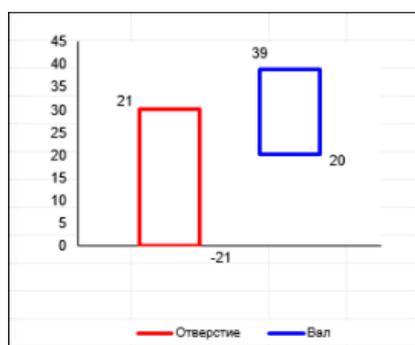


Рис. 4. Посадка полумуфты на вал

Посадка переходная:  $\varnothing 55 \frac{H7_0^{+0.03}}{n6_{-0.02}^{-0.039}}$ ;  $S_{\max} = ES - ei = 0.01$ ;  $N_{\max} = EI - es = 0.039$ .

#### Посадка манжеты в крышку

Согласно ГОСТ 8752-79, поля допусков вала и отверстия равны соответственно h10 и H9. Посадка манжеты в крышку представлена на рис. 5.

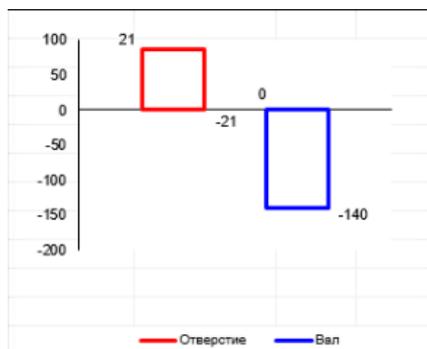


Рис. 5. Посадка манжеты в крышку

Посадка с зазором:  $\varnothing 85 \frac{H9_0^{+0.087}}{h10_{-0.14}^0}$ ;  $S_{\max} = ES - ei = 0.087 + 0.14 = 0.227$ ;  $S_{\min} = EI - es = 0 - 0 = 0$ .

Посадка с зазором:  $\varnothing 62 \frac{H9_0^{+0.074}}{h10_{-0.12}^0}$ ;  $S_{\max} = ES - ei = 0.074 + 0.12 = 0.194$ ;  $S_{\min} = EI - es = 0 - 0 = 0$ .

### Посадки для шпоночного соединения

Стандартом установлены поля допусков по ширине шпонки и шпоночных пазов для свободного, нормального и плотного соединения. Примем нормальное соединение для шпонок на концах валов, а для шпонки на колесе – плотное, для которого следует:

Поле допуска на ширину шпонки – b10

Поле допуска на ширину паза на валу при нормальном соединении – N9

Поле допуска на ширину паза на валу при плотном соединении – P9

Посадка шпонки на конце входного вала (плотное соединение) представлена на рис. 6.

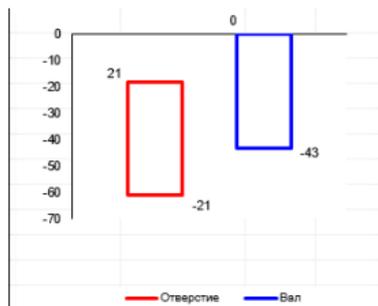


Рис. 6. Посадка шпонки на конце входного вала (плотное соединение)

Посадка в системе вала:  $\varnothing 16 \frac{P9^{-0.018}}{h9^0_{-0.043}}$ ;  $N_{\max} = es - EI = 0 - (-0.061) = 0.061$ ;  $S_{\max} = ES - ei = -0.018 - (-0.043) = 0.025$ .

Посадка шпонки на ступицу вала (плотное соединение) представлена на рис. 7.

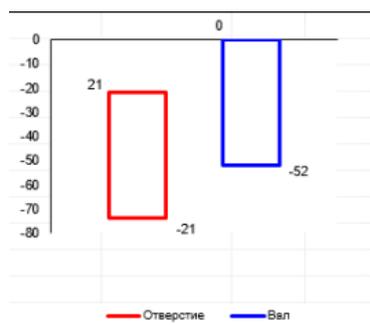


Рис. 7. Посадка шпонки на ступицу вала (плотное соединение)

Посадка в системе вала:  $\varnothing 14 \frac{P9^{-0.022}}{h9^0_{-0.052}}$ ;  $N_{\max} = es - EI = 0 - (-0.074) = 0.074$ ;  $S_{\max} = ES - ei = -0.022 - (-0.052) = 0.030$ .

### Посадка ступицы на вал

Ступица – центральная часть детали с отверстием (зубчатого колеса в нашем случае) для насадки на вал. Отверстие ступицы имеет шпоночный паз.

В этой посадке должно выполняться условие гарантированного натяга отверстия ступицы диаметром на валу.

Посадка ступицы на вал представлена на рис. 8.

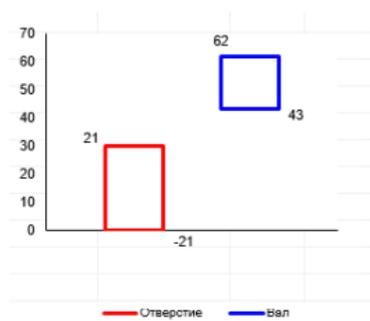


Рис. 8. Посадка ступицы на вал

Посадка с натягом:  $\varnothing 44 \frac{H7_0^{+0.030}}{r6_{+0.043}}$ ;  $N_{\max} = es - EI = 0,062 - 0 = 0,062$ ;  $N_{\min} = ei - ES = 0,043 - 0,030 = 0,013$ .

В результате данной работы были определены оптимальные допуски и выполнен точный расчет посадок для червячного редуктора. Это обеспечит повышенную точность и надежность работы устройства, что является ключевым для его эффективного применения в промышленности.

#### Библиографический список

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
2. Вешкурцев В. И. Вязкова Л. П. Мальцев Л. В. Посадки основных деталей редукторов. – Екатеринбург, 2005.

*С. Н. Лисовенко*

Студент

*Е. П. Виноградова*

Старший преподаватель

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НА СТАДИИ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА

В данной работе проводится анализ надежности измерительного устройства на этапе эскизного проектирования. Рассматриваются основные компоненты, такие как резисторы, термисторы, транзисторы, диоды, их интенсивность отказов и среднее время восстановления. Применяются формулы для расчета общих показателей надежности: наработка на отказ, вероятность безотказной работы, среднее время восстановления. Демонстрируется применение этих методов для проектирования надежного измерительного устройства.

**Ключевые слова:** надежность измерительных устройств, методы расчета надежности, компоненты электроники.

*S. N. Lisovenko*

Student

*E. P. Vinogradova*

Senior Lecturer

## CALCULATION OF THE RELIABILITY INDICATOR OF A MEASURING DEVICE AT THE DESIGN STAGE

This work conducts an analysis of the reliability of a measuring device at the sketch design stage. It considers the main components such as resistors, thermistors, transistors, diodes, their failure rates, and mean time to recovery. Formulas are applied to calculate overall reliability indicators: mean time between failures, probability of failure-free operation, and mean time to recovery. The application of these methods for designing a reliable measuring device is demonstrated.

**Keywords:** reliability of measuring devices, methods of reliability calculation, electronic components.

Эта работа представляет собой комплексный подход к оценке надежности измерительных устройств на раннем этапе их проектирования. Основываясь на детальном анализе отдельных компонентов и их взаимодействия, исследование выявляет ключевые факторы, влияющие на общую надежность системы. Цель работы – разработка методик, позволяющих повысить эффективность и долговечность измерительных устройств, что имеет важное значение для обеспечения качества и точности в широком спектре приложений.

Для демонстрации методов анализа надежности измерительных устройств используем уже готовую схему измерительного устройства и исходные данные. Исследуемая схема представлена на рис. 1.

Максимальные значения интенсивностей отказов элементов и среднего времени восстановления представлена в таблице 1.

- Значения обобщенного эксплуатационного коэффициента для помещений с регулируемой температурой и влажностью выберем равным 1,1;
- значение заданного времени наработки при расчете вероятности безотказной работы час;
- гамма-процентная наработка до отказа определяется при  $\gamma = 90\%$  ;
- значение заданного времени восстановления при расчете вероятности восстановления в заданное время час;
- гамма-процентный срок службы определяется при и среднем сроке службы 10 лет;
- гамма-процентный срок сохраняемости СИ определяется при и среднем сроке сохраняемости 5 лет;

– значение заданного времени непрерывной работы при определении коэффициента оперативной готовности СИ час.

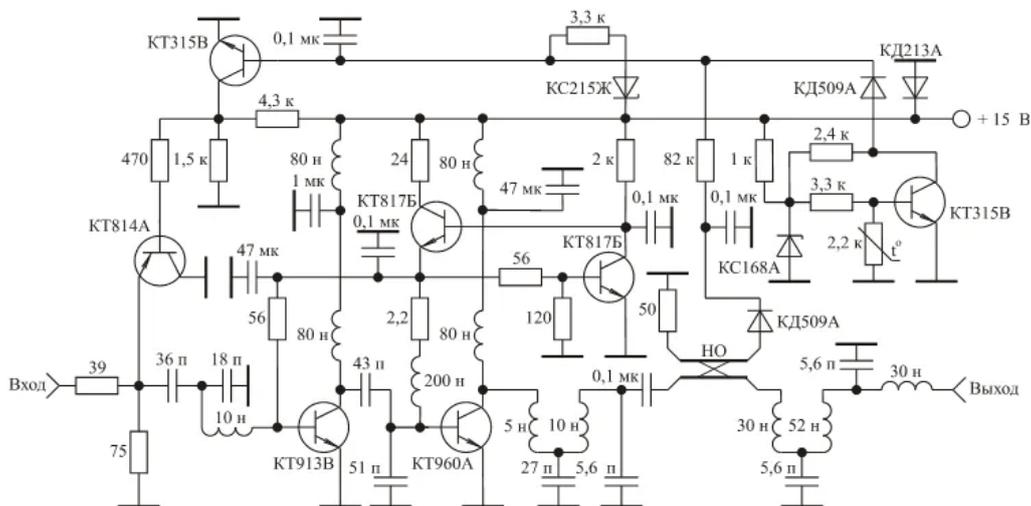


Рис. 1. Принципиальная схема средства измерений

Таблица 1

№ п/п	Группа элементов	Количество элементов в j-ой группе $N_j$	Коэффициент нагрузки $K_s$	Интенсивность отказов для элементов j-ой группы $\lambda_{0j} \cdot 10^{-6}$ , 1/ч	Произведение $\lambda_{0j} \cdot N_j \cdot 10^{-6}$ , 1/ч	Среднее время восстановления для элементов j-ой группы $t_{ej}$ , ч	Произведение $\lambda_{0j} \cdot N_j \cdot t_{ej}$ , 1/ч
1	Резисторы	16	1,1	0,35	5,6	0,5	2,8
2	Терморезисторы	1		0,34	0,34	0,4	0,14
3	Транзисторы	7		0,45	3,15	0,8	2,52
4	Диоды	3		0,15	0,45	0,4	0,18
5	Стабилитроны	1		0,30	0,30	0,4	0,12
6	Катушки индуктивности	11		0,25	2,75	1,4	3,85
7	Конденсаторы	15		0,55	8,25	0,55	4,54
8	Клеммы, гнезда	4		0,70	0,70	0,8	0,56
9	Пайки	115		0,02	2,3	0,5	1,15
10	Плата печатного монтажа	1		0,2	0,2	3,0	3,0
Сумма					24,04		16,45

Максимальные значения интенсивностей отказов элементов и среднего времени восстановления (табл. 1).

Найдем суммарную интенсивность устройства с учетом обобщенного эксплуатационного коэффициента по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} (v) = K_3 \cdot \sum_{j=1}^k \lambda_{0j} \cdot N_j = 1,1 \cdot 24,04 \cdot 10^{-6} = 26,44 \cdot 10^{-6} 1/ч.$$

Найдем сумму произведений для устройства с учетом обобщенного эксплуатационного коэффициента по формуле:

$$K_3 \cdot \sum_{j=1}^k \lambda_{0j} \cdot N_j \cdot t_{ej} = 1,1 \cdot 16,45 \cdot 10^{-6} = 18,09 \cdot 10^{-6} 1/ч.$$

Определим наработку на отказ по формуле:

$$T_0 = \frac{1}{K_3 \cdot \sum_{i=1}^k \lambda_{0j} \cdot N_j} = \frac{1}{26,44 \cdot 10^{-6}} = 0,038 \cdot 10^{-6} = 38000 \text{ час.}$$

Рассчитаем вероятность безотказной работы устройства СИ за время  $\tau_{3н}$  по формуле:

$$P(\tau_{3н}) = e^{-\frac{\tau_{3н}}{T_0}} = 0,95$$

Определим гамма-процентную наработку до отказа по формуле:

$$T_{\gamma=90\%} = -T_0 \cdot \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) = -38000 \cdot \ln\left(\frac{90}{100}\right) = 4000 \text{ час.}$$

Подсчитаем среднее время восстановления устройства по формуле:

$$T_g = \frac{K_3 \cdot \sum_{i=1}^k \lambda_{0j} \cdot N_j \cdot t_{ej}}{K_3 \cdot \sum_{i=1}^k \lambda_{0j} \cdot N_j} = \frac{1,1 \cdot 16,45 \cdot 10^{-6}}{1,1 \cdot 24,04 \cdot 10^{-6}} = 0,68 \text{ час.}$$

Подсчитаем значение вероятности восстановления устройства за заданное время  $\tau_{3в}$  по формуле:

$$v(\tau_{3в}) = 1 - e^{-\frac{\tau_{3в}}{T_g}} = 1 - e^{-\frac{4}{0,68}} = 0,99.$$

Определим комплексные показатели надежности (коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности) по формуле:

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 + T_g} = \frac{38000}{38000 + 0,68} = 0,99;$$

$$K_{oz} = K_z \cdot e^{-\frac{\tau_{3в}}{T_0}} = 0,99 \cdot e^{-\frac{4}{38000}} = 0,98.$$

Определим гамма-процентный срок службы устройства СИ по формуле:

$$T_{\gamma=95\%} = -T_{cl} \cdot \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) = -10 \cdot \ln\left(\frac{95}{100}\right) = 0,51 \text{ лет.}$$

Определим гамма-процентный срок сохраняемости устройства СИ по формуле:

$$T_{xp\gamma=90\%} = -T_{cp} \cdot \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) = -5 \cdot \ln\left(\frac{90}{100}\right) = 0,53 \text{ лет.}$$

Сведем все рассчитанные показатели надежности в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование показателя надежности	Расчетное значение
1	Наработка на отказ, час	38000
2	Вероятность безотказной работы за заданное время наработки $\tau_{zn} = 1800$ час	0,95
3	Гамма-процентная наработка до отказа при $\gamma = 90\%$ , час	4000
4	Среднее время восстановления, час	0,68
5	Вероятность восстановления за заданное время $\tau_{zg} = 4$ час	0,99
6	Коэффициент готовности	0,99
8	Коэффициент оперативной готовности за заданное время непрерывной работы $\tau_{zp} = 1$ час	0,98
9	Гамма-процентный срок службы при $\gamma = 95\%$ , лет	0,51
10	Гамма-процентный срок сохраняемости при $\gamma = 90\%$ , лет	0,53

В ходе данной работы был осуществлен комплексный анализ надежности измерительного устройства, основываясь на детальном изучении характеристик компонентов, таких как резисторы, термисторы, транзисторы и диоды. Расчеты показателей надежности, включая наработку на отказ, вероятность безотказной работы и среднее время восстановления, позволили определить ключевые аспекты, влияющие на эффективность и долговечность измерительного устройства. Применение разработанных методик может существенно повысить качество и точность измерений в различных приложениях. Предложенные решения способствуют улучшению общей надежности системы и могут быть использованы для оптимизации проектирования подобных устройств в будущем.

#### Библиографический список

1. Щепетов А. Г., Основы проектирования приборов и систем. Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 458 с.
2. Оценка надежности измерительных устройств на стадии проектирования. URL: [https://studme.org/245747/tehnika/otsenka\\_nadezhnosti\\_izmeritelnyh\\_ustroystv\\_stadii\\_proektirovaniya](https://studme.org/245747/tehnika/otsenka_nadezhnosti_izmeritelnyh_ustroystv_stadii_proektirovaniya)

*Р. А. Макаридин\**

аспирант

*А. Д. Филин\**

д. т. н.

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА КОМПЛЕКСА КООРДИНАТОМЕТРИИ АВИАЦИОННОГО ВИРТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПОЛИГОНА

Рассматривается возможность применения метода фильтрации Калмана в задачах синтеза комплекса координатометрии авиационного виртуального электронного полигона. Показаны преимущества и недостатки данного метода, а также возможности его применения в задачах координатометрии.

**Ключевые слова:** метод фильтрации Калмана, координатометрия, авиационный виртуальный электронный полигон, синтез комплекса, точность измерений.

### Введение

Современные авиационные системы навигации требуют высокой точности и надежности. Для достижения этой цели используются различные методы и технологии, в том числе и метод фильтрации Калмана. Фильтр Калмана является одним из наиболее распространенных методов обработки данных в авиационной отрасли. Виртуальные электронные полигоны играют ключевую роль в тренировках и обучении пилотов, обеспечивая реалистичные симуляции полетов. Однако, для обеспечения высокой точности в измерениях и стабильности системы координатометрии, используемой на авиационных виртуальных полигонах, требуется инновационный подход. В данной статье показана возможность использования метода фильтрации Калмана для решения этой проблемы. [6]

### Метод Фильтрации Калмана: Основные Принципы

Метод фильтрации Калмана, изначально предназначенный для систем фильтрации и оценки состояния линейных динамических систем, может быть адаптирован для улучшения системы координатометрии авиационных виртуальных электронных полигонов. Он обладает уникальной способностью учитывать шумы в измерениях и динамически адаптироваться к изменяющимся условиям, что делает его потенциально полезным инструментом для повышения точности измерений на виртуальных полигонах. Метод Калмана может быть применен для комплексирования данных от различных сенсоров, таких как гироскопы, акселерометры и GPS.

Основное преимущество метода Калмана заключается в его способности адаптироваться к изменяющимся условиям полета. Это позволяет создавать более гибкие и точные симуляции, соответствующие различным сценариям тренировок. Эффективное комплексирование навигационной информации с использованием метода Калмана позволяет повысить реализм и точность воспроизведения полетных условий. [4]

Фильтрация Калмана является методом оптимальной обработки результатов измерений, искаженных помехами. Этот метод позволяет решить обширный круг задач: провести экстраполяцию, фильтрацию, интерполяцию, сглаживание дискретных непрерывных сигналов; оценить параметры состояния при реализации алгоритмов оптимального управления в случаях, когда компоненты вектора состояния объекта не поддаются непосредственному измерению и др. [9]

Синтез комплекса координатометрии включает в себя интеграцию различных сенсоров и систем измерений для создания единой системы координат. Применение метода Калмана позволяет сглаживать измерения и учитывать динамические изменения в полетных условиях, что способствует более стабильному и точному синтезу комплекса.

Обозначим за  $x_k$  величину, которую мы будем измерять затем фильтровать. Это может быть скорость, координата, ускорение, температура, влажность, давление, и т.д.

Рассмотрим пример, приводящий к формулировке общей задачи. Представим, что есть точка, которая может двигаться только вперед и назад. Зная вес точки, форму, и т.д., можно рассчитать как это влияет на скорость движения  $v_k$ . [1]

Тогда координата будет изменяться по закону:

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt$$

В реальной жизни невозможно учесть в расчетах малые колебания, действующие на точку поэтому настоящая скорость точки будет отличаться от расчетной. К правой части написанного уравнения добавится случайная величина  $\xi_k$  :

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt + \xi_k$$

На точке имеется сенсор, который измеряет истинную координату  $x_k$  точки, и не может ее измерить точно, а измеряет с ошибкой  $\eta_k$ , которая является тоже случайной величиной. В итоге с сенсора мы получаем ошибочные данные:

$$z_k = x_k + \eta_k$$

Задача состоит в том, что, зная неверные показания сенсора  $z_k$ , найти хорошее приближение для истинной координаты точки  $x_k$ . Это хорошее приближение мы будем обозначать как  $x_k^{opt}$ . [3] В формулировке же общей задачи, за координату  $x_k$  может отвечать все что угодно, а артикль, который отвечает за контроль системы извне обозначим  $u_k$  (в примере с точкой  $u_k = v_k \cdot dt$ ). Уравнения для координаты и показания для сенсора выглядят таким образом: [8]

$$x_{k+1} = x_k + u_k + \xi_k$$

$$z_k = x_k + \eta_k$$

Что известно:

- $u_k$  – это известная величина, контролирующая развитие системы. Она находится в построенной физической модели.
- Ошибка модели  $\xi_k$  и ошибка сенсора  $\eta_k$  – случайные величины. Законы их распределения не зависят от времени (от номера итерации  $k$ ).
- Средние значения ошибок равны нулю:  $E\xi_k = E\eta_k = 0$ .
- Закон распределения случайных величин может быть и не известен, но могут быть известны их дисперсии  $\sigma_\xi^2$  и  $\sigma_\eta^2$ . Данные меры разброса зависят от  $k$ , потому что законы распределения не зависят от него.
- Предполагается, что все случайные ошибки независимы друг от друга: какая ошибка будет в момент времени  $k$  совершенно не зависит от ошибки в другой момент времени  $k'$ .

Задача фильтрации – это не задача сглаживания. Мы не стремимся сглаживать данные с сенсора, мы стремимся получить наиболее близкое значение к реальной координате  $x_k$ . [5]

### Возможности применения фильтра Калмана в задачах координатометрии

Виртуальные полигоны требуют высокой точности и стабильности в измерениях координат. Применение метода фильтрации Калмана позволяет компенсировать шумы в измерениях, обеспечивая стабильность и точность системы координат. Это особенно важно при синтезе комплекса координатометрии, где необходимо учитывать динамические изменения в полетных сценариях, при симуляции сложных маневров и полетов в различных атмосферных условиях.

В задачах координатометрии фильтр Калмана может быть использован для оценки координат объекта на основе данных, полученных от датчиков. Он может быть использован для оценки координат объекта в реальном времени и для прогнозирования его координат в будущем. Фильтр Калмана может быть использован для синтеза комплекса координатометрии авиационного виртуального электронного полигона. Он позволяет получать наиболее точную оценку координат объекта и принимать на основе этой оценки решения об управлении. [2]

### Заключение

Возможность использования метода фильтрации Калмана в задачах синтеза комплекса координатометрии авиационного виртуального электронного полигона предоставляет перспективы для повышения точности и стабильности измерений. Это, в свою очередь, может улучшить качество обучения и тренировок пилотов на виртуальных полигонах.

### Библиографический список

1. "Применение фильтрации Калмана в задачах определения ..." – <https://keldysh.ru/council/1/pankratov/pankratov-diss.pdf>.
2. АВИАЦИОННЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПОЛИГОНЫ. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45557956>.
3. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА К ЗАДАЧАМ УПРАВЛЕНИЯ ... <https://www.energia.ru/ktt/archive/2016/04-2016/04-06.pdf>.
4. Автоматизация. Современные Технологии. [https://www.mashin.ru/files/2017/ao317\\_web.pdf](https://www.mashin.ru/files/2017/ao317_web.pdf).
5. Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems.
6. Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering, 82(Series D), 35–45.
7. Brown, R. G., & Hwang, P. Y. (1997). Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. John Wiley & Sons.
8. Bar-Shalom, Y., Li, X. R., & Kirubarajan, T. (2001). Estimation with Applications to Tracking and Navigation. John Wiley & Sons.
9. Welch, G., & Bishop, G. (2006). An Introduction to the Kalman Filter. University of North Carolina at Chapel Hill.
10. Haykin, S. (2008). Kalman Filtering and Neural Networks. John Wiley & Sons.

**В. Ф. Михайлов**

доктор технических наук, профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Рассматривается радиометрический метод дистанционного зондирования поверхности Земли. Обсуждается калибровка бортового радиометра по двум различным эталонным источникам шума. Получены соотношения для шумовой температуры подстилающей поверхности при дистанционном зондировании.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, радиометрический метод, источники шума, калибровка, подстилающая поверхность.

**V. F. Mikhailov\***

Dr. Sc. Tech., Professor

\*St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

**METHOD FOR DETERMINING THE NOISE TEMPERATURE OF THE UNDERLYING SURFACE**

The radiometric method of remote sensing of the Earth's surface is considered. Calibration of the onboard radiometer by two different reference noise sources is discussed. The relations for the noise temperature of the underlying surface during remote sensing are obtained

**Keywords:** remota sententia, methodus radiometrica, fontes strepitus, calibratio, superficies subiecta

Задача дистанционного зондирования Земли относится к числу важнейших, приоритетных задач космической техники. Глобальные наблюдения за большими поверхностями могут производиться только методами дистанционного зондирования, в частности, с помощью искусственных спутников Земли. Можно отдать предпочтение пассивным методам, потому что радиометрическая аппаратура по сравнению с активной радиолокационной имеет существенно меньшие габариты, массу и энергопотребление. Методы радиометрической диагностики получили свое развитие лишь тогда, когда были разработаны высокочувствительные радиометры [1].

Для обеспечения необходимой точности измерения требуется производить калибровку радиометра, которая обеспечит связь амплитуды выходного сигнала радиометра и антенной температуры ( $T_a$ ), действующей на его входе. Известно, что связь между антенной температурой и амплитудой выходного сигнала радиометра ( $U$ ) определяется выражением [2]

$$U = aT_a + b. \quad (1)$$

Значения  $a$  и  $b$  могут меняться при изменении внешних воздействий на радиометр. Для устранения влияния изменений  $a$  и  $b$  на точность измерений калибровка шкалы радиометра должна производиться периодически через интервалы времени меньшие, чем время корреляции этих изменений. В условиях летательных аппаратов одним из вариантов системы калибровки является использование в качестве эталонных температур температуры космического пространства ( $U_1$ ), получаемой с помощью ориентированного в зенит слабонаправленного рупора, и температуры согласованной нагрузки ( $U_2$ ), размещаемой в районе высокочастотного блока радиометра.

Значение антенной температуры при приеме излучения с подстилающей поверхности определится (1). Считая, что  $a$  постоянна за период сканирования, антенные температуры от двух эталонных источников шума запишутся в виде

$$\begin{aligned} U_1 &= aT_{a_1} + b, \\ U_2 &= aT_{a_2} + b. \end{aligned} \quad (2)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$T_a = T_{a_1} + \frac{U - U_1}{U_2 - U_1} (T_{a_2} - T_{a_1}). \quad (3)$$

При использовании генератора шума (ГШ) антенную температуру запишем в виде

$$T_{a_1} = T_1(1 - \beta_{z1}) \frac{\Omega_{z1}}{\Omega_{z1}} \eta \eta_{mp} + T_\phi(1 - \beta_{z1}) \frac{\Omega_{z1} - \Omega_{z1}}{\Omega_{z1}} \eta \eta_{mp} + T_\phi \beta_{z1} \eta \eta_{mp} + T_{mp}(1 - \eta_{mp}) + T_{ш.а} \eta_{mp},$$

где  $T_1$  - термодинамическая температура ГШ,  $\beta_{z1}$  - коэффициент рассеяния,  $\Omega_{z1}$  - телесный угол, занимаемый ГШ 1,  $\Omega_{z1}$  - телесный угол главного лепестка,  $\eta$  - КПД антенны,  $\eta_{mp}$  - КПД тракта,  $T_\phi, T_{mp}$  - термодинамическая температура фона и тракта соответственно,  $T_{ш.а}$  - собственная шумовая температура антенны.

При наблюдении генератора шума конечных размеров  $\Omega_{\text{ши}}$  на фоне “холодного космоса” с термодинамической температурой  $T_{\text{х.к}}$  выражение для антенной температуры переписывается в виде

$$T_{a_1} = T_1(1-\beta_{\text{эл}}) \frac{\Omega_{\text{ши}_1}}{\Omega_{\text{эл}}} \eta \eta_{\text{мп}} + T_{\text{х.к}}(1-\beta_{\text{эл}}) \frac{\Omega_{\text{эл}} - \Omega_{\text{ши}_1}}{\Omega_{\text{эл}}} \eta \eta_{\text{мп}} + T_{\text{ф}} \beta_{\text{эл}} \eta \eta_{\text{мп}} + T_{\text{мп}}(1-\eta_{\text{мп}}) + T_{\text{ш.а}} \eta_{\text{мп}}.$$

По аналогии запишется выражение для антенной температуры со вторым ГШ с термодинамической температурой  $T_2$  и телесным углом  $\Omega_{\text{ши}_2}$  с заменой  $T_1$  на  $T_2$  и  $\Omega_{\text{ши}_1}$  на  $\Omega_{\text{ши}_2}$ .

Выражение для антенной температуры Земли, когда производится наблюдение подстилающей поверхности Земли, запишется в виде

$$T_a = [T_{\text{я}} \eta \eta_{\text{мп}} [(1-\beta_{\text{эл}}) \frac{4\pi - \Omega_3}{\Omega_6}] + T_{\text{ф}} \beta_{\text{эл}} \frac{\Omega_6 - \Omega_3}{\Omega_6}] + T(1-\eta_{\text{мп}}) + T_{\text{ш.а}} \eta_{\text{мп}},$$

где  $T_{\text{я}}$  - радиояркая температура Земли,  $\Omega_3$  - телесный угол, под которым видна Земля,  $\Omega_6$  - угловые размеры пространства, излучающего в антенну радиометра, за исключением главного лепестка.

Выражение для радиояркой температуры подстилающей поверхности Земли при калибровке по одному ГШ и “холодному космосу” получится в виде

$$T_{\text{я}} = \frac{1}{1-\beta_{\text{эл}}(4\pi - \Omega_3)/\Omega_6} \{ [T_1 \frac{\Omega_{\text{эл}}}{\Omega_{\text{ши}}} - T_{\text{х.к}} \frac{\Omega_{\text{эл}} - \Omega_{\text{ши}}}{\Omega_{\text{эл}}}] (1-\beta_{\text{эл}}) + T_{\text{х.к}}(1-\beta_{\text{эл}}) + T_{\text{ф}} \beta_{\text{эл}} \frac{\Omega_3}{\Omega_6} \}. \quad (4)$$

В случае, когда используется в качестве калибровочного источника шума “холодный космос” и внутренний ГШ, выражение радиояркой температуры запишется в виде

$$T_{\text{я}} = \frac{1}{1-\beta_{\text{эл}}(4\pi - \Omega_3)/\Omega_6} \left[ \frac{U_a - U_{\text{х.к}}}{U_{\text{ши}} - U_{\text{хк}}} T_{\text{ши}} + T_{\text{х.к}}(1-\beta_{\text{эл}}) + T_{\text{ф}} \beta_{\text{эл}} \frac{\Omega_3}{\Omega_6} \right]. \quad (5)$$

Выражения (4), (5) применимы для практического использования при определении шумовой температуры подстилающей поверхности при дистанционном зондировании Земли.

#### Библиографический список

1. Смирнов М. Т. Моделирование спутниковых СВЧ радиоинтерферометрических измерений для дистанционного зондирования Земли / М. Т. Смирнов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 19, № 2. 2022. С.23–31.
2. Михайлов В. Ф. Спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли / В. Ф. Михайлов, И. В. Брагин, С. И. Брагин. М.: Вузовская книга. 2008. 339 стр.

**В. Ф. Михайлов\***

профессор, д. т. н.

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**ПОГРЕШНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Рассматриваются и оцениваются погрешности определения электрических параметров диэлектриков при высоких температурах.

**Ключевые слова:** высокие температуры, диэлектрики, электрические параметры, погрешности.

**V. F. Mikhailov\***

PhD, Professor

\*St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

**THE ERROR IN THE STUDY OF DIELECTRICS AT HIGH TEMPERATURES**

The errors in determining the electrical parameters of dielectrics at high temperatures are considered and evaluated.

**Keywords:** high temperatures, dielectrics, electrical parameters, errors.

Значения электрических параметров диэлектриков ( $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость и  $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла диэлектрических потерь) имеют резко выраженную температурную зависимость [1]. Нагревостойкие радиопрозрачные диэлектрики широко применяются в различных радиоэлектронных устройствах, в том числе для теплозащиты бортовых антенн возвращаемых космических аппаратов, эксплуатируемых при очень высоких температурах. Не разработана теория для определения аналитически зависимости  $\epsilon(t)$  и  $\operatorname{tg} \delta(t)$ . Для экспериментальной оценки этих зависимостей чаще всего применяют измерительные комплексы, в которых образец испытуемого диэлектрика крепится между двумя фокусирующими антеннами и измеряется комплексный коэффициент прохождения  $T = |T| \exp(j\varphi)$  при высокотемпературном нагреве образца, где  $|T|$  и  $\varphi$  модуль и фаза коэффициента прохождения. По измерениям значениям  $|T|$  и  $\varphi$  рассчитываются  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$ . Размер зоны нагрева образца ограничен энергетическими возможностями нагревателя и оказывается меньше фокального пятна фокусирующих антенн измерительного комплекса. По этой причине возникают погрешности определения параметров диэлектрика.

Комплексную амплитуду волны в фидере приемной антенны измерительного комплекса при бесконечных размерах зоны нагрева образца диэлектрика обозначим  $A_\infty$ , а через  $A$  обозначим комплексную амплитуду волны в отсутствие образца диэлектрика. Тогда комплексный коэффициент прохождения исследуемого образца диэлектрика  $T_\infty = A_\infty / A$ . При ограниченных размерах зоны нагрева комплексный коэффициент прохождения  $T_a = A_a / A$ , где  $A_a$  - комплексная амплитуда волны в фидере приемной антенны при диаметре зоны нагрева образца  $2a$ . При сделанных обозначениях относительная погрешность модуля коэффициента прохождения определяется следующим образом:

$$\frac{\Delta |T|^2}{|T|^2} = 1 - \frac{\operatorname{Re}^2(A_\infty/A) + \operatorname{Im}^2(A_\infty/A)}{\operatorname{Re}^2(A_a/A) + \operatorname{Im}^2(A_a/A)}.$$

Относительная погрешность фазы коэффициента прохождения

$$\frac{\Delta \varphi_T}{\varphi_T} = 1 - \left( \frac{\operatorname{arctg}(\operatorname{Im}(T_a) / \operatorname{Re}(T_a))}{\operatorname{arctg}(\operatorname{Im}(T_\infty) / \operatorname{Re}(T_\infty))} \right).$$

В соответствии с [2] характеристики приемной и передающей антенн представим через угловой спектр плоских волн. Поле возбуждения фокусирующих антенн будем рассматривать как равномерное распределение.

Не приводя подробных преобразований, обозначив комплексный коэффициент прохождения нагретого образца диэлектрика и холодного соответственно  $T_1 = |T_1| \exp(j\varphi_1)$ ,  $T_2 = |T_2| \exp(j\varphi_2)$ , получим выражение для относительной погрешности квадрата модуля коэффициента прохождения и относительной погрешности фазы коэффициента прохождения

$$\frac{\Delta |T|^2}{|T|^2} = 1 - \frac{1}{1 + L(L/4(1 + (|T_2|/|T_1|)^2) - \cos \psi + (|T_2|/|T_1|) \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \psi) - L/2(|T_2|/|T_1|) \cos(\varphi_2 - \varphi_1))},$$

$$\text{где } L = \frac{2\bar{R}^2 + \bar{a}^2}{\bar{R}^2 + \bar{a}^2} \left( \frac{J_1(\pi\bar{D}\bar{a}/\bar{R})}{\pi\bar{D}\bar{a}/\bar{R}} \right)^2, \quad \psi = 4\pi\bar{R} \left( \frac{\bar{R}}{\sqrt{\bar{R}^2 + \bar{a}^2}} - 1 \right), \quad \bar{R} = R/\lambda, \quad \bar{a} = a/\lambda,$$

R-расстояние между приемной и пелледающей антеннами, D-раскрыв фокусирующих антенн,  $\lambda$  – длина волны исследования.

$$\frac{\Delta\varphi_T}{\varphi_T} = 1 - \arctg \left[ \frac{\left( \frac{|T_2|}{|T_1|} \right) (\sin(\varphi_2 - \varphi_1 + \psi) + \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + \psi) \operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_1 (1/L - \cos \psi) \sin \psi}{\left( \frac{|T_2|}{|T_1|} \right) (\cos(\varphi_2 - \varphi_1 + \psi) - \sin(\varphi_2 - \varphi_1 + \psi) \operatorname{tg} \varphi_1) + 1/L - \cos \psi + \operatorname{tg} \varphi_1 \sin \psi} \right] / \varphi_1.$$

Не приводя детальных результатов расчета, можно по полученным расчетам заключить, что уменьшение зоны нагрева приводит к существенному возрастанию погрешности измерения. Как пример, отметим, что при  $|T_2|/|T_1| = 1,01$ ; и  $|\varphi_2 - \varphi_1| = 0,2$ ; относительная погрешность определения модуля коэффициента прохождения может превышать 10%, а фазы 8%.

### Библиографический список

1. Didenko Y. V. Temperature Dependences of Losses in High Frequency Dielectrics /Y. V Didenko, Y. M. Poplavko, D. D. Tatarchuk //Electronics and Communications. 2014. Vol. 19. No 4(81).
2. Михайлов В. Ф. Прогнозирование эксплуатационных характеристик антенн с теплозащитой / В. Ф. Михайлов, К. А. Победоносцев, И. В. Брагин // СПб.: Судостроение, 1994.

**В. Ф. Михайлов\***

профессор, д. т. н.

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Рассматриваются и оцениваются ошибки определения шумовой температуры подстилающей поверхности при зондировании Земли радиометрами.

**Ключевые слова:** зондирование Земли, радиометр, подстилающая поверхность, шумовая температура, ошибки.

**V. F. Mikhailov\***

PhD, Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

**THE ERROR OF MEASURING THE NOISE TEMPERATURE BY THE RADIOMETRIC METHOD**

Errors in determining the noise temperature of the underlying surface when probing the Earth with radiometers are considered and evaluated.

**Keywords:** Earth sensing, radiometer, underlying surface, noise temperature, errors.

В настоящее время широко развиваются различные методы изучения окружающей среды. Для этого применяются методы дистанционного зондирования. Можно отдать предпочтение пассивным методам, потому что радиометрическая аппаратура по сравнению с активной радиолокационной имеет значительно меньшие габариты, массу и энергопотребление. Методы радиометрической диагностики получили свое развитие лишь тогда, когда были разработаны высокочувствительные радиометры [1].

Погрешности диагностики дистанционного радиометрического зондирования определяются рядом факторов. Здесь не будем раскрывать ошибки калибровки и ошибки привязки к изучаемой поверхности. Подробно рассмотрим только ошибки измерений, которые можно представить как сумму составляющих ошибок. К ним относятся ошибки:

- определяемые потенциальной чувствительностью радиометра, т.е. его собственными шумами (флюктуационные),  $\delta T_{фл}$ ,
- вносимые приемом шумового излучения по боковым лепесткам антенны,  $\delta T_{б.л}$ ,
- вызванные шумовой температурой антенно-фидерного тракта- ошибки рассеяния,  $\delta T_{рас}$ ,
- вызванные ошибками квантования,  $\delta T_{АЦП}$ ,
- обусловленные нелинейностью измерительного тракта радиометра,  $\delta T_{нл}$ .

Таким образом, ошибку измерений можно представить следующим образом:

$$\delta T_{изм} = \delta T_{фл} + \delta T_{б.л} + \delta T_{рас} + \delta T_{АЦП} + \delta T_{нл}. \quad (1)$$

Флюктуационную ошибку определим для модуляционного радиометрического приемника, чувствительность которого описывается выражением [2]

$$\delta T_{фл} = 2\sqrt{2}T_u \sqrt{\frac{\Delta F}{\Delta f}}, \quad (2)$$

где  $\Delta F$  - эквивалентная ширина полосы пропускания низкочастотной части радиометра,  $\Delta f$  - эквивалентная ширина полосы пропускания высокочастотной части радиометра,  $T_u$  - сумма измеряемого шумового сигнала  $T_u$  и эквивалентной шумовой температуры приемника  $T_{ш.пр}$ , приведенной к его входу, т.е.

$$T_u = T_u + T_{ш.пр}. \quad (3)$$

Шумовая температура радиометрического приемника, приведенную ко входу, будет зависеть от термодинамической температуры и КПД антенно-фидерного тракта, шумовой температуры и коэффициента передачи смесителя и шумовой температуры УПЧ. Учитывая параметры перечисленных блоков радиометра, получаем  $T_{ш.пр} = 218K$ .

Антенная температура (температура измеряемого шумового сигнала), фиксируемая радиометром в условиях действия закона Релея-Джинса, описывается выражением

$$T_a = T_{cp.zl}(1 - \beta_{zl})\eta + T_{cp.b}\beta_{zl}\eta + T(1 - \eta), \quad (4)$$

где  $\eta$  - КПД антенны,  $\beta_{zl}$  - коэффициент рассеяния,  $T_{cp.zl}, T_{cp.b}$  - усредненная яркостная температура излучения по телесному углу главного лепестка и боковых.

При размещении антенны на борту ИСЗ для наихудшего случая  $T_{cp.zl} = T_{cp.b} = 300K$ , можно считать  $\eta = 0,98$ , тогда из (4) получаем  $T_a = T_u = 300K$ , а расчет по (3) дает  $T_{ш} = 518K$ . Исходя из (2),  $\delta T_{фл} = 0,11K$ .

Шумовая температура сигнала, принятого по боковым лепесткам, для наихудшего случая (боковые лепестки направлены в космос) дает слишком большую ошибку, которую можно компенсировать детальной наземной паспортизацией антенны и свести к нулю.

Собственное шумовое излучение антенны определяется потерями в рупоре и в зеркале. Температура антенны определяемая омическими потерями, имеет вид

$$T_{ш.а} = (1 + \eta_p)T_{op} + (1 - |R|^2 k_u)\eta T_{оз},$$

где  $T_{op}, T_{оз}$  - термодинамическая температура рупора и зеркала соответственно,  $\eta_p$  - КПД рупора,  $k_u$  - коэффициент использования поверхности зеркала,  $|R|^2$  - коэффициент отражения от поверхности зеркала.

Коэффициент отражения от металлической поверхности близок к единице, Термодинамическая температура рупора и зеркала может принимать значения  $300 \pm 100K$  в зависимости от расположения спутника в тени Земли или на солнечной стороне. В этом случае значения собственной шумовой температуры существенно превышают значения других погрешностей. При контроле температуры зеркала и рупора погрешность рассеяния можно получить равной [2]  $\delta T_{рас} = 0,3K$ .

При диапазоне измеряемых температур, равном  $300K$ , и если рассматривать всю шкалу АЦП (4096 единиц), то ошибку, вызванную преобразованием в АЦП, можно оценить

$$\delta T_{АЦП} = 300/4096 = 0,07K.$$

Однако с учетом шумового характера преобразуемого сигнала, нестабильности коэффициента передачи тракта и переходных процессов в этом тракте необходимо коэффициент использования шкалы уменьшить более, чем в 2 раза. Таким образом, получаем, что эффективно используется только часть шкалы АЦП, следовательно, ошибка квантования  $\delta T_{АЦП} = 300/1896 = 0,16K$ .

В работе [3] детально исследованы причины нелинейности измерительного тракта радиометра и получено, что  $\delta T_{нл} = 0,15K$ .

Таким образом, суммируя в соответствии (1) составляющие ошибок определения шумовой температуры изучаемого объекта, получаем  $\delta T_{изм} = 0,55K$ .

### Библиографический список

1. Смирнов, М. Т. Моделирование спутниковых СВЧ радиоинтерферометрических измерений для дистанционного зондирования Земли / М. Т. Смирнов. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 19, №2. 2022. С.23-31.
2. Михайлов, В.Ф. Спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли / В. Ф. Михайлов, И. В. Брагин, С. И. Брагин. М.: Вузовская книга. 2008. 339 стр.
3. Михайлов, В.Ф. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Спутниковая радиометрия. Учебное пособие / В.Ф. Михайлов, И. В. Брагин, С. И. Брагин. СПб: ГУАП. 1998. 164 стр.

*Т. П. Мишура\**

канд. техн. наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ПРОВЕРОК ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В работе рассмотрены основные положения и принципы внутреннего аудита испытательной лаборатории, входящей в структуру предприятия. Показана тесная взаимосвязь деятельности испытательных лабораторий со структурными подразделениями производства при изготовлении продукции, а также роль их аудита при модернизации технологических процессов.

**Ключевые слова:** испытательная лаборатория.

*T. P. Mishura\**

Cand. Sc. Tech., Docent

\*Saint- Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ORGANIZATION OF INTERNAL INSPECTIONS OF THE TESTING LABORATORY

The work examines the basic provisions and principles of internal audit of a testing laboratory that is part of the enterprise structure. The close relationship between the activities of testing laboratories and structural divisions of production in the manufacture of products is shown, as well as the role of their audit in the modernization of technological processes.

**Keywords:** testing laboratory.

Внутренний аудит – это инструмент нахождения способов улучшения производства, а также его контроля. Принципы системы менеджмента качества, в которую составной частью входит внутренний аудит [1,2], приведены на рисунке 1. Совокупность применения этих принципов, включающих системный и процессный подход, позволяет контролировать и оценивать принимаемые решения, учитывая и устраняя возникающие ошибки, что, в конечном итоге, приводит к повышению качества продукции.

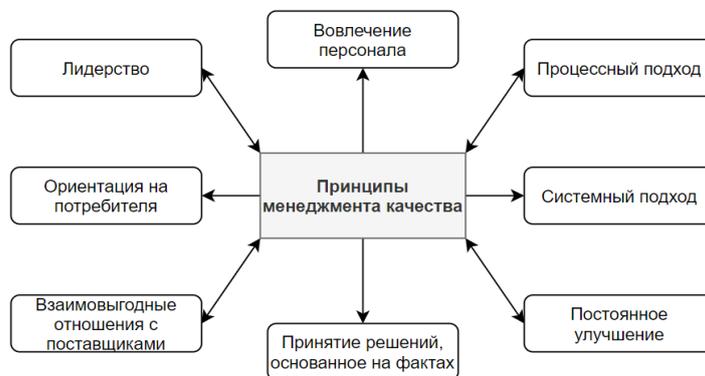


Рис 1. Совокупность принципов менеджмента качества

Одним из важных пунктов системы менеджмента качества является улучшение и оптимизация процессов. Если на производстве не модернизируются процессы, что непосредственно должно быть отражено в системе менеджмента качества сначала как цели, а потом и как достижения, то производство не развивается. Речь идет обо всех процессах: взаимодействия; контроля; технологических.

Среди критериев оценки системы менеджмента качества могут выступать ключевые технико-экономические показатели (КРІ) производства [3]. Если при оценивании эффективности сотрудников и производства в целом КРІ на протяжении долгого времени сохраняет свои высокие показатели, то это может говорить не только об эффективности производства в целом, но и об эффективности системы менеджмента качества. При оценивании эффективности системы менеджмента качества важно следить за изменением КРІ, так как при улучшении процессов производства он может меняться. При возрастании или неизменности КРІ, при улучшении процесса в течение длительного времени, можно сделать заключение о том, что улучшения на производстве эффективны. В противном случае необходимо выдержать некоторый период времени, за который произойдет переналадка процесса, и эти показатели возрастут. Если же этого не происходит, то необходимо пересмотреть введенные изменения.

Испытательные лаборатории являются составной частью структуры предприятия и несут огромную нагрузку на протяжении всего жизненного цикла выпускаемой продукции [4].

Программу проверок составляет руководитель лаборатории. Им же устанавливаются сроки ее проведения. Так же возможны внеплановые проверки, необходимость которых определяет руководитель. В ходе таких проверок проверяются и оцениваются следующие показатели:

- регистрации проб, образцов, результатов измерений и управление документацией;
- способность сотрудников качественно и точно проводить измерения, анализ результатов;
- знание сотрудников нормативной документации в их области;
- контроль качества выполнения измерений;
- результаты корректирующих мероприятий и другие вопросы, касающиеся деятельности данной лаборатории.

Результатом проверок является оценка эффективности корректирующих действий при оптимизации производственных процессов, которые позволяют устранить причины несоответствий, а также предупредить их многократное повторение.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Электронный ресурс] – <https://docs.cntd.ru/document/1200124393> (дата обращения: 15.12.2023).
2. Особенности внутреннего аудита системы менеджмента качества производства. Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции «Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития». Уфа, 2021. С. 33–37.
3. ГОСТ Р ИСО 22400-1-2016 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Ключевые технико-экономические показатели (KPIs) для управления производственными операциями. Часть 1. Общие положения, понятия и терминология [Электронный ресурс] – <https://docs.cntd.ru/document/1200140443> (Дата обращения: 15.12.2023).
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий [Электронный ресурс] – <https://docs.cntd.ru/document/1200166732> (Дата обращения: 15.12.2023).

*Т. П. Мишура\**

канд. техн. наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Изменение требований к экологичности моторных топлив повлекло за собой снижение их смазывающей способности за счет уменьшения в них концентрации серы и сернистых соединений. Поэтому были пересмотрены и усовершенствованы методики оценки противоизносных характеристик. В работе сравниваются два основных метода оценки смазывающих свойств топлив: с помощью теста SLBOCLE и высокочастотной возвратно-поступательной установки HFRR. Особое внимание уделено методу, реализуемому на аппарате HFRR. Для него приводятся характеристики, полученные при обработке результатов испытаний. Установлены основные требования к повторяемости и воспроизводимости результатов измерений.

**Ключевые слова:** моторное топливо, прецизионность, повторяемость, воспроизводимость.

*T. P. Mishura\**

Cand.Sc.Tech., Docent

\*Saint- Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF THE LUBRICABILITY OF PETROLEUM PRODUCTS

Changes in requirements for the environmental friendliness of motor fuels have resulted in a decrease in their lubricity due to a decrease in the concentration of sulfur and sulfur compounds in them. Therefore, methods for assessing anti-wear characteristics have been revised and improved. The paper compares two main methods for assessing the lubricity properties of fuels: using the SLBOCLE test and the high-frequency reciprocating unit HFRR. Particular attention is paid to the method implemented on the HFRR apparatus. For it, the characteristics obtained by processing the test results are given. The basic requirements for repeatability and reproducibility of measurement results have been established.

**Keywords:** motor fuel, precision, repeatability, reproducibility.

Экологический класс моторных топлив определяется, прежде всего, содержанием серы, которая при сгорании образует вредные выбросы. Действующие в Российской Федерации стандарты ограничивают содержание серы в соответствии с международными требованиями [1], так как снижение концентрации серы и сернистых соединений ухудшает смазывающие характеристики топлива. Поэтому приходится искать альтернативные методы повышения смазывающей способности. Постоянное ужесточение требований к показателям качества применяемого топлива в двигателях внутреннего сгорания [2] и снижению ядовитых и парниковых выбросов при его сгорании приводит к необходимости разработки новых и модернизации существующих методик испытаний.

Технический регламент Таможенного союза [1] устанавливает требования к качеству дизельных топлив. Достаточная смазывающая способность топлива ранее обеспечивалась содержанием серы и ее соединений на уровне 0,2–0,5 массовых процентов. Такое топливо до сих пор применяется для быстроходных дизельных и газотурбинных двигателей наземной и судовой техники. Однако, оно не допускается к реализации через автозаправочные станции общего пользования [3].

Применяемое сегодня дизельное топливо для автомобильных двигателей внутреннего сгорания имеет экологический класс К5. Для этого класса регламентируется содержание серы концентрацией не выше 10 мг/кг. При таких значениях существенно снижаются противоизносные характеристики дизельного топлива. Так как постоянное совершенствование конструкции двигателей влечет повышение их чувствительности к износу, жесткое требование к характеристикам смазывающей способности становится необходимым.

Чтобы компенсировать снижение смазывающих свойств, топливо смешивают с продуктами, обеспечивающими хорошие смазывающие характеристики, или в топливо добавляют противоизносные присадки.

Наиболее распространен второй способ. Присадки создают на поверхности трущихся деталей и механизмов защитную пленку, которая влияет на коэффициент трения, диаметр пятна износа и критическую нагрузку до заедания.

Достаточные смазывающие свойства топлива обеспечиваются при рабочих концентрациях противоизносных присадок в диапазоне 0,002...0,004%. Сегодня, в основном, применяются противоизносные присадки на основе жирных кислот и их производных – амидов, аминов и сложных эфиров.

Однако лабораторные испытания показали, что при совместном применении этих присадок с депрессорно-диспергирующими или цетаноповышающими присадками противоизносные свойства снижаются, и концентрацию противоизносных присадок приходится увеличивать до 0,01...0,025%. При этом важно учитывать

чувствительность деталей к износу. Возникает необходимость экспериментальным путем определять смазывающие свойства топлива. Есть два основных метода:

– метод оценки смазывающей способности нагружаемым шариком на цилиндре (Scuffing Load Ball-On-Cylinder Lubricity Evaluator – SLBOCLE).

– высокочастотная возвратно-поступательная установка HFRR;

Метод оценки смазывающей способности нагружаемым шариком на цилиндре с применением прибора SLBOCLE предусматривает начало испытания в условиях полной смазки. С ростом нагрузки на стальной шарик визуально обнаруживается потертость, возникающая в результате превышения удельной силы трения. В результате определяют граничные условия применения испытуемого образца, после которого смазка становится неэффективной.

В соответствии с методом HFRR ([4], [5]) смазывающая способность топлива определяется на основании измерения размеров пятна износа на испытуемом металлическом шарике, которое образуется в результате трения металлического шарика о неподвижную металлическую пластину, полностью погруженную в топливо при определенных условиях испытания: металлические свойства шарика, пластины, температура, нагрузка, прилагаемая к шарик, частота и длина хода шарика точно заданы. При корректировке размера пятна износа учитывают условия окружающей среды. По мере увеличения пятна износа на шарике в процессе трения увеличивается площадь контакта до тех пор, пока не возникнет полная гидродинамическая смазка.

Измеряют диаметр пятна с помощью микроскопа со 100-кратным увеличением по двум перпендикулярным осям с точностью до 1 мкм. К обработке результатов испытаний относится расчет некорректированного и корректированного размера пятна.

Некорректированный средний диаметр пятна износа  $MWSD$ , мкм равен

$$MWSD = \frac{X + Y}{2},$$

где  $X, Y$  – размер пятна износа в мкм в перпендикулярном и параллельном направлении к возвратно-поступательному движению соответственно.

Скорректированный размер пятна износа  $WS_{1,4}$ , мкм, равен

$$WS_{1,4} = MWSD + HCF (1,4 - AVP),$$

где  $HCF$  – поправочный коэффициент влажности,  $AVP$  – среднее значение абсолютного давления.

Прецизионность определена на основании статистической обработки результатов испытаний в лабораториях в соответствии с ([4], [5]).

Повторяемость и воспроизводимость определяется превышением критических значений  $r = 63$  мкм и  $R = 102$  мкм только в одном случае из 20 ([4], [5]).

Сравнивая два метода определения вязкости топлива, можно сделать вывод, что тест SLBOCLE характеризует, в первую очередь, максимальную нагрузку трущихся деталей, при которой смазка теряет эффективность, тогда как испытание на установке HFRR определяет влияние вязкостных характеристик топлив на смазывающую способность при продолжительных постоянных нагрузках. Результаты испытаний позволили разработать эффективные методики по восстановлению смазывающих характеристик путем добавления противоизносных присадок.

### Библиографический список

1. ТР ТС 013/2011 Технический регламент Таможенного союза "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту" (с изменениями на 19 декабря 2019 года), М.: Стандартинформ, 2019. 22 с.
2. Мишура Т.П., Томашевский М.А. Основные показатели качества дизельного топлива и методики их определения Сборник трудов по материалам III международного конкурса научно-исследовательских работ «Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки» (10 декабря 2020 г., г. УФА). – УФА: Изд. НИЦ Вестник науки, 2020. с. 36–45.
3. ГОСТ 305-2013 Топливо дизельное. Технические условия (Переиздание), М.: Стандартинформ, 2015. 23с.
4. ГОСТ Р ИСО 12156-1-2006 Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Часть 1. Метод испытаний (с Поправкой), М.: Стандартинформ, 2007. 21 с.
5. ГОСТ Р ИСО 12156-1-2012 Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Часть 1. Метод испытаний. М.: Стандартинформ, 2007. 21 с.

*Г. И. Неуймина*<sup>1</sup>

к. м. н., доцент

*А. А. Сенцов*<sup>2</sup>

к. т. н., доцент

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА КЛЕТКИ ОРГАНИЗМА

Представлены теоретические основы и гипотезы влияния электромагнитного излучения низкой интенсивности крайне высокочастотного диапазона волн на биологические структуры организма различной степени сложности, выполнен анализ многопараметрических эффектов влияния в зависимости от различных комбинаций форм сигнала и способов воздействия.

**Ключевые слова:** крайне высокочастотное излучение, электромагнитное излучение низкой интенсивности, нетепловое воздействие радиоволн.

*G. I. Neumina*\*

Ph.D., Associate Professor

*A. A. Sentsov*\*\*

Ph.D., Associate Professor

\*FSAOU VO "KFU named after V.I. Vernadsky"

\*\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## FEATURES OF THE EFFECT OF EXTREMELY HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION OF LOW INTENSITY ON THE CELLS OF THE BODY

The theoretical foundations and hypotheses of the influence of low-intensity electromagnetic radiation of the extremely high-frequency wave range on the biological structures of the body of varying degrees of complexity are presented, the analysis of the multiparametric effects of influence depending on various combinations of signal forms and methods of exposure is performed.

**Keywords:** extreme high-frequency radiation, low-intensity electromagnetic radiation, non-thermal effects of radio waves.

Исследования на предмет воздействия крайне высокочастотного электромагнитного излучения (КВЧ ЭМИ), в том числе миллиметрового диапазона (ММД) низкой интенсивности (НИ), на клетки живого организма осуществляются в разных странах и в соответствующих научных центрах [1-3]. При использовании больших величин мощности, биологический эффект обусловлен обычным локальным нагревом облучаемого участка организма. Под низкой интенсивностью излучения принято считать величину, не превышающую 20 мВт/см<sup>2</sup>. При использовании низкоинтенсивных колебаний среднее значение нагрева облучаемого участка организма является незначительной величиной и составляет порядка 0,1°С. В данном контексте рассматривается нетепловое воздействие.

В работах [4, 5] выдвинуто предположение об информационном воздействии малоинтенсивных электромагнитных волн на биологические объекты. Г. Фрелих обосновал предположение, что в соответствии с геном формируется индивидуальное электромагнитное поле организма в мм-диапазоне волн (колебания Фрелиха), что способствует нормальной жизнедеятельности клетки. Эти (акустоэлектрические) колебания Фрелиха возникают за счет разницы потенциала между мембраной клетки и межклеточным веществом (60-90 мВ), что показано на рис. 1, и соответствуют полю с зарядом около 60-90 Вт/см [6]. При развитии патологического процесса в организме, происходит изменение колебаний клеточной мембраны, блокировка каналов, вследствие этого, нарушается внутриклеточный метаболизм.

В результате нормализации колебаний клеточной мембраны восстанавливается проницаемость транспортных каналов мембраны и внутриклеточный метаболизм восстанавливается. Также проявляются следующие эффекты:

- повышается выведение токсических веществ из клетки, в том числе свободных радикалов и введение полезных элементов внутрь клетки;
- активизируется транспорт молекул воды;
- повышается содержание кислорода и антиоксидантов в клетке.

Если при переходе клетки из состояния покоя в возбужденное не происходит образования когерентных электромагнитных излучений, внешний электромагнитный фон миллиметрового диапазона способен оказать такое же влияние, как при колебании клеток организма, при этом происходит восстановление функций клетки. Данный процесс происходит за счет клеточных и гуморальных механизмов. Среди множества проводимых экспериментальных исследований можно выделить несколько основных направлений.

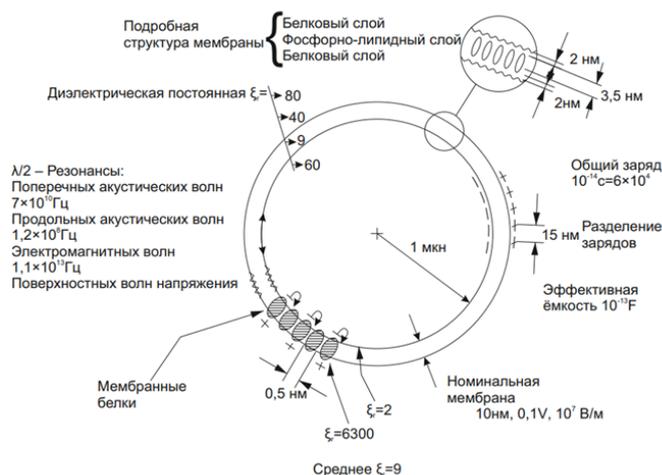


Рис. 1. Возникновение акустоэлектрических колебаний за счет разницы потенциала между мембраной клетки и межклеточным веществом

1. Исследования физико-химических эффектов воздействия ЭМИ крайне высокочастотного (КВЧ) диапазона, связанных с анализом влияния характеристик излучения (длины волны, интенсивности, наличия модуляции несущей частоты низкочастотными сигналами различных типов, а также продолжительности сеансов, их повторяемости, локализации воздействия, площади облучения и т.п.) на биологические структуры организма различной степени сложности, начиная с субмолекулярного уровня.

2. Исследования эффектов воздействия КВЧ ЭМИ низкой интенсивности, проявляющихся на субклеточном и клеточном уровне организации организма:

- исследования влияния ЭМИ ММД на рост клеточных структур;
- анализ хромосомных изменений и генетических эффектов, вызываемых КВЧ ЭМИ;
- исследования возбудимости тканей и клеточных мембран, изменения их свойств под действием излучения ММД;
- исследование резонансных явлений в клеточных ансамблях и т. п.

3. Исследования влияния КВЧ излучения на органном уровне и на уровне целостного организма животных и человека, связанные с:

- влиянием на гуморальную систему;
- воздействием на периферийные рецепторы;
- тератогенетическими эффектами;
- восстановлением и регенерацией тканей;
- влиянием на рост и развитие опухолей;
- устранением последствий стрессов;
- комбинированным воздействием КВЧ ЭМИ и других факторов, таких как излучение в оптическом диапазоне, рентгеновского излучения, воздействия магнитных полей и т.п.;
- влиянием на иммунную систему, анализом защитного и профилактического воздействия КВЧ ЭМИ.

4. Исследования, связанные с применением методов КВЧ терапии в медицинской клинической практике.

В результате большого цикла экспериментальных исследований получен ряд фундаментальных научных результатов поглощения мм-волн компонентами водных растворов, в том числе метод мм-спектроскопии [7]. Отсюда возникает гипотеза, что вода и слабое электромагнитное излучение в мм-диапазоне длин волн выполняют роль универсального носителя информации в процессах жизнедеятельности.

В работах [3, 8] предполагается что взаимодействие внешних электромагнитных полей с биологическими объектами организма происходит в результате резонанса и изменения архитектоники воды межклеточного пространства. После этого возбуждение передается белкам клеточной протоплазматической мембраны. В результате происходят восстановительные процессы, ликвидирующие патологию клетки и органа. Влияние ММД НИ на рецепторы приводит к повышению уровня гидратации белковых молекул и активности самих рецепторов.

Эффект влияния ЭМИ НИ волн является многопараметрическим и зависит от различных комбинаций форм сигнала мм-волны, а также способов воздействия, в частности:

- влияние на элементы и органы иммунной системы;
- радиопротекторный эффект;
- воздействие на проницаемость капилляров;
- противовоспалительный эффект;
- влияние на рецепторную активацию центральной нервной системы (ЦНС);
- возбуждение биоэлектрического отклика в коре больших полушарий мозга;

- влияние на процесс перекисного окисления липидов (антиоксидантный эффект);
- влияние на клеточные ядра и мембраны.

Также следует отметить, что многолетний личный опыт медицинской практики подтверждает физиотерапевтический эффект следующих методик: КВЧ-терапия с выбором стандартной частоты ММ ЭМИ в зависимости от нозологического диагноза; микроволновая резонансная терапия (вариант КВЧ-терапии с индивидуальным подбором частоты ЭМИ); молекулярно-волновая терапия на «резонансных частотах прозрачности воды»; КВЧ – пунктура с индивидуальным подбором точек и зон воздействия; биорезонансная терапия (БРТ); информационно-волновая терапия (ИВТ) [6].

#### **Библиографический список**

1. Савельев С. В., Бецкий О. В., Морозова Л. А., Васильев В. С. Свойства миллиметрового излучения организма человека при нормальном и патологическом состояниях. Биомедицинская радиоэлектроника, 2018, № 4, с. 27–32.
2. Синицын Н. И., Ёлкин В. А., Бецкий О. В. Определяющее значение структуры водосодержащей среды живых тканей в биомедицинских радиоэлектронных нанотехнологиях миллиметрового и терагерцового диапазонов. Изв. вузов «ПНД», 2013, т. 21, № 1, с. 67–85.
3. Ramundo-Orlando A., Gallerano G. P., Stano P. Permeability changes induced by 130 GHz pulsed radiation on cationic liposomes loaded with carbonic anhydrase. Bioelectromagnetics, 2007, V. 28, p. 587–598.
4. Ирьянов Ю.М., Кирьянов Н.А. Репаративное костеобразование и ангиогенез в условиях воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты. Вестник РАМН, 2015, №70 (3) с. 334–340. doi:10.15690/vramn.v70i3.1330.
5. Полякова А. Г. Персонализированная микроволновая терапия в комплексе реабилитационных мероприятий при патологии опорно-двигательной системы. Вестник восстановительной медицины, 2016, №6, с. 41–45.
6. A.A. Sentsov, I.G. Bukaeva and G.I. Neuimina, Features of using Extremely High-Frequency Low-Intensity Electromagnetic Radiation in Medical Practice, 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/WECONF51603.2021.9470692.
7. Морозова Л.А., Савельев С.В., Савченко Е.В., Смирнов В.Ф. Генерация радиоотклика на внешнее электромагнитное излучение в водных и биологических средах. Биомедицинская радиоэлектроника, 2017, № 12, с. 46–49.
8. Бецкий О. В., Котровская Т. И., Лебедева Н. Н. Миллиметровые волны в биологии и медицине. III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь», ИРЭ РАН, М., 2009, с. 146–150.

*Ю. А. Новикова\**

к.ф.-м.н., доцент

*Д. А. Владимиров\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА, ИСКАЖЕННОГО ПРИ ЕГО ПРОХОЖДЕНИИ СКВОЗЬ НЕОДНОРОДНЫЙ СЛОЙ

Работа систем технического зрения и их эффективность во многом зависят от влияния среды распространения на качество изображения. Компенсация искажений, вносимых в изображение могут быть скомпенсированы, что улучшает его основные параметры: контраст и разрешающую способность. В работе рассмотрена задача восстановления изображения, искаженного прохождением через неоднородный слой.

**Ключевые слова:** изображение, искажение, техническое зрение, восстановление.

*Y. A. Novikova\**

Candidate of Physic-Math. Sc., Associate Professor

*D. A. Vladimirov\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## RESTORING THE IMAGE OF AN OBJECT DISTORTED DURING ITS PASSAGE THROUGH AN INHOMOGENEOUS LAYER

The operation of vision systems and their effectiveness largely depend on the influence of the propagation medium on image quality. The compensation of distortions introduced into the image can be compensated, which improves its main parameters: contrast and resolution. The paper considers the problem of restoring an image distorted by passing through an inhomogeneous layer.

**Keywords:** image, distortion, technical vision, restoration.

В данной работе предложен цифровой способ восстановления изображения объекта, расположенного за неоднородным слоем при наличии информации о фазе и об амплитуде зондирующего сигнала. Традиционный метод улучшения изображения [1], основанный на применении адаптивного зеркала (метод фазового сопряжения), использует только информацию о фазе зондирующего сигнала. Для обоих методов требуется, чтобы угловые размеры неоднородностей были меньше размеров области изопланатизма. Изопланатизм имеет место, если  $w_n \ll w_0$ , где  $w_n, w_0$  – угловые размеры неоднородностей и объекта относительно наблюдателя.

Если неоднородный слой тонкий, т.е.  $\lambda L/a^2 \ll 1$ , где  $\lambda$  – длина волны,  $L$  – толщина слоя,  $a$  – характерный размер неоднородностей, то зондирующий сигнал успевает приобрести только фазовые искажения и метод фазового сопряжения позволяет убрать искажения, вносимые неоднородным слоем. В случае толстого неоднородного слоя фазовые искажения, приобретаемые зондирующим сигналом при прохождении неоднородной трассы, успевают трансформироваться в амплитудно-фазовые. Поэтому при восстановлении изображения следует использовать всю информацию о пришедшем зондирующем сигнале, то есть как о фазе, так и об амплитуде.

Перейдем к описанию цифрового метода. Точку расположения объекта зондирования примем за начало координат в плоскости, ортогональной оси системы технического зрения (СТЗ) – объект и проходящей через условный центр объекта. Эту плоскость назовем плоскостью объекта. Поле, создаваемое от объекта на входной апертуре СТЗ, обозначим  $E(\mathbf{x}, 0)$ . При отсутствии неоднородностей  $E(\mathbf{x}, 0)$  представляет собой амплитуду расходящейся сферической волны, центром которой является удаленный объект. Рассмотрим точку в плоскости объекта, определяемую некоторым вектором  $\mathbf{P}$  и лежащую в области изопланатизма относительно объекта. Если в эту точку поместить источник света, то поле на входной апертуре будет определяться формулой

$$E(\mathbf{x}, \mathbf{P}) \approx E(\mathbf{x}, 0) \exp\left(i \frac{k}{L}(\mathbf{x}, \mathbf{P})\right),$$

где  $k$  – волновое число,  $L$  – расстояние от объекта до СТЗ.

Пусть  $\Phi(\mathbf{P})$  – распределение амплитуды в плоскости объекта. СТЗ при построении изображения как раз должна воспроизвести  $|\Phi(\mathbf{P})|^2$ . Общее поле от объекта на входной апертуре равно

$$E'(\mathbf{x}) \approx E(\mathbf{x}, 0) \int \exp\left(i \frac{k}{L}(\mathbf{x}, \mathbf{P})\right) \Phi(\mathbf{P}) d\mathbf{P},$$

Следовательно, амплитуда на основе которой строится изображение, вычисляется по формуле

$$\Phi(\mathbf{P}) = \int \exp\left(-\frac{k}{L}(\mathbf{x}, \mathbf{P}) \frac{E'(\mathbf{x})}{E(\mathbf{x}, 0)} d\mathbf{x}\right).$$

Как видно из последней формулы, по распределениям комплексной амплитуды  $E'(\mathbf{x})$  и  $E(\mathbf{x}, 0)$  СТЗ восстанавливает изображение объекта, используя вычисления отношения  $E'(\mathbf{x})/E(\mathbf{x}, 0)$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

#### **Библиографический список**

1. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В., Ососков М. В. Моржин А. В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. М.: Физматкнига, 2010.

*Ю. А. Новикова\**

к. ф.-м. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**НЕЛИНЕЙНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ РЕЗОНАНСНЫХ УРОВНЕЙ МЕТОДОМ ФОТОННОГО ЭХА**

В ходе решения задач спектроскопии в газах, кристаллах и других средах часто используют принципы оптической обработки принципы оптической обработки, которые основаны на динамических пространственно-временных с использованием двух световых импульсов, в том числе при двух фотонной реализации процесса. Однако, перспективны и другие способы анализа, в том числе, фотонного эха, ориентированного на применение трех световых импульсов. В настоящей работе представлены результаты теоретического анализа, позволяющие продемонстрировать перспективность развития данного направления исследований.

**Ключевые слова:** световые импульсы, фотонное эхо, резонансные уровни, метод.

*Y. A. Novikova\**

Candidate of Physic-Math. Sc., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**NONLINEAR SPECTROSCOPY OF RESONANCE LEVELS BY THE PHOTON ECHO METHOD**

In the course of solving spectroscopy problems in gases, crystals and other media, optical processing principles are often used, which are based on dynamic space-time using two light pulses, including with two photon implementation of the process. However, other methods of analysis are promising, including photonic echo, focused on the use of three light pulses. This paper presents the results of a theoretical analysis that allows us to demonstrate the prospects for the development of this area of research.

**Keywords:** light pulses, photon echo, resonance levels, method.

За последние годы метод фотонного эха в газах превратился в один из перспективных методов нелинейной спектроскопии, которая позволяет исследовать структуру квантовых переходов, скрытую доплеровским уширением спектральной линии. В частности, этим методом определяются однородные ширины  $\gamma$  резонансных спектральных линий, обусловленные как радиационным распадом, так и атомными (молекулярными) столкновениями. Кроме того, как показано в [1], методом фотонного эха можно также измерять и другие ( $\xi \neq 1$ ) релаксационные характеристики матрицы оптической когерентности при выполнении условия

$$|j_a - j_b| \leq \xi \leq j_a + j_b,$$

$j_a, j_b$  – угловые моменты нижнего и верхнего резонансных уровней.

Теоретический анализ показал, что методом фотонного эха можно оценивать спектроскопические характеристики самих резонансных уровней. Для этого, в отличие от обычной методики возбуждения резонансной среды двумя световыми импульсами, необходимо использовать трех импульсную методику и регистрировать стимулированное фотонное эхо. При этом следует детально исследовать зависимость интенсивности и поляризации стимулированного фотонного эха от релаксационных характеристик, ответственных за релаксацию населенностей, магнитно-дипольных (релаксация ориентации) и квадрупольных (релаксация выстраивания) моментов резонансных уровней, что в свою очередь, позволяет проводить экспериментальное измерение каждой из этих характеристик в отдельности.

Так в [2] был экспериментально реализован модифицированный вариант стимулированного фотонного эха, заключающийся в возбуждении среды тремя световыми импульсами, первые два из которых резонансны переходу  $b \rightarrow a$ , а третий – переходу  $c \rightarrow b$ , или  $c \rightarrow a$ . Здесь  $c$  – некоторый энергетический уровень активных атомов исследуемого газа, отличный от  $a$  и  $b$ .

Этот модифицированный вариант стимулированного фотонного эха особенно перспективен для нахождения времен релаксации населенности, ориентации и выстраивания каждого из резонансных уровней.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

**Библиографический список**

1. A. Rebane, J. Callus and O. Ollikainen. Femtosecond Photon Echo Spectroscopy in Single Laser Shot // Laser Physics, 2002, Vol. 12, № 7, pp. 1–9.
2. Marie-Louise Groot, Jae-Young Yu, Ritesh Agarwal, James R. Norris, and Graham R. Fleming. Three-Pulse Photon Echo Measurements on the Accessory Pigments in the Reaction Center of Rhodospirillum rubrum // J. Phys. Chem. B. 1998, V. 102, pp. 5923–593.

Ю. А. Новикова\*

к. ф.-м. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРОЦЕДУРА КАЛИБРОВКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХФОТОННОГО СВЕТА

Калибровка фотоприемников фотонов позволяет увеличить эффективность измерений, в том числе основанных на процедуре приеме и оценке параметров потоков фотонов. В настоящей работе представлены результаты теоретического анализа особенности работы фотоприемников, реализованных для одно-детекторного и двух-детекторного приема. Процедура калибровки в наиболее перспективном дискретном варианте реализуется через относительное число совпадений импульсов в каналах.

**Ключевые слова:** калибровка, двухфотонный свет, фотоэлектронный умножитель, фильтрация

Y. A. Novikova\*

Candidate of Physic-Math. Sc., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE PROCEDURE FOR CALIBRATING PHOTODETECTORS USING TWO-PHOTON LIGHT

Calibration of photon photodetectors makes it possible to increase the efficiency of measurements, including those based on the procedure for receiving and evaluating the parameters of photon fluxes. This paper presents the results of a theoretical analysis of the features of the operation of photodetectors implemented for single-detector and two-detector reception. The calibration procedure in the most promising discrete version is implemented through the relative number of pulse coincidences in the channels.

**Keywords:** calibration, two-photon light, photoelectronic multiplier, filtration.

Предлагается метод калибровки фотоэлектрических детекторов света, основанный на особенностях статистики двухфотонного электромагнитного поля, излучаемого при спонтанном параметрическом рассеянии (ПР). Двухфотонный свет (ДФС) отличается от обычного теплового или лазерного света тем, что фотоны сгруппированы во времени в пары, причем среднее расстояние между фотонами одной пары  $\Delta t$  много меньше расстояния между парами  $1/R$  [1]. Параметрический ДФС отличается также близости направлений излучения фотонов в парах. Развивается феноменологическая теория ПР, основанная на понятиях линейной и квадратичной матриц рассеяния образца и из которой следует, что фотоны излучаются только парами. Показывается, что априорная информация о двухфотонном характере распределения фотонов во времени позволяет производить абсолютное (т.е. не нуждающееся в какой-либо предварительной калибровке) измерение квантовой эффективности фотоэлементов и фотоэлектрических умножителей (ФЭУ) (а также, возможно, и других типов измерителей энергии света).

Рассматривается несколько вариантов схем калибровки – одним или двумя детекторами, которые могут работать или в линейном аналоговом режиме (с перекрывающимися фотоэлектронными импульсами) или в дискретном режиме счета отдельных импульсов.

Принцип калибровки в однодетекторном дискретном варианте основан на сравнении частот появления одно- и двухэлектронных импульсов тока на выходе ФЭУ при его облучении ДФС. Пусть темновой ток пренебрежимо мал и выполняются неравенства  $\Delta t \ll \tau \ll 1/R$  ( $\tau$  – длительность отдельного импульса, определяемая инерцией ФЭУ или усилителя), тогда некоторые импульсы будут иметь двойной заряд  $2eM$  (здесь  $M$  – коэффициент размножения за счет вторичной эмиссии) в результате практически одно-временной ( $\Delta t < 1$  пс) эмиссии двух фотоэлектронов. Вероятность таких сдвоенных импульсов пропорциональна  $\eta^2$ , а вероятность одиночных –  $\eta$ , и поэтому отношение чисел двойных и одиночных импульсов равно  $\eta$ . При этом необходимо, конечно, чтобы флуктуации  $M$  были достаточно малы.

В аналоговом однодетекторном варианте измеряется в относительных единицах мощность дробового шума фотоприемника, который содержит два слагаемых, пропорциональных  $\eta$  и  $\eta^2$ . С помощью пространственной или частотной фильтрации ДФС можно превратить в однофотонный свет, при этом второе слагаемое исчезает, а первое уменьшается в 2 раза, что и позволяет определить  $\eta$ .

В двухдетекторных схемах ДФС разделяется по частоте на две однофотонные части, которые направляются каждая на свой детектор. В аналоговом режиме выражается через коэффициент корреляции дробовых шумов двух каналов, а в дискретном через относительное число совпадений импульсов в каналах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

### Библиографический список

1. A. Rebane, J. Callus and O. Ollikainen. Femtosecond Photon Echo Spectroscopy in Single Laser Shot // Laser Physics, 2002, Vol. 12, № 7, pp. 1–9.

*А. В. Носаева\**

аспирант, старший преподаватель

*Е. С. Цобкалло\**

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## РАЗРАБОТКА ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЭТФ

Изучено влияние концентрации дисперсного нанонаполнителя и степени ориентационной вытяжки на деформационно-прочностные свойства и износостойкость композиционных нитей.

**Ключевые слова:** износостойкость, полиэтилентерефталат, композиционные нити, нанонаполнители.

*A. V. Nosaeva\**

graduate student,

*E. S. Tsobkallo\**

D. E. Sc, Professor

\*Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design

## DEVELOPMENT OF WEAR-RESISTANT COMPOSITE MATERIALS BASED ON PET

The influence of the concentration of dispersed nanofiller and the degree of orientation draw on the deformation-strength properties and wear resistance of composite threads.

**Keywords:** wear resistance, polyethylene terephthalate, composite threads, nanofillers.

Полимерные волокнистые материалы имеют широкий спектр применения при создании специальных текстильных материалов различного назначения: от бытового до технического. В последнее время отмечается рост интереса к разработке и исследованию новых волокнистых композиционных материалов, обладающих определёнными эксплуатационными свойствами, такими как прочность, жёсткость, устойчивость к износу и другие. Одним из перспективных методов создания таких материалов является изменение структуры полимеров за счёт добавления нанонаполнителей. Разработка прототипов, изучение механических и трибологических свойств, а также установление взаимосвязи этих свойств со структурными особенностями полученных композиционных нитей даст возможность контролировать изменение эксплуатационных характеристик при формировании новых материалов с комплексом уникальных свойств.

Для достижения поставленной цели были получены композиционные нити на основе полиэтилентерефталата и дисперсных наночастиц диоксида кремния и оксида алюминия, проведены испытания для определения деформационно-прочностных свойств, устойчивости нитей к самоизносу до разрыва и абразивному износу. Выбор методики, параметров и режима испытаний для определения износостойкости волокнистого композиционного материала существенным образом зависит от условий эксплуатации изделий из этого материала.

Основные механические характеристики ориентированных композитов были определены на основе одноосного растяжения. Было выявлено, что при добавлении наночастиц к матрице полимера существует оптимальная их концентрация, приводящая к увеличению прочности, жесткости и износостойкости ориентированных волокнистых композиционных материалов.

Исследованы структура и свойства композиционных материалов, установлена их взаимосвязь, определены требуемые концентрации вводимых наполнителей, а также отмечена хорошая воспроизводимость и стабильность результатов испытаний для создания новых материалов с комплексом уникальных свойств.

### Библиографический список

1. Шибанова А. В., Цобкалло Е. С., Соколов В. П. Разработка лабораторной установки и методики испытания волокон и нитей на истирание по абразиву // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности, 2019. № 1. С. 93–97.
2. Москалюк О. А., Цобкалло Е. С., Юдин В. Е., Шибанова А. В., Малафеев К. В., Pierfrancesco Morganti. Влияние функциональных дисперсных наполнителей на механические свойства волокнистых полимерных композиционных материалов // Химические волокна, 2018. № 3, С. 67–71.

**В. В. Перлюк\***

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), институт аэрокосмических приборов и систем ГУАП.

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ МАЛЫХ СПУТНИКОВ ПО ПОКАЗАНИЯМ МАГНИТОМЕТРОВ

Рассматривается перспективная автономная бортовая система определения пространственного положения наноспутников, основанная на простом измерении векторной величины направления магнитного поля на орбите Земли с помощью бортовых магнитометров.

**Ключевые слова:** Наноспутники, низкоорбитальные группировки спутников, элементы орбиты спутника, параметры пространственного положения спутника.

**V. V. Perliouk\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation (SUAI), Institute of Aerospace Instruments and Systems SUAI.

## ANALYSIS OF THE ACCURACY CHARACTERISTICS OF A NEW METHOD FOR DETERMINING ORBIT PARAMETERS OF SMALL SATELLITES FROM MAGNETOMETER READINGS

A promising autonomous onboard system for determining the position of nanosatellites is considered, based on a simple measurement of the vector magnitude of the direction of the magnetic field in Earth's orbit using onboard magnetometers. The data processing method developed for it makes it possible to determine the parameters of the semimajor axis of the nanosatellite orbit.

**Keywords:** Nanosatellites, low-orbit constellations of satellites, satellite orbital elements, satellite spatial position parameters.

Интерес к разработке спутников малого размера стал особенно популярен в последние годы. Тем не менее, ограничения, связанные с небольшими размерами таких спутников, представляют собой серьезную инженерную проблему решения задач навигации и управления ими [1,2]. Особые трудности возникают, если речь заходит о создании низкоорбитальной спутниковой группировки с учетом небольших взаимных расстояний между спутниками [3,4].

Методы измерения положения малых космических аппаратов (МКА) обычно включают использование специализированных космических приемников GPS. Однако, в последние годы для Российских космических аппаратов использование иностранных GPS систем, становится крайне нежелательным, а отечественные миниатюрные космические приемники ГЛОНАСС для размещения в составе наноспутников просто отсутствуют.

Поэтому весьма полезно разработать систему определения пространственного положения спутника, которая была бы одновременно автономной и легкой по массе, небольшой по габаритам и с небольшим потреблением электроэнергии. Данный доклад призван стать небольшим шагом к достижению этой цели, поскольку позволяет определять параметры большой полуоси орбиты наноспутника по показаниям магнитометров. Его актуальность подтверждает усиливающееся в последнее время использование численных методов для оценки пространственного положения спутников на орбите на основании измерения параметров, косвенно связанных с параметрами орбиты [5].

Идея излагаемого в докладе метода заключается в том, что сигнал  $B(t)$  величины магнитного поля, измеренный на наноспутнике, вращающегося вокруг Земли, имеет четкую периодичность, которая может дать информацию о параметрах орбиты наноспутника. Следовательно, ожидается, что с помощью преобразования Фурье  $B(t)$  можно вычислить частоты вращения наноспутника  $f_{sat}$ . В итоге, большую полуось орбиты наноспутника  $a$  можно вычислить по периоду наноспутника с помощью формулы:

$$\frac{1}{T_{sat}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\mu}} a^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Чтобы использовать эту процедуру, следует использовать модель магнитного поля вокруг Земли. Модель реализует сферическое гармоническое выражение для потенциала магнитного поля  $V$  следующим образом:

$$V(r, \theta, \phi) = R_E \sum_{n=1}^k \left( \frac{a}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\sin \theta) \quad (2)$$

где  $R_E$  – опорный радиус Земли,  $r$ ,  $\theta$  и  $\varphi$  – геоцентрические координаты, а именно высота, широта и долгота соответственно,  $g_n^m$  и  $h_n^m$  – коэффициенты, а  $P_n^m$  – квазинормированные ассоциированные функции Лежандра – Шмидта.

Поскольку магнитное поле  $B(t)$  рассчитывается непосредственно через его потенциал, то определение спектра этого потенциала дает больше информации о магнитном поле. Здесь ключевым моментом является формирование выражения для  $\theta$  и  $\varphi$  через измеренные частоты вращения Земли и спутника, где  $\theta$  и  $\varphi$  следует понимать как геометрические координаты спутника относительно системы координат, привязанных к Земле (ЭКР).

Описанный метод способен оценить элементы орбиты с погрешностью менее 1 км. Результат многообещающий, но предстоит проделать большую работу по расширению возможностей алгоритма с точки зрения точности и включению в измеряемые параметры орбиты ее наклон и эксцентриситета.

Доклад подготовлен по результатам исследований, проводимых НИР по госзаданию С-16 ГУАП “Методы управления относительным движением малых спутников для решения задач обмена данными и мониторинга”.

#### Библиографический список

1. Gill, E. and Sundaramoorthy, P. and Bouwmeester, J. and Zandbergen, B. and Reinhard, R. Formation flying within a constellation of nano-satellites: The QB50 mission. Acta Astronautica, volume 82, pages 110–117, 2013.
2. Крючков Е. С., Перлюк В. В. Исследование состояния отрасли микроспутникостроения // научно-технический журнал “Военно-экономический вестник” – М.;, 2023 – с. 488–496.
3. Аристов А. А., Перлюк В. В., Небылов А. В. Исследование оптического метода определения взаимного расположения микроспутников в группе // Космонавтика и ракетостроение: журнал.: выпуск №4(133), ISSN 1994 – 3210 Индекс 20859 – Королев: АО “ЦНИИмаш”., 2023 – с. 31–42.
4. Федоринов А. Ю., Перлюк В. В. Исследование алгоритма синхронизации времени для низкоорбитальной группировки микроспутников // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2023. N. 4. – С. 58–67.
5. Колюка Ю. Ф., Петухов О. А. Анализ характеристик нового метода численного интегрирования уравнений движения космических объектов на околоземных орбитах разного типа. // Космонавтика и ракетостроение: журнал: выпуск № 1(130), ISSN 1994 – 3210 Индекс 20859 – Королев: АО “ЦНИИмаш”., 2023 – с. 23–43.

**В. В. Перлюк\***

к. т. н., доцент

**М. А. Епринцев\***

аспирант, преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП),  
Институт аэрокосмических приборов и систем ГУАП.

## АЛГОРИТМ ВЫСОКОТОЧНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ МАЛЫХ СПУТНИКОВ ПО ПОКАЗАНИЯМ МАГНИТОМЕТРОВ

Рассматривается усовершенствованный алгоритм определения пространственного положения низкоорбитального наноспутника, основанный на вычислении большой полуоси орбиты по данным, получаемых с помощью бортовых магнитометров. Предусматривается уточнение параметров орбиты по мере накопления данных в результате выполнения серии последовательных витков.

**Ключевые слова:** Наноспутники, низкоорбитальные группировки спутников, элементы орбиты спутника, параметры пространственного положения спутника.

**V. V. Perliouk\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

**M. A. Eprintsev\***

graduate student, teacher

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation (SUAI),  
Institute of Aerospace Instruments and Systems SUAI.

## ALGORITHM FOR A HIGH-PRECISION METHOD FOR DETERMINING ORBIT PARAMETERS OF SMALL SATELLITES FROM MAGNETOMETER READINGS

An improved algorithm for determining the spatial position of a low-orbit nanosatellite is considered, based on calculating the semi-major axis of the orbit from data obtained using onboard magnetometers. It is planned to refine the orbital parameters as data is accumulated as a result of a series of successive orbits.

**Keywords:** Nanosatellites, low-orbit constellations of satellites, satellite orbital elements, satellite spatial position parameters.

В связи с ростом актуальности задачи создания группировок низкоорбитальных наноспутников, представляется крайне полезной разработка системы определения пространственного положения спутника, которая была бы одновременно автономной и легкой по массе, небольшой по габаритам и с небольшим потреблением электроэнергии [1,2]. В докладе представлен новый алгоритм определения большой полуоси орбиты спутника, в котором используется только величина магнитного поля Земли, регистрируемая бортовыми магнитометрами [3], что позволяет отказаться от использования в составе приборного оборудования наноспутника дорогих и крупногабаритных элементов.

Для тестирования работоспособности алгоритма была создана система моделирования. Платформа использует Scilab [4] с библиотекой CelestLab, разработанной Национальным центром навигации Французского космического агентства (Centre National d'Etudes Spatiales для моделирования орбитального движения спутников. Набор инструментов CelestLab реализует модель геомагнитного поля IGRF11. Данные о полете спутника, созданные в Scilab, экспортируются в Matlab, где реализуется алгоритм определения параметров орбиты. На рисунке 1 представлена обобщенная схема процесса моделирования.

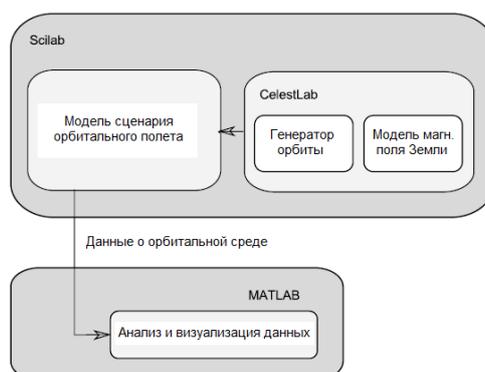


Рис. 1. Схема системы моделирования

Алгоритм также был протестирован на реальных данных методом численного моделирования. Для этой цели были использованы измерения магнитного поля, собранные спутниковой группировкой SWARM [5]. Благодаря очень точным магнитометрам на борту, данные, собранные SWARM, отлично подходят для проверки алгоритма определения орбиты. Орбита SWARM-A почти круговая с эксцентриситетом 0,0003, наклоном 87,4 градуса и средней полуосью 6853 км. В данной работе проанализирована величина магнитного поля, измеренная бортовым магнитным датчиком в течение примерно 5 суток. Чтобы проверить правильность извлеченных данных, они сравнивались с полем, предсказанным моделью IGRF, реализованной в Scilab. Визуальный осмотр полученных графиков показывает, что ошибки на несколько порядков меньше, чем сам сигнал.

Доклад подготовлен по результатам исследований, проводимых НИР по госзаданию С-16 ГУАП “Методы управления относительным движением малых спутников для решения задач обмена данными и мониторинга”.

#### **Библиографический список**

1. Аристов А. А., Перлюк В. В., Небылов А. В. Исследование оптического метода определения взаимного расположения микроспутников в группе // Космонавтика и ракетостроение: журнал.: выпуск №4(133), ISSN 1994 – 3210 Индекс 20859 – Королев: АО "ЦНИИмаш"., 2023 – с. 31–42.
2. Федоринов А. Ю., Перлюк В. В. Исследование алгоритма синхронизации времени для низкоорбитальной группировки микроспутников / // Информационно- измерительные и управляющие системы. – 2023. N. 4. – С. 58–67.
3. Епринцев М. А., Перлюк В. В. Исследование возможностей применения электромагнитного подвеса для оценки параметров конструкции малого космического аппарата // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2023. N.4. – С. 40–51.
4. Scilab Enterprises. Scilab: Free and Open Source software for numerical computation. Orsay, France, 2012.
5. Puthé, C. and Kuvshinov, A. Determination of the 3-D distribution of electrical conductivity in Earth’s mantle from Swarm satellite data: frequency domain approach based on inversion of induced coefficients. Earth, Planets, and Space, volume 65, pages 1247–1256, 2013.

**В. В. Перлюк\***

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП),  
Институт аэрокосмических приборов и систем ГУАП.**ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ И ВРЕМЕННЫХ РАССИНХРОНИЗАЦИЙ  
МЕЖДУ МАЛЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ**

В рассматриваемом методе предлагается интегрировать в единую аппаратно- программную систему каналы псевдошумовой регенеративной дальности для малых космических аппаратов в группе. Новая интегрированная система может обеспечить распределенные малые спутниковые системы высокоточным измерением взаимных расстояний и разницы в опорных синхросигналах в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** Малые космические аппараты, синхронизация времени, межспутниковая дальность, автономный полет спутниковой группировки.

**V. V. Perliouk\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation (SUAI),  
Institute of Aerospace Instruments and Systems SUAI**INTEGRATED METHOD FOR MEASUREMENT OF DISTANCES AND TIME DISYNSCHRONIZATIONS  
BETWEEN SMALL SPACECRAFT**

In the method under consideration, it is proposed to integrate pseudo-noise regenerative range channels for small spacecraft in a group into a single hardware-software system. The new integrated system can provide distributed small satellite systems with highly accurate, real-time measurements of mutual distances and timing reference differences.

**Keywords:** Small spacecraft, time synchronization, intersatellite range, autonomous flight of a satellite constellation.

В последние годы использование технологий микроэлектроники и микросистемотехники, особенно применение готовых компактных коммерческих компонентов, устранило компромисс между функциональностью и весо- энергетическими ограничениями малых спутников [1,2]. В результате стоимость производства и цена запуска группировки малых спутников намного дешевле, а время разработки намного короче, чем развертывание одного большого спутника. По сравнению с одиночными спутниками, структура решаемых миссий спутниковой группировки может быть более гибкой, но одной из проблем является их высокоточная взаимная навигация [3]. Очень важно согласовать пространственные и временные отношения между каждым двумя взаимодействующими спутниками в группе [4]. Это необходимо для предотвращения столкновений спутников и поддержания распределенной конфигурации. С другой стороны, необходима точная система измерения межспутниковой рассинхронизации во времени, поскольку состояния спутников должны быть скоординированы для правильного соответствия расписанию операций в рамках решаемой миссии.

В настоящее время наиболее распространенными методами для взаимной координации спутников является измерение псевдошумовой регенеративной дальности (PNRR) и двусторонний метод измерения разности во времени (RWTDM) [5,6]. Рассмотрим ситуацию, когда два спутника M-sat и S-sat генерируют последовательно сигналы PN с одинаковой скоростью передачи тактовых импульсов, а время M-sat опережает время S-sat на  $\Delta T$ . Тогда разность фаз по времени между PN-сигналами M-sat и S-sat может быть выражена как:

$$\phi_m(t) = 2\pi f_{PN}t, \phi_s(t) = 2\pi f_{PN}(t-\Delta T). \phi_m(t_1) = \phi_s(t_2) = \phi, \Delta T = t_2 - t_1$$

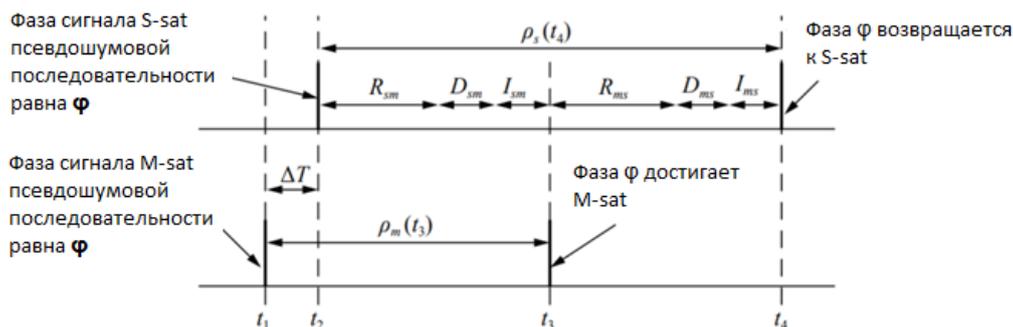


Рис. 1. Процесс измерения PNRR и RWTDM

На рис. 1 показан процесс измерения PNRR и RWTDM путем отслеживания процесса передачи фазы сигнала  $\varphi$ , передаваемой со спутника S-sat.

Предположим, что измерение разности фаз может быть выполнено мгновенно, независимо от того, M-sat или S-sat, и игнорировать шум. Тогда одностороннее измерение M-sat в момент времени  $t_3$ , а также измерение S-sat в обе стороны в момент времени  $t_4$  равны

$$\begin{aligned}\rho_m(t_3) &= 1/2\pi f_{PN} (\varphi_m(t_3) - \varphi_s(t_2)) = \Delta T + R_{sm} + D_{sm} + I_{sm}, \\ \rho_s(t_4) &= 1/2\pi f_{PN} (\varphi_s(t_4) - \varphi_s(t_2)) = R_{sm} + R_{ms} + D_{sm} + D_{ms} + I_{sm} + I_{ms},\end{aligned}\quad (1)$$

где  $R$ ,  $D$  и  $I$  представляют собой задержку на пути передачи сигнала, задержку устройства и ионосферную задержку соответственно, с нижним индексом, указывающим направление пути. Уравнение измерения межспутникового расстояния имеет вид:

$$r = c/2 (\rho_s(t_4) - (D_{sm} + D_{ms}) - (I_{sm} + I_{ms})) \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), отделим разницу во времени между спутниками от односторонних измерений:

$$\Delta T = \rho_m(t_3) - 1/2 \rho_s(t_4) + 1/2 (D_{ms} - D_{sm}) + 1/2 (I_{ms} - I_{sm}).$$

Результаты проведенных компьютерных экспериментов показывают, что точность определения дальности составляет около 1,94 см, а точность измерения разницы во времени – около 78,4 пс при отношении сигнал/шум 80 дБ/Гц.

Доклад подготовлен по результатам исследований, проводимых НИР по госзаданию С-16 ГУАП “Методы управления относительным движением малых спутников для решения задач обмена данными и мониторинга”.

#### Библиографический список

1. Pogosyan A., Golkar A. CubeSat evolution: analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions // *Progress in Aerospace Sciences*, 2017, 88: pages 59–83.
2. Крючков Е. С., Перлюк В. В. Исследование состояния отрасли микроспутникостроения // *научно-технический журнал “Военно-экономический вестник”* – М.:, 2023 – с. 488–496.
3. Аристов А. А., Перлюк В. В., Небылов А. В. Исследование оптического метода определения взаимного расположения микроспутников в группе // *Космонавтика и ракетостроение: журнал.: выпуск №4(133), ISSN 1994 – 3210 Индекс 20859 – Королев: АО “ЦНИИмаш”.*, 2023 – с. 31–42.
4. Федоринов А. Ю., Перлюк В. В. Исследование алгоритма синхронизации времени для низкоорбитальной группировки микроспутников // *Информационно-измерительные и управляющие системы.* – 2023. N.4. – С. 58–67.
5. Kirchner D. Two-way time transfer via communication satellites. *Proceedings of the IEEE*, 1991, 79(7): 983–990.
6. Pan L. J., Jiang T., Zhou Y., et al. A research on highprecision time-synchronization and ranging system between satellites. *Proc. of the International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, 2008: 926–929.

Г. М. Петров\*

студент,

Н. В. Тарасов\*

младший специалист лаборатории БАС

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АППАРАТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Описаны принципы передачи аналогового видеосигнала в беспилотных системах.

**Ключевые слова:** видеосигнал, диапазон, беспроводная передача, видеопередатчик, видеоприемник.

G. M. Petrov\*

student,

N. V. Tarasov\*

junior specialist of UAS laboratory

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## HARDWARE COMPONENTS FOR INFORMATION FLOW TRANSMISSION OF UNMANNED SYSTEMS

The principles of analog video signal transmission in unmanned systems are described, as well as the necessary hardware for this purpose.

**Keywords:** video signal, range, wireless transmission, video transmitter, video receiver.

В беспилотных системах, таких как дроны, широко используют технологии беспроводной передачи видеосигнала, полученного с камеры дрона, на устройство управления [1, 2]. Как правило, для этого используют следующие диапазоны частот: 900 МГц, 1,2 ГГц, 2,4 ГГц или 5,8 ГГц. Самым распространенным является диапазон 5,8 ГГц, часто используемый в системах для полетов от первого лица [3].

Для беспроводной передачи видеосигнала необходимы следующие устройства [3]:

1. Видеопередатчик (трансмиссер): преобразует видеосигнал в формат, пригодный для беспроводной передачи, и отправляет его через радиоволновый канал.
2. Видеоприемник (ресивер): принимает беспроводной сигнал и декодирует его обратно в видеоформат, который может быть отображен на экране. Видеоприемник работает на той же частоте, что и соответствующий ему передатчик.
3. Антенны: используются для усиления и направленной передачи радиосигнала. Антенны могут быть как встроенными в устройства, так и внешними.
4. Камера: захватывает видеосигнал для последующей передачи.

В принципиальную схему видеопередатчика входит две основные микросхемы: широкополосный FM-трансмиссер и трехкаскадный усилитель мощности (УМ) (рис. 1).

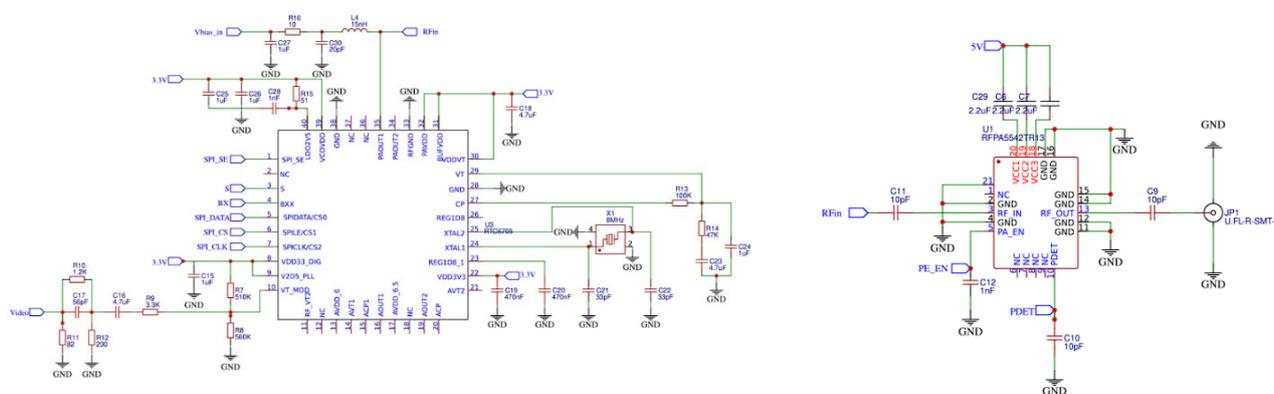


Рис. 1. Принципиальные схемы широкополосного усилителя и трансмиттера

RTC6705 – это широкополосный FM-трансмиссер, предназначенный для использования в диапазонах 5.8 ГГц FM передачи (рисунок 1). Микросхема включает в себя ВЧ-модулятор диапазона 5.8 ГГц, и внутренний усилитель мощности с выходной мощностью +13 дБм. Блок РЧ-модулятора диапазона 5.8 ГГц, построенный на

основе синтезатора частот с интегрированным VCO, генерирует сигнал в диапазоне 5.8 ГГц. RFPA5542 – это трехкаскадный усилитель мощности, работающий в диапазоне от 4.9 ГГц до 5.925 ГГц. Он обеспечивает усиление 33 дБ и выходную мощность до 23 дБм при EVM менее 1.8%. Модуль оснащен встроенным регулятором и обеспечивает отличную эффективность при добавлении мощности. Данные компоненты применяются для решения задачи беспроводной передачи видеоданных с борта беспилотной системы с целью решения различных задач, от удаленного управления до решения задачи авиамониторинга и идентификации объектов при помощи машинного зрения.

#### **Библиографический список**

1. Костин, А. С. Исследование аппаратных комплексов для автономной идентификации мест посадки беспилотных авиационных систем / Н. Н. Майоров, А. С. Костин // Датчики и системы. – 2022. – № 5 (264). – С. 42–49.
2. Костин, А. С. Особенности практической реализации беспилотной авиационной системы мультиро-торного типа на базе 5-ти дюймового квадрокоптера для отработки навыков пилотирования и авиамониторинга от первого лица /Ю. А. Силин, А. С. Костин // Системный анализ и логистика. – 2022. – № 4 (34). – С. 125–134.
3. Drones and Model Aircraft. URL: <https://drones.stackexchange.com/questions/810/why-is-5-8ghz-used-for-fpv-and-2-4ghz-use-for-transmitters> (дата обращения: 13.01.2024).

*Л. Д. Примак\**

Студент кафедры прикладной математики

*В. А. Галанина\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ

Обзор методов оценки положения объекта в трехмерном пространстве, включая акустические, радиочастотные, оптические, магнитные, инерциальные и гибридные методы. Рассмотрены их преимущества, недостатки и область применения.

**Ключевые слова:** отслеживание положения, пространство, оптические маркеры, безмаркерный трекинг, инерциальный трекинг, оптические методы, гибридные методы, расширенный фильтр Калмана, акустический метод, радиочастотные методы, магнитные методы.

*L. D. Primak\**

student of the Department of Applied Mathematics,

*V. A. Galanina\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## METHODS OF OBJECT POSITION ESTIMATION IN SPACE

An overview of methods for estimating the position of an object in three-dimensional space, including acoustic, radio frequency, optical, magnetic, inertial, and hybrid methods. Their advantages, disadvantages, and areas of application are considered.

**Keywords:** position tracking, space, optical markers, markerless tracking, inertial tracking, optical methods, hybrid methods, Extended Kalman Filter, acoustic method, radio frequency methods, magnetic methods.

Оценка положения объекта в пространстве имеет важное значение для навигации, робототехники, автономных транспортных средств и виртуальной/дополненной реальности, где существует потребность в точной оценке положения объектов. Целью работы является обзор различных методов оценки положения объекта, их особенностей и возможностей применения в различных условиях, включая акустические, радиочастотные, магнитные, оптические, инерциальные и гибридные методы. Авторами были выделены основные преимущества и недостатки, связанные с каждым методом, а также возможности комбинирования различных методов для достижения оптимальных результатов, так как для решения сложных задач может потребоваться использование нескольких методов, в зависимости от конкретной задачи и условий использования.

В результате проведенного исследования было выявлено, что выбор метода навигации тесно связан с конкретной задачей и условиями использования, и может потребовать комбинации различных методов для достижения оптимальных результатов. Например, акустический метод применяется в гидролокационных системах для отслеживания объектов, где GPS недоступен, однако может столкнуться с проблемами мультипаттернинга и шума. Радиочастотный метод используется для организации навигации по магазину, построения интерактивных карт и мониторинга персонала в режиме реального времени. Он обладает большим радиусом действия, но может быть подвержен помехам. Магнитные методы включены в такие приборы, как магнитометры и игровые беспроводные контроллеры, но при этом они чувствительны к воздействию внешних магнитных полей. Оптический метод, обеспечивающий высокую точность, применяется в научных исследованиях, медицинской диагностике, производственных процессах, компьютерных играх и виртуальной реальности, однако требует прямой видимости. Инерциальный метод, используемый в носимых устройствах, авиации, космической навигации и морской навигации, обладает быстрой скоростью обновления, но подвержен накоплению ошибок.

Важно учитывать, что различные методы оценки положения объекта в пространстве могут быть более или менее подходящими в зависимости от конкретной ситуации, поэтому их совместное использование может обеспечить более точные и надежные результаты. При этом, на данный момент, успешное комбинирование нескольких методов реализовано с помощью гибридного метода, включающего оптический и инерциальный методы. Такой подход является наиболее оптимальным по сравнению с использованием методов по отдельности. Он широко используется в автономных транспортных средствах, робототехнике, в VR – сфере, например, в системе SteamVR Lighthouse.

### Библиографический список

1. Обзор методов и технологий отслеживания положения для виртуальной реальности URL: <https://habr.com/ru/post/397757/> (дата обращения: 16.11.23).
2. Оценка положения URL: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Оценка\\_положения](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Оценка_положения) (дата обращения: 16.11.23).
3. Виртуальная реальность. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Виртуальная\\_реальность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Виртуальная_реальность) (дата обращения: 16.11.23).

*О. К. Пучкова\**

старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НЕКОТОРЫЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОСТРАДАВШИХ

Проанализированы причины возникновения чрезвычайных ситуаций с точки зрения психологических особенностей поведения человека. Рассмотрены факторы риска, связанные с психическими характеристиками человека, что особенно актуально для профессий с высокой вероятностью возникновения чрезвычайных ситуаций. Обозначена необходимость проведения психофизиологической реабилитации пострадавших в чрезвычайных ситуациях, которая является частью медико-психологического обеспечения их профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, факторы риска, экстренная психологическая помощь, пострадавшие в чрезвычайных ситуациях, реабилитация.

*О. К. Puchkova\**

Senior Lecturer

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## SOME PSYCHOLOGICAL FEATURES OF THE CAUSES OF EMERGENCY SITUATIONS AND REHABILITATION OF VICTIMS

The causes of emergencies are analyzed from point of view of the psychological characteristics of human behavior. Risk factors associated with a person's mental characteristics are considered, which is especially important for professions with a high probability of emergency situations. The need for psycho physiological rehabilitation of victim in emergency situations, which is a part of the medical and psychological support of their professional activities, is outlined.

**Keywords:** Emergency situation, risk factors, emergency psychological assistance, causing harm in established cases, rehabilitation.

Увеличение количества техногенных аварий и катастроф, стихийных бедствий вызывают сильнейшие психические потрясения и на долгие годы лишают пострадавших нормальных условий жизнедеятельности, снижают их качество жизни.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловлены человеческим фактором.

При этом существуют определенные факторы риска, характерные для человека, которые способствуют возникновению чрезвычайных ситуаций. Часть из них связана с психическими характеристиками человека, его вредными привычками или болезнями. Очевидно, что свойства нервной системы и особенности личностного темперамента важны для снижения аварий в указанных профессиях с высокой вероятностью возникновения ЧС и требующих быстрого решения (авиадиспетчеры, диспетчеры энергосистем, операторы АСУ, летчики, водители и т.п.)

Часть факторов риска, не связанных с болезнью, являются следствием неподготовленности, необученности и т. д. Повышенный уровень нервного напряжения приводит к быстрому утомлению и возникновению новых ошибочных действий. Повышение профессионализма, накопление опыта является одним из возможных решений подобной проблемы.

Помимо личностных характеристик вероятность ЧС возрастает при возникновении таких неблагоприятных факторов как информационные помехи и информационная перегрузка, неадекватность восприятия информации, отрицательные установки, недостаток информации, лимит времени на принятие решения, неадекватность сенсорных реакций, затрудненность действий вследствие неудобного оборудования (рабочего места).

Отдельно выделяется проблема проведения реабилитационных мероприятий для пострадавших в ЧС. Восстановление здоровья, трудоспособности пострадавших, сохранение их профессионального долголетия, индивидуальной и общественной ценности, социального и личного психического статуса определяется не только гуманистической, но в большей степени экономической целесообразностью.

Пострадавшие в ЧС нуждаются в психофизиологической реабилитации, которая является частью медико-психологического обеспечения профессиональной деятельности.

Медико-психологическая реабилитация направлена на личность пострадавшего, его самооценку, коммуникативные свойства, потребности, психологические механизмы компенсации и защиты, способы поведения в семье, в профессиональном коллективе и других общественных группах.

Реализация психопрофилактических и реабилитационных мероприятий проводится комплексным составом специалистов различного профиля, в котором участвуют врачи, психологи, социологи, юристы и даже члены семьи.

Наиболее важные принципы медико-психологической реабилитации:

1. Наиболее возможно раннее ее начало (непосредственно в очаге поражения).
2. Комплексное участие (психиатры и психологи, педагоги и социологи, юристы и близкие пострадавшего).
3. Непрерывное поэтапное и преемственное применение медико-психологических реабилитационных мероприятий.
4. Активное привлечение пострадавших в ЧС к участию в лечебно-восстановительном процессе.
5. Индивидуализация программы реабилитации в зависимости от пола, возраста, личностных особенностей пострадавшего, общего состояния, характера лечения и т.д.
6. Единство психосоциальных и биологических методов воздействия. С одной стороны, ориентация на человека в целом в его будущее (реабилитация), с другой – направленность на болезнь пострадавшего и его настоящее (лечение).
7. Медико-психологическая реабилитация в коллективе пострадавшими переносится легче, а по эффективности выше.
8. Восстановление профессиональной трудоспособности.

Для оказания экстренной психологической помощи в 1999 году создана психологическая служба МЧС России. Она объединяет специалистов и структурные подразделения в региональных центрах МЧС России, главных управлениях МЧС России субъектов Российской Федерации, учебных заведениях и научно-исследовательских учреждениях МЧС России, а также специалистов в организациях, учреждениях, воинских частях, спасательных отрядах, пожарных частях.

Организационно-методическое руководство психологической службой возложено на государственное учреждение «Центр экстренной психологической помощи МЧС России».

#### **Библиографический список**

1. Ахмадулина Э. А., Абитов И. Р. Оказание психологической помощи людям, попавшим в чрезвычайные ситуации/Медицина чрезвычайных ситуаций. – Т. 2, гл.7. – с. 693–706.
2. Попова Р. Р. Психологическая помощь в кризисных и чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие. – Казань: Издательство Казанского университета, 2013, 110 с.
3. Бархударов Р. М. Чернобыль: размышления о некоторых уроках аварии. Радиационная защита: как это было, выпуск 2, Москва, 2009, 58 с.
4. Межведомственная инструкция «О порядке оказания экстренной психологической помощи пострадавшему населению в зонах чрезвычайных ситуаций и при пожарах» <http://www/mchs.gov.ru/document/396339>.
5. Малокина-Пях И. Г. Экстремальные ситуации. – М.:Изд-во Эксмо, 2005. – 960с.- (Справочник практического психолога) <http://www/litmir.co/br/?=202111>.

*М. В. Рыжиков\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСКАЖЕНИЯ ПРИ СЖАТИИ СИГНАЛОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕИДЕАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Представлены результаты математического моделирования, позволяющего оценить влияние искажений на сжатие радиолокационных сигналов из-за пространственно-частотной избирательности диаграммы направленности фазированной антенной решетки и наличия неравномерности в амплитудно-частотной характеристике приемного тракта антенны.

**Ключевые слова:** диаграмма направленности антенны, амплитудно-частотная характеристика, сжатие сигнала.

*М. В. Ryzhikov\**

Candidate of Tech. Sc., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## DISTORTION DURING SIGNAL COMPRESSION AS A RESULT OF THE IMPERFECT FREQUENCY RESPONSE OF THE PHASED ARRAY

The results of mathematical modeling are presented, which makes it possible to assess the effect of distortion on the compression of radar signals due to the spatial-frequency selectivity of the directional pattern of the phased array antenna and the presence of unevenness in the amplitude-frequency response of the antenna receiving path.

**Keywords:** antenna pattern, amplitude-frequency response, signal compression.

Частотная характеристика антенны вызывает искажение принимаемого сигнала. Мерой существенности искажений является степень негативного влияния на ухудшение радиолокационного изображения (РЛИ) в режиме подстилающей поверхности. В упрощенном понимании под искажениями РЛИ следует понимать искажения функции сжатия: взаимокорреляционной функции (ВКФ). При деформации ВКФ имеет место смещение и расширение основного лепестка, увеличение уровня боковых лепестков. Исследовались результаты «классического» сжатия ФКМ-сигналов без подавления боковиков. Модель частотной характеристики (ЧХ) фазированной антенной решеткой (ФАР) была задана в виде произведения пространственно-частотной характеристики (ПЧХ) ФАР [1] и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) приемной ФАР бортовой РЛС –  $K_{\text{ФАР}}(f)$ , которая должна быть измерена или первично оценена посредством произведения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) отдельных СВЧ устройств.

$$K(f, \alpha_0, \beta_0) = K_{\text{ФАР}}(f) K_n(f, \alpha_0, \beta_0),$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – азимут и угол места в сферической системе координат, отсчитываемые от направления нормали к раскрыву антенной решетки,  $f$  – частота излучаемой (принимаемой) электромагнитной волны (ЭМВ).

На рис. 1 приведены результаты моделирования приема ФКМ-сигнала (Баркер 13) с длительностью элементарного импульса порядка  $\tau \approx 20$  нс и последующего его сжатия. ПЧХ была построена для наихудшего случая (наиболее узкой ЧХ) при отклонении на 60 градусов от нормали к раскрыву антенны. Наличие искажений при прохождении модели амплитудно-частотной характеристик приемного тракта ФАР показал расширение лепестка ВКФ и к увеличению максимального уровня боковиков на 19,4%. Из-за влияния ПЧХ антенны лепесток ВКФ расширяется вдвое меньше (в наихудшем случае), при этом увеличение уровня боковиков практически не наблюдается.

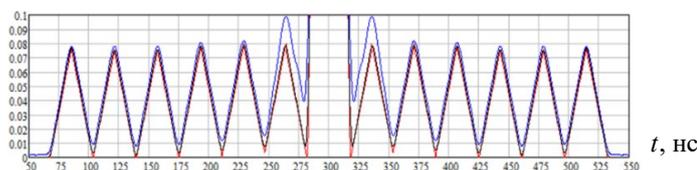


Рис. 1. Результаты сжатия в области боковых лепестков (исходного сигнала – красная линия; сжатого сигнала с искажениями, вызванными ПЧХ – черная линия, с искажениями, вызванными АЧХ – синяя линия)

Таким образом, для того чтобы достичь высокого качества РЛИ при дискетах дальности малой протяженности, следует обеспечивать равномерность АЧХ в широком диапазоне частот не менее 1,5/г.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 23-29-00044.

### Библиографический список

1. А. Н. Братчиков, В. И. Васин, О. О. Василенко и др. Активные фазированные антенные решетки/ Под ред. Д. И. Воскресенского и А. И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004.

*М.Б. Рыжиков\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ УСРЕДНЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОПАСНОСТИ СДВИГА ВЕТРА

Представлены результаты математического анализа, позволяющего установить требования к среднеквадратическому отклонению для оценки радиальной скорости ветровых потоков, измеряемых в метеонавигационной импульсно-доплеровской РЛС, скорость изменения которых по дальности определяет степень опасности сдвига ветра. Поскольку рекомендуемая для воздушных судов величина порога опасности сдвига ветра известна, то для нее можно установить и допустимое среднеквадратическое отклонение, то есть определить и соответствующее максимально допустимое отклонение для оценки радиальной скорости ветровых потоков.

**Ключевые слова:** радиолокационное обнаружение, сдвиг ветра, радиальная скорость, F-фактор.

*М. В. Ryzhikov\**

Candidate of Tech. Sc., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE STANDARD DEVIATION OF THE AVERAGE WIND SHEAR SAFETY FACTOR

The results of a mathematical analysis are presented, which makes it possible to establish the requirements for the standard deviation for estimating the radial velocity of wind flows measured in a meteorological navigation pulse-Doppler radar, the rate of change of which determines the degree of danger of wind shear. Since the recommended value of the wind shear hazard threshold for aircraft is known, it is possible to set an acceptable standard deviation for it, that is, to determine the corresponding maximum permissible deviation for estimating the radial velocity of wind flows.

**Keywords:** radar detection, wind shear, radial velocity, F-factor.

Чтобы оценить является ли область сдвига ветра опасной для полета следует использовать усредненное на 1 км значение F-фактора [1], которое обозначается FBAR. Если  $FBAR \geq 0,13$ , то дискрет дальности для которого выполнилось данное условие считается опасным. Если задать среднеквадратическую ошибку (СКО) измерения FBAR, то можно найти и допустимое СКО оценки радиальной скорости ветровых потоков.

F- фактор определяется для дискрета дальности с индексом  $i$  по значениям радиальных скоростей  $U$  в элементах разрешения с номерами  $(i-k)$ , расположенных в симметричном скользящем окне размером  $\pm 350$ м от точки анализа. При произвольном выборе протяженности дискрета дальности  $\Delta r$ , такую оценку можно получить из формулы [2]:

$$F_i = \frac{\sum_{k=-a}^a kU_{i-k}}{\Delta r \sum_{k=-a}^a k^2} K' = K \sum_{k=-a}^a kU_{i-k}; a = \text{ceil} \left[ \left( \frac{350}{\Delta r} \right) - 0,5 \right]; K' = \frac{V_3}{g} + \frac{2h}{V_B}. \quad (1)$$

В формуле (1)  $\text{ceil}$  – функция округления вверх, до ближайшего целого;  $V_3$  – скорость относительно земли;  $V_B$  – истинная воздушная скорость,  $g$  – ускорение свободного падения,  $h$  – высота полета. Выбрав  $\Delta r$  при типовых параметрах полета, получаем постоянное значение  $K$ . Учтем взаимную связь между  $F_i$  и  $FBAR_i$

$$FBAR_i = \frac{K}{N} \sum_{i=-b}^b \sum_{k=-a}^a kU_{i-k}; N = \text{round} \left( \frac{1000}{\Delta r} \right); b = \begin{cases} \frac{N-1}{2}, & \text{если } n - \text{нечетное} \\ \frac{N}{2}, & \text{если } n - \text{четное} \end{cases}.$$

и после раскрытия суммы и нахождения множителей перед  $U_{i-k}$  получим ее в виде:

$$FBAR_i = \frac{K}{N} \sum_{t=-b-a}^{b+a} c_t U_{i-t}.$$

Поскольку распределение оценок радиальной скорости ветровых потоков нормальное, то преобразуя соотношения из [1], можно получить формулу

$$\sigma_{FBAR} = \sigma_u \frac{21K}{\sqrt{N}} \frac{\sqrt{\sum_{t=-b-a}^{b+a} (c_t)^2}}{\sqrt{(a^3 - a)(2b + 1)}}.$$

Она позволяет оценить требования к максимально допустимой величине  $\sigma_{и}$ .

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 23-29-00044.

#### **Библиографический список**

1. RTCA DO-220, Minimum Operational Performance Standards for Airborne Weather Radar with Forward-Looking Windshear Detection Capability. – Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), USA, Washington, DC, September 1993.
2. Бестугин А. Р., Рыжиков М. Б., Новикова Ю. А., Киршина И. А. Оценка опасности микропорывов в бортовой метеонавигационной РЛС для летательных аппаратов малой авиации//Успехи современной радиоэлектроники, Т. 74, № 11, 2020. С. 23–29.

*М.Б. Рыжиков\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЗАКОН НАЧАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ УСИЛЕНИЯ В БОРТОВОЙ МЕТЕО РЛС

Представлены результаты математического анализа, позволяющего определить закон начального управления регулировкой усиления в метеонавигационной радиолокационной станции для случая обнаружения наиболее интенсивно отражающего погодного явления, такого как наличие грозы. Он применим для случая маловысотного полета, когда дальность действия ограничена, но при этом сам закон регулировки усилением приемного тракта представляется простой квадратичной функцией.

**Ключевые слова:** временная автоматическая регулировка усиления, метеонавигационная РЛС, грозовое облако.

*M. B. Ryzhikov\**

Candidate of Tech. Sc., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE LAW OF INITIAL CONTROL OF TEMPORARY AUTOMATIC GAIN CONTROL IN THE ON-BOARD METEOROLOGICAL RADAR

The results of a mathematical analysis are presented, which makes it possible to determine the law of initial control of gain control in a meteorological navigation radar station for the case of detecting the most intensely reflective weather phenomenon, such as the presence of a thunderstorm. It is applicable for the case of low-altitude flight, when the range is limited, but at the same time the law of adjustment by amplification of the receiving path itself appears to be a simple quadratic function.

**Keywords:** temporary automatic gain control, weather navigation radar, thunderstorm cloud.

Временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ) предназначена для того, чтобы уменьшить напряжение входного сигнала до такого уровня, который бы входил в линейный участок амплитудной характеристики приёмника, и одновременно устранить его зависимость от дальности. Амплитудная характеристика (АХ) линейна в пределах от 0 до  $U_{\max}$  по выходному напряжению. Значит, диапазон выходной мощности, при которой она линейна, от 0 до  $P_{\max} = U_{\max}^2 / R_n$ , где  $R_n$  – выходное сопротивление нагрузки. Максимальный коэффициент усиления приемника  $K_0$  достигается при полностью открытых аттенюаторах. По входной мощности АХ приемника линейна до  $P_{\max}^* = P_{\max} / K_0$ . Чтобы найти максимальную дальность регулировки ВАРУ  $R_{\text{ВАРУmax}}$ , необходимо установить дальность, находясь на котором, стандартное грозовое облако (СГО) [1] диаметром  $d_{\text{обл}}=5500$  м и радиолокационной отражаемостью (РЛО)  $Z=10^{-13}$  м<sup>6</sup>/м<sup>3</sup> даёт мощность на входе приёмника, равную  $P_{\max}^*$ . Зададим значение  $R_{\text{тр}} = d_{\text{обл}} / \Delta\beta$ , где  $\Delta\beta$  – ширина диаграммы направленности антенны по мощности, тогда для входной мощности, сформированной элементом разрешения, в которое попадает СГО можно записать

$$P_{\text{вх}} = C_0 \Delta\beta^2 \frac{Z}{R^2} \text{ при } R \leq R_{\text{тр}}; P_{\text{вх}} = C_0 d_{\text{обл}}^2 \frac{Z}{R^4} \text{ при } R > R_{\text{тр}}; C_0 \approx \frac{\pi^4 A P_n G c \tau_n}{128 \lambda^4 L},$$

$R$  – текущее расстояние,  $A$  – эффективная площадь приемной антенны,  $P_n$  и  $\tau_n$  – мощность и длительность зондирующего импульса,  $G$  – коэффициент усиления антенны на передачу,  $c$  – скорость света,  $\lambda$  – длина волны,  $L$  – потери в РЛС. Для маловысотного полета высотой до 250 м при типовой ширине ДНА порядка 4°-5° можно получить, что максимальная дальность регулировки усиления составляет

$$R_{\text{ВАРУmax}} = \sqrt{\frac{C_0 \Delta\beta^2 Z}{P_{\max}^*}} 10^{-0,1\alpha R_{\text{ВАРУmax}}};$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания при распространении в свободном пространстве. ВАРУ должна компенсировать

зависимость  $P_{\text{ex}}$  типа  $\frac{1}{R^2}$ . Коэффициент ослабления ВАРУ, учитывая, что дальность пропорциональна номеру дискрета дальности  $n$ , может быть вычислен для каждого дискрета следующим образом

$$K_{\text{осл}_n} = \left( \frac{N - 0,5}{n - 0,5} \right)^2; N = \text{ceil}(2R_{\text{ВАРУmax}}/c\tau_n).$$

Он используется на первых кадрах обзора, когда информация об уровне РЛЮ по направлениям в зоне обзора еще не получена и нет возможности перейти к алгоритмам адаптивного управления усилением.

#### **Библиографический список**

1. Рыжиков М. Б., Новикова Ю. А., Терещенко Г. В. Разработка численного метода оценки энергетических требований к бортовым РЛС для метеонавигации в заполярных широтах//Инженерный вестник Дона, № 1, 2024, 1–13 с.

*Е. Н. Савкова\**

к. т. н., доцент

*М. А. Гундина\**

к.ф.-м.н., доцент

\*Белорусский национальный технический университет

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В КОЛОРИМЕТРИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предложен комплексный четырехуровневый подход к управлению чувствительностью методов колориметрии цифровых изображений, позволяющий повысить точность, достоверность и надежность результатов исследований.

**Ключевые слова:** цвет, колориметрия, цифровое изображение, чувствительность, тензор.

*Y. M. Saukova\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

*M. A. Hundzina\**

Ph. D. Mech., Associated Prof

\*Belarussian National Technical University

### SENSITIVITY OF RESEARCH METHODS IN THE DIGITAL IMAGES COLORIMETRY

A comprehensive four-level approach to sensitivity management of digital image colorimetry methods is proposed, which allows to increase the accuracy, reliability and reliability of research results.

**Keywords:** color, colorimetry, digital image, sensitivity, tensor.

Модель измерения цвета в программно-аппаратных средах строится на принципе линейной калибровки и заключается в том, что в подпространстве образов яркость  $L$  исследуемого объекта может отображаться в градациях серой нейтральной шкалы и в то же время раскладываться на составляющие  $N_R$  в красном,  $N_G$  в зеленом и  $N_B$  в синем цветовых каналах, что дает возможность ее определения по градуировочным графикам с дальнейшим пересчетом в координаты цвета и цветности [1]. Источники опорного излучения воспроизводят реперные точки условной колориметрической шкалы, обеспечивая метрологическую прослеживаемость результатов измерений. Чувствительность как валидационная характеристика метода исследований в данной работе оценивается на четырех уровнях. Уровень 1 – пороговая чувствительность с учетом пространственного, временного, яркостного и хроматического компонентов, определяемая сверткой функций спектрального распределения элементов информационно-измерительного канала – осветителя, регистрируемого объекта, цифровой камеры, алгоритмов обработки графических данных, устройства отображения. Уровень 2 – чувствительность к фактору времени, характеризующаяся зависимостями яркости, светлоты или интенсивности цвета от значения времени экспозиции, примерами которых являются графики темновой, яркостной и хроматической адаптации зрительного анализатора, в частности, кривые обнаруживаемости черного уровня Стокермана [2], а также стандартной и фотографической чувствительности согласно ISO 12232:2019. Уровень 3 – чувствительность метода к опорной яркости образцов сравнения. В программно-аппаратных средах один и тот же объект имеет множество реализаций в виде цифровых изображений и описывается триадами градуировочных зависимостей. Принимая, что чувствительность при прямолинейной зависимости есть отношение изменения выходной величины (интенсивности цвета в выбранном рабочем цветовом пространстве)  $\Delta N$  к вызвавшему его изменению входной величины (яркости)  $\Delta L$  есть  $S = \Delta N / \Delta L$ , с учетом смены ролей переменных получим [1]:

$$L = \begin{pmatrix} (N_R - N_{R_{0k}}) \frac{L_{R_{0(k+1)}} \gamma_{k+1} - L_{R_{0k}} \gamma_k}{N_{R_{0(k+1)}} - N_{R_{0k}}} + L_{0k} \gamma_k \\ (N_G - N_{G_{0k}}) \frac{L_{G_{0(k+1)}} \gamma_{k+1} - L_{G_{0k}} \gamma_k}{N_{G_{0(k+1)}} - N_{G_{0k}}} + L_{0k} \gamma_k \\ ((N_B - N_{B_{0k}}) \frac{L_{B_{0(k+1)}} \gamma_{k+1} - L_{B_{0k}} \gamma_k}{N_{B_{0(k+1)}} - N_{B_{0k}}} + L_{0k} \gamma_k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{N_R - N_{R_{0k}}}{S_R} + L_{0k} \gamma_k \\ \frac{N_G - N_{G_{0k}}}{S_G} + L_{0k} \gamma_k \\ \frac{N_B - N_{B_{0k}}}{S_B} + L_{0k} \gamma_k \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $L_{0k}$ ,  $L_{0(k+1)}$  – значения яркости источников опорного излучения, кд/м<sup>2</sup>;  $\gamma_k$ ,  $\gamma_{(k+1)}$  – поправочные коэффициенты, зависящие от индикатрисы и угла наблюдения источников опорного излучения;  $N_R$ ,  $N_G$ ,  $N_B$  – усредненные по области  $N \times M$  пикселей значения интенсивности цвета в красном, зеленом и синем цветовых каналах цифрового изображения исследуемого объекта;  $N_{R_{0k}}$ ,  $N_{G_{0k}}$ ,  $N_{B_{0k}}$ ,  $N_{R_{0(k+1)}}$ ,  $N_{G_{0(k+1)}}$ ,  $N_{B_{0(k+1)}}$ , – усредненные по области  $M$  пикселей значения интенсивности цвета в красном, зеленом и синем цветовых каналах цифрового изображения  $k$ -го и

$(k+1)$ -го образцов сравнения;  $S_R, S_G, S_B$  – чувствительность условной шкалы в цветовых каналах. Уровень 4 – чувствительность метода к факторам изменчивости состояний технической системы, которая может быть оценена на основе модельного подхода – из закона распространения неопределенности, или эмпирически – путем планирования и организации эксперимента по оцее устойчивости.

#### Библиографический список

1. Колориметрическое исследование самосветящихся объектов в программно-аппаратных средах методом реализации многомерных шкал/ Савкова Е.Н./ Измерительная техника/Ежемесячный научно-технический журнал / Российская Федерация, г. Москва/ Учредители – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт им. Д.И. Менделеева» и др./<http://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-8-43-50/№8>, 2020. С.43-50.
2. Colorimetry: understanding the CIE system / edited by Ja'nos Schanda. Wiley-Interscience. A John Wiley & SONS, INC., PUBLICATION. Printed in the United States of America. 499 p. ISBN 978-0-470-04904-4 (cloth) Colorimetry. I. Schanda, Ja'nos. QD113.C65 2007.

*Е. Н. Саюкова\**

к. т. н., доцент

\*Белорусский национальный технический университет

**ВАЛИДАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В КОЛОРИМЕТРИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Описаны подходы к определению валидационных характеристик методов колориметрии цифровых изображений. Установлены многомерность, комплексность и адаптивность валидационных характеристик.

**Ключевые слова:** цвет, колориметрия, цифровое изображение, валидационная характеристика.

*Y. M. Saukova\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*Belarussian National Technical University

**VALIDATION CHARACTERISTICS IN DIGITAL IMAGES COLORIMETRY**

Approaches to determining the validation characteristics of digital image colorimetry methods are described. The multi-dimensionality, complexity and adaptability of validation characteristics are established.

**Keywords:** color, colorimetry, digital image, validation characteristic.

Колориметрия цифровых изображений определяет цвет объектов в условиях физической и дополненной реальности. Предложенная концепция основана на классификации методов исследований цвета в программно-аппаратных средах в зависимости от типа шкалы свойств, числа степеней свободы и ширины диапазона применения и использует валидационные характеристики (точность, селективность, линейность, чувствительность, робастность, неопределенность, диапазон применения) для оценки их эффективности и возможностей [1]. На основе обобщения результатов экспериментов, проведенных в рамках задания 1.3 Государственной программы научных исследований «Фотоника и электроника для инноваций» (подпрограмма «Фотоника и ее применения») при поддержке Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь), получены усредненные оценки валидационных характеристик и разработаны методические рекомендации по их определению. В экспериментах в качестве основы для сравнения использовались эталоны, образцы сравнения и референтные методики измерений.

Сообщаемые значения величин – координат цвета и цветности, получены усреднением интенсивности цвета по области  $N \times M$  пикселей путем оптимизации параметров пиксельной графики по критерию минимума неопределенности. Усредненная оценка смещения составила  $|\hat{\Delta}| \approx 0,0085$ ; полное цветовое различие –  $\hat{E}(\Delta) \approx 0,068$ . – неопределенность оценки смещения:  $\hat{s}_{\Delta} \approx 0,039$ ; протяженность 0,95-ного интервала смещения: 0,05. Прецизионность оценивалась через внутриэкземплярные и межэкземплярные, внутригрупповые и межгрупповые дисперсии и стандартные отклонения. Стандартное отклонение повторяемости составило  $\hat{s}_r \approx 0,052$ ; стандартное отклонение промежуточной прецизионности (межлабораторной дисперсии) –  $\hat{s}_{(w)} \approx 0,015$ ; стандартное отклонение воспроизводимости –  $\hat{s}_R \approx 0,054$ ; Предложены подходы к оценке селективности, основанные на комплексировании дефинициальных неопределенностей, эмпирических методах, статистическом и мультиселективном анализе, построении градуировочных зависимостей, разработаны рекомендации по их применению. При оценке линейности в качестве критерия приемлемости для коэффициента линейной корреляции использовалось условие  $r \in [0,9; 0,999]$  [21, 22], относительное стандартное отклонение составило  $s_{\rho} \approx 1-2\%$ , требования к которому устанавливались на основе трех подходов. Чувствительность оценивалась на четырех уровнях – нижнего предельного значения, фактора времени, опорной яркости и изменчивости метода. Оценка робастности показала значимость факторов «осветитель», «программное обеспечение» и «вре экспозиции» состояний технической системы. Тензорно-фрактальное описание неопределенности цвета цифровых изображений позволило фиксировать состояния информационно-измерительной системы и осуществлять операции комплексирования (движение «вверх») и разложения (движение «вниз») через фрактальную размерность  $n$ -мерного множества самоподобных объектов [2]:

$$D = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_{\varepsilon})}{\ln(\varepsilon)}, \quad (1)$$

где  $N_{\varepsilon}$  – минимальное число  $n$ -мерных шаров (значений величины) радиуса  $\varepsilon$  (равного расширенной неопределенности), необходимых для покрытия множества.

Анализ показал, что валидационные характеристики методов колориметрии цифровых изображений являются многомерными, комплексными показателями, включающими пространственный, временной, яркостный и хроматический компоненты, адаптивными к среде просмотра, числу степеней свободы и настройкам технической системы.

#### **Библиографический список**

1. Эрмер Й., Миллер Д. Х. Мак Б. Валидация методик в фармацевтическом анализе. Примеры наилучших практик. М.: ВИАЛЕК. 2013; 512.
2. Гуляев, Ю. В. Применение теории фракталов, дробных операторов, текстур, эффектов скейлинга и методов нелинейной динамики в синтезе новых информационных технологий для задач радиоэлектроники (в частности, радиолокации) / Ю. В. Гуляев, А. А. Потапов. Радиотехника и электроника, 2019, 64(9):839–854.

*Г. В. Симонова\**

к. т. н., доцент

*П. П. Солощенко\**

магистрант

\*Сибирский государственный университет геосистем и технологий

## РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Показана возможность быстрого и эффективного создания необходимых для ремонта и эксплуатации оборудования дефицитных или дорогостоящих деталей, а также реализации процесса импортозамещения на основе применения реверс-инжиниринга.

**Ключевые слова:** реверс-инжиниринг, комплектующие изделия, средства измерений, метрологическая служба, сервисное обслуживание, импортозамещение.

*G. V. Simonova\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

*P. P. Soloshchenko\**

Master's student

\*Siberian State University of Geosystems and Technologies

## REVERSE ENGINEERING AS AN IMPORT SUBSTITUTION TOOL

The possibility of quickly and efficiently creating scarce or expensive parts necessary for the repair and operation of equipment, as well as implementing the import substitution process based on the use of reverse engineering, is shown.

**Keywords:** reverse engineering, components, measuring instruments, metrological service, after-sales service, import substitution.

В процессе эксплуатации любого оборудования происходит износ его отдельных элементов и срок службы разных элементов конструкции бывает существенно различен. В таких случаях возникают затруднения или полное отсутствие возможности эксплуатации данного прибора. Решение такой проблемы усложняется в условиях дефиците комплектующих изделий или отсутствия поставок в Россию данных деталей.

Применение реверс-инжиниринга, т. е. воссоздание отдельных деталей на основе технической информации об элементах конструкции с использованием новых материалов и оборудования, позволит увеличить доступность различных запасных частей как импортного, так и отечественного производства [1]. Более того, применение новых технологий и материалов позволит снизить затраты на производство комплектующих и устранить затраты на логистику, если организовать производство комплектующих непосредственно на предприятии. В частности, применение реверс-инжиниринга позволит расширить возможности работы метрологических служб при условии создания соответствующих сервисных отделов. На основе анализа необходимых и возможных в создании комплектующих изделий можно создать соответствующий каталог воспроизводимых элементов с соответствующим программным обеспечением. Наличие такой информационной базы позволит организовать производство необходимых комплектующих на различных предприятиях. При соответствующих технических возможностях производство запасных частей по моделям цифрового склада возможно на любом заинтересованном предприятии, а также производство не выпускаемых запасных частей или запрещённых для поставки в РФ [2]. С помощью результатов этой работы можно создать эффективную и прибыльную систему импортозамещения запасных частей, которая расширит возможности сервисного центра.

Практическая реализация результатов данной работы заключается в создании каталога необходимых для предприятий и возможных для создания на базе отечественного оборудования и материалов деталей. Пример результатов такого подхода описан в [3].

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 57306- 2016. Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга. – Введ. 30.11.2016. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 4 с.
2. Алексеев Н. Е. Импортозамещение как институт укрепления национального суверенитета // Мировая политика. – 2019. – № 2. – С. 43–50.
3. Солощенко П. П., Симонова Г. В. Реверс-инжиниринг как ключевой инструмент импортозамещения при работе сервисной службы ООО «ЦСМ» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс 17–19 мая 2023 г.: сб. материалов в 8 томах. Т. 6. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск: СГУГиТ. – С. 232–237.

*P. O. Sirotkin*

к. т. н., директор

ФБУ Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний Росстандарта в Чувашской Республике

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕГИОНАЛЬНОМ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ

Описаны методы и инструменты, применяемые в процессе планирования предприятия. Этапы введения в операционную деятельность. Актуальность темы обуславливается необходимостью применения планирования для разных направлений деятельности организации для различных категорий специалистов. Для достижения целей развития организации.

**Ключевые слова:** стратегическое планирование, целеполагание, производственное планирование, цифровая трансформация в метрологии, бережливое производство,

*R. O. Sirotkin*

Ph. D., director

FBO State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing of Rosstandart in the Chuvash Republic

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR PLANNING AND MONITORING THE ACTIVITIES OF THE STATE REGIONAL METROLOGY CENTER

The methods and tools required for the enterprise planning process are described. Stages of introduction into operational activities. The relevance of the topic is determined by the need to apply planning for different areas of the organization's activities for different categories of specialists. To achieve the goals of organizational development.

**Keywords:** strategic planning, goal setting, goal management, production planning, digital transformation in metrology, lean manufacturing

Процессы осуществления деятельности в центре метрологии и стандартизации для всех подведомственных центров Росстандарта достаточно разнообразны. У каждого ЦСМ своя история развития и свои возможности в регионе, а базовые направления деятельности – метрологическая составляющая, испытательно-лабораторная составляющая встречаются в большинстве центров. Присутствуют услуги по смежным направлениям – сертификация, стандартизация, ремонт, обучение и мелкое производство.

Региональные центры метрологии и стандартизации вынуждены осуществлять свою деятельность на открытом коммерческом рынке. В условиях жесткой конкуренции с традиционными коммерческими организациями центры могут конкурировать только за счет качества оказываемых государственных услуг, определенной гибкости ценообразования, сроков проведения работ и исполнения заявок, а также клиентоориентированного подхода.

Длительное время центры не были настроены на работу и взаимодействие с потенциальными потребителями, также как классические коммерческие структуры. Поэтому до сих пор в структурах многих ЦСМ не развиты структурные подразделения, обеспечивающие конкурентоспособность, что в современных условиях является недопустимым.

Любой технологический процесс, будь то производство или оказание услуги для своего исполнения требует определенных ресурсов и управляющих воздействий. Люди, оборудование, технологии и документация. Планирование деятельности любого предприятия позволяет более эффективно использовать данные ресурсы и возможности для достижения целей.

Для выработки операционной стратегии проведен анализ различных подходов к планированию деятельности. Выработаны необходимые стандарты работы, идет работа по разработке и актуализации внутренней нормативной документации. Необходимо поддерживать в актуальном состоянии не только сами документы, но и процессы, которые эти документы описывают.

Переход от бессистемной организации работ к ежегодному, ежеквартальному и ежемесячному планированию – требует переосмысления подходов к организации деятельности основного и обеспечивающего персонала и подразделений. Поскольку планирование стратегическое и оперативное и совместное взаимодействие двух этих блоков – позволяет эффективно распоряжаться ресурсами и наилучшим образом удовлетворять ожидания потребителя.

Ключевая задача внедрить планирование и контроль в ежедневную деятельность организации, а по итогам работы – пересмотреть существующие процессы в организации и улучшить сами процессы, повысить эффективность расходования ресурсов, обеспечивающих перечисленные процессы.

### Библиографический список

1. Томпсон, мл., А.Дж. Стрикленд. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации: Учебник для вузов. Пер. с 9-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 2000. – XX, 412 с. ISBN 5-16-000166-2.
2. Сироткин Р. О. Байдакова Н. И. Романченко Н. А. Менеджмент качества. – М.:Изд «Доброе слово»,2018. – 296с. ISBN 978-5-89796-626-5.
3. Стандартизация, цифровизация и управление знаниями – основные драйверы в высокотехнологичных отраслях и компаниях. Под редакцией Р. О. Сироткина- М.: изд. «Доброе слово и Ко», 2021.-144с. ISBN 978-5-6045495-6-8.
4. Ефимова Н. С., Корчак В. Ю., Нестеров О. В., Романченко Н. А., Сироткин Р. О., Суркова Е. В. Формирование механизмов управления инновационной деятельностью предприятий авиастроительной отрасли: монография. – Чебоксары: ИД «Среда», 2023. – 232 с. – ISBN 978-5-907830-00-4.

*С. Ф. Скорина\**

к. т. н., доцент, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЭВОЛЮЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЕНСОРОВ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОСНОВАНИЯ

Описана эволюция наноэлектромеханических сенсоров ускорения в оптический наноакселерометр.

**Ключевые слова:** акселерометр, микро- и наноэлектромеханические системы.

*S. F. Skaryna\**

Ph. D., Associate Professor, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EVOLUTION OF NANO-SIZED SENSORS FOR BASE MOTION PARAMETERS

The evolution of nanoelectromechanical acceleration sensors into an optical nanoaccelerometer is described.

**Keywords:** accelerometer, micro- and nanoelectromechanical systems.

В настоящее время магистральным направлением и насущной необходимостью совершенствования инерциальных сенсоров параметров движения основания является их микроминиатюризация. Широко применяемая сегодня традиционная технология изготовления микроэлектромеханических систем (MEMS) позволяет разработать акселерометры и измерители угловой скорости, которые пока не могут в полной мере отвечать требованиям как по массо-габаритным, так и по метрологическим характеристикам [1]. В качестве альтернативы МЭМС-технологии создания инерционных сенсоров представляется целесообразным рассматривать перспективы использования технологии нано-электромеханических систем (НЭМС), а именно – нанофотоники [2, 3]. В частности, в нано-акселерометре в качестве инерционной массы могут быть использованы, опять же наноразмерные, разновидности углеродных нанотрубок (УНТ). Техническая реализация такого варианта сенсора линейных ускорений может базироваться на применении телескопических углеродных нанотрубок [4]. При этом наружная трубка выполняет роль корпуса сенсора, а внутренняя нанотрубка играет роль чувствительного элемента – инерционной массы. При возникновении ускоренного движения основания инерционная сила вызывает перемещение внутренней трубки относительно наружной.

Для уравнивания сил, которые препятствуют описанному движению, и являются силами трения и силой Ван-дер-Ваальса, может быть использован источник оптического излучения. Исходными данными для получения информации о величине кажущегося ускорения являются величина и время перемещения внутренней нанотрубки под действием инерционной силы. Типовые элементы акселерометра, обеспечивающие его функционирование, могут быть реализованы на основе наноструктурированных пористых стекол или фотонно-кристаллических световодов [5].

По сравнению с микро- и нано-электромеханическими сенсорами описанный оптический акселерометр является представителем следующего этапа эволюционного развития изделий нано-системной техники. Для таких изделий характерным признаком принадлежности к определенному классу является не только соответствующее значение одного из характерных размеров, а наличие совокупности характерных наноразмерных признаков: габаритов отдельных элементов и изделия в целом, принципа действия устройства съема информации, учета влияния специфических взаимодействий микромира и др. Отмеченные обстоятельства определяют необходимость разработки новых, уточненных математических моделей функционирования наноразмерных сенсоров, что будет способствовать решению задач метрологического сопровождения проектирования, производства и эксплуатации подобных изделий.

### Библиографический список

1. Распопов В. Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 399 с.
2. Скорина С. Ф., Гамов Ю. В. Наноэлектромеханический датчик ускорения // Патент РФ на изобретение G01P № 2391673. 2010.
3. С. В. Соколов, В. В. Каменский. Оптический наноакселерометр. – Научное ико, 2012, том 22, № 2, с. 51–54.
4. Технология конструкционных материалов. Нанотехнологии. В. А. Рогов.–М.: Юрайт. 2023. 190 с.
5. Моделирование структуры и изготовление фотонно-кристаллических световодов для среднего инфракрасного диапазона: учебник / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, А. А. Лашова; под общ. ред. проф., д-ра техн. наук Л. В. Жуковой. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2018. – 254 с.

## АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКУПКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Проведен анализ процесса закупки средств измерений на исследуемом приборостроительном предприятии, представлены предложения по улучшению этого процесса с целью дальнейшей автоматизации и переносу части процесса в 1С ERP.

**Ключевые слова:** средства измерений, закупка средств измерений, автоматизация, 1С ERP

*E. Skorniakova*

Ph. D., assistant professor

Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov

## ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF MEASUREMENT INSTRUMENTS PURCHASE PROCESS AT AN INSTRUMENT MAKING ENTERPRISE

An analysis of measuring instruments purchasing at the instrument-making enterprise under study was carried out, process improvement proposals were presented for the purpose of further automation and transfer of part of the process to 1С ERP.

**Keywords:** measuring instruments, measuring instruments purchasing, automation, 1С ERP.

Предпосылками проводимых исследований послужила автоматизация процессов закупки на базе 1С ERP, в частности, распределение ролей и обязанностей по закупке разных позиций и создание заказа поставщику в 1С ERP. Одними из наиболее важных процессов на любом предприятии являются законодательно регулируемые процессы метрологического обеспечения. В рамках проведенных исследований был рассмотрен процесс закупки средств измерений (далее – СИ) подразделениями приборостроительного предприятия. Стоит отметить, что особый интерес этот процесс представил ввиду наличия на предприятии собственных отделов-разработчиков новых видов продукции, которые закупают СИ для собственных нужд, не применяя их для сдачи конечной продукции заказчику.

В результате проведенного анализа выявлены следующие проблемы: применение разной терминологии во внутренней документации и информационных системах подразделений предприятия в части работы со средствами измерений, отличие процесса закупки СИ от закупки других позиций и закупка СИ без участия Отдела метрологии (рис. 1). Для решения первой проблемы, было предложено в документах и 1С ERP применять единую терминологию на основе нормативных документов: термин «Средство измерений» согласно ФЗ №102 [1], «Индикатор» согласно ПРИКАЗУ ФТС от 22 марта 2007 г. N 344 [2].

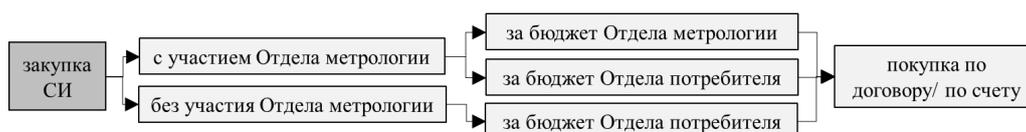
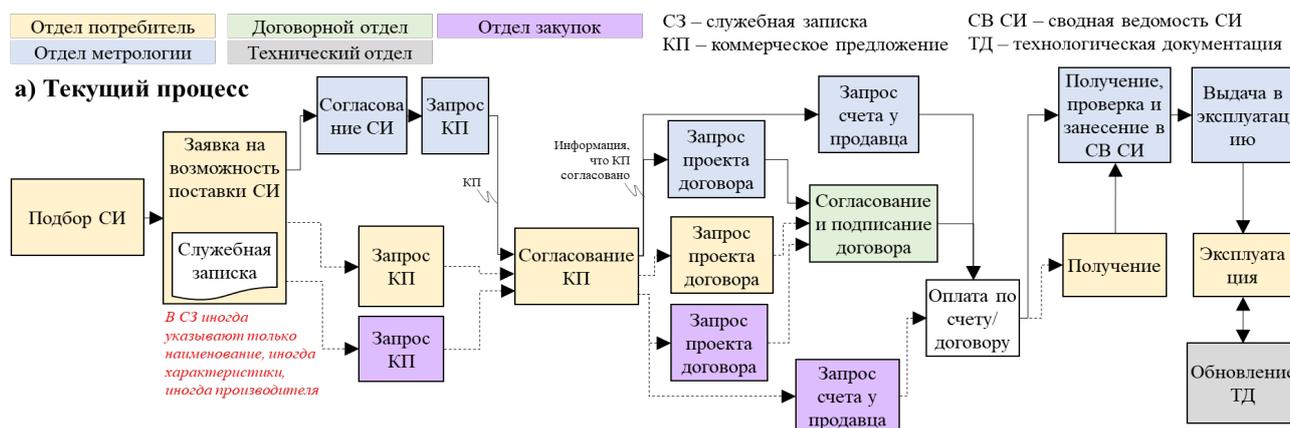


Рис. 1. Возможные пути закупки СИ согласно текущему процессу

На рис. 2 приведен алгоритм, отражающий текущий процесс, и предложение по улучшению текущего процесса.



## б) Предложение по улучшению процесса



Рис. 2. Предложение по улучшению текущего процесса закупки СИ

Предложение по улучшению процесса составлено с учетом наличия на предприятии других автоматизированных систем [3], например, системы электронного документооборота, в которой создаются СЗ, и отказ от которых на текущий момент на предприятии не предусмотрен.

### Библиографический список

1. Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 N 102-ФЗ;
2. Приказ ФТС от 22 марта 2007 г. N 344;
3. Золотухин К.В., Васюков В.М., Скорнякова Е.А. Моделирование высокотехнологичного предприятия при локальной автоматизации // В книге: Информационные технологии в высокотехнологичных производствах (ВТП). Сборник тезисов докладов студенческой научной конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 84-87.

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Проведен анализ процесса внесения наименований средств измерений в базу данных исследуемого предприятия, предложены пути улучшения этого процесса с целью предотвращения ошибок и дублирования наименований СИ в разных таблицах БД.

**Ключевые слова:** средства измерений, база данных средств измерений, 1С ERP.

E. Skorniakova

Ph. D., assistant professor

Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov

## PROBLEMS OF FORMING AND MAINTAINING OF MEASUREMENT INSTRUMENTS DATABASE OF AN INSTRUMENT MAKING ENTERPRISE

An analysis of the process of measuring instruments names entering into the database was carried out, and ways to improve this process were proposed in order to prevent errors and duplication of measuring instrument names in different database tables.

**Keywords:** measuring instruments, measuring instruments database, 1С ERP.

Предпосылками проводимых исследований послужила автоматизация процессов исследуемого приборостроительного предприятия на базе 1С ERP, в том числе процессов метрологического обеспечения.

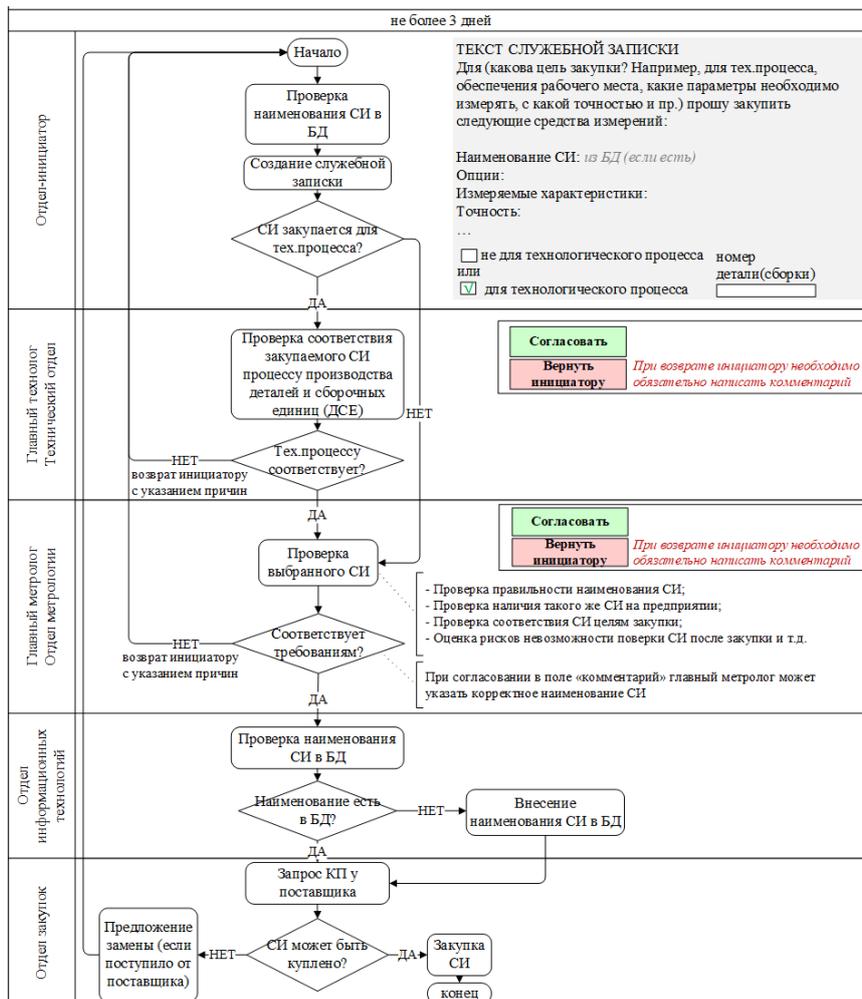


Рис. Алгоритм процесса согласования СЗ в СЭД на закупку СИ

В соответствии с проведенным анализом текущих процессов предприятия было установлено, что наименование средства измерений (СИ) появляется в базе данных (БД) в момент создания конструкторской документации (КД) и/или технологической документации (ТД), а также при создании служебной записки (СЗ) на закупку СИ в системе электронного документооборота (СЭД). При этом следует отметить, что само наименование конструкторами, технологами или другими сотрудниками предприятия (разработчиками новых изделий и пр.) выбирается либо из уже имеющихся в БД (зачастую внесенных в разные таблицы, в зависимости от доступа каждого конкретного отдела), либо указывается/ добавляется в БД субъективно (не в соответствии с ГОСТ на соответствующее СИ). В случае внесения некорректного наименования, подобного рода ошибки выявляются в ходе метрологической экспертизы документации предприятия или при сверке таблиц БД отделом информационных технологий, но не предотвращаются на этапе непосредственного внесения в БД.

В связи со всем вышесказанным было предложено изменение текущего процесса, а именно обязательное согласование наименования, вносимого в БД с отделом метрологии предприятия вне зависимости от того является это СИ индикатором или применяется для сдачи конечной продукции потребителю. В качестве примера предложенных улучшений на рисунке приведен разработанный алгоритм процесса согласования СЗ на закупку СИ, включающий проверку наименования СИ отделом метрологии, который позволит решить указанные выше проблемы исследуемого процесса.

#### **Библиографический список**

1. Золотухин К. В., Васюков В. М., Скорнякова Е. А. Моделирование высокотехнологичного предприятия при локальной автоматизации // В книге: Информационные технологии в высокотехнологичных производствах (ВТП). Сборник тезисов докладов студенческой научной конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 84–87.
2. Перепечин С. А. Ключевые аспекты автоматизации системы управления метрологической службы организации // Экономика XXI века: инновации, инвестиции, образование. 2023. Т. 11. № 1. С. 1316.

А. С. Слюсаренко\*

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ ИНФОРМАЦИОННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

В статье представлены основы теории и методов искусственного интеллекта, условно, А-теории, в измерительно-вычислительных комплексах информационно-управляющих систем. Основными атрибутами А-Теория информации являются понятия: – информации; – единого информационного инварианта; – единого информационного поля. Традиционные понятия информации как структуры (источник, потребитель) дополнены понятием – «отношение», обеспечивающим совместно с единым информационным инвариантом устранение семантических разрывов, присущих традиционным формам преобразования ИВК – данных и формирование единого информационного поля. Основой построения моделей основных субъектов ИВК – информации являются совпадающие с точностью до изоморфизма сигма-алгебры конечных вероятностных пространств, обеспечивающие целостность единого информационного поля. Для алгоритмического описания моделей ИВК – информации разработано специальное пространство *Polynomial Versus Space (PVS)* – как “пространство структур параметров на поле целых чисел”. *PVS*, не нарушая целостности единого информационного поля, ИВК – информации.

**Ключевые слова:** информация; модель информации, отношение, единый информационный инвариант, единое информационное поле, сигма алгебра, пространство структур параметров на поле целых чисел, пространство конечных алгебраических многочленов, изоморфизм.

A. S. Slyusarenko\*

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MEASUREMENT COMPUTATIONAL COMPLEXES OF THE INFORMATION CONTROL SYSTEMS

The article presents the basics of the theory and methods of artificial intelligence, conditionally, A-theory, in the measurement computational complexes (MCC) of the information control systems (ICS). The main attributes of the A-Information Theory (AIT) are the concepts of: – information; – a single information invariant; – a single information field. Traditional concepts of information as a structure (source, consumer) are supplemented by the concept of “relationship”, which, together with a unified information invariant, ensures the elimination of semantic gaps inherent in traditional forms of MCC – data transformation and the formation of a unified information field. The basis for constructing models of the main subjects of MCC – information are sigma-algebras of finite probability spaces that coincide up to isomorphism, ensuring the integrity of a single information field. For the algorithmic description of MCC – information models, a special space, Polynomial Versus Space (PVS) has been developed – a as “a space of parameter structures on a field of integers”. PVS, without violating the integrity of a single information field, ensures constructivism and mathematical correctness of inter-subject transformations of IVK information.

**Keywords:** nformation; information model, relation, unified information invariant, unified information field, sigma algebra, space of parameter structures on the field of integers, space of finite algebraic polynomials, isomorphism.

Концептуальными основами развития теории и методов данного сегмента ИИ, рассматриваемыми в статье, являются установление понятия ИВК – информации [1] и разработанное для ее представления специальное пространство, *Polynomial Versus Space (PVS)* – как “пространство структур параметров на поле целых чисел”. Обладая замкнутостью и полнотой, структуры PVS и сохраняя фундаментальные свойства субъектов методов вычислений (численного анализа), за счет включения в них атрибутов семантики, не используемых в традиционных формах методов и алгоритмов численного анализа, обеспечивают «оптимальную глубину» текущих преобразований информации в зависимости от ее генезиса, с исключением из процесса преобразования информации метрологически необоснованных составляющих [2]. Единый информационный инвариант, определяя замкнутость системы ИВК – информации и обеспечивая преобразования без потери информации, по существу, обеспечивает формирование нового класса вычислительных процессов: – процессов с метрологическим автосопровождением [3].

### Библиографический список

1. Slyusarenko A.S. A-Type Data Processing Technology: the First Real Step from Electronics Abacus to Intellectual Computer /Proceedings of ICNPAA. -2000, USA, P. 36–49.
2. Slyusarenko A.S. To the Problem of Rounding Errors Evaluation/Proceedings International Scientific Review of Problems and Prospects of Modern Science and Education //Collection of Scientific Articles. XIV International Correspondence Scientific and Practical Conference, Boston, USA, May 24-25, 2018. – Boston. 2018, pp.12–26. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://.pdf/> (дата обращения: 17.01.2024).
3. Слюсаренко А.С. О метрологической аттестации результатов процессорной обработки данных // Сб. Тр. 5-й Межд.Конф. FIZMET-2002, ИПМ РАН, СПб, 2002.С. 78–89.

*А. С. Слюсаренко\**

кандидат технических наук, доцент

*С. Г. Бурлуцкий\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

В статье рассмотрены основы построения принципиально новой технологии разработки специального программного обеспечения, условно – А-ТРСПО, преобразования информации в измерительно-вычислительных комплексах информационно-управляющих систем [1]. Концепции А-ТРСПО – технологии разработки (синтеза) специального программного обеспечения (СПО) в отличие от традиционной ТРПО, фрагментарно решающей разработку лингвистического обеспечения (ЛО) ИВК – преобразования числовых данных, определяются построением средств синтеза СПО Единого Информационного Поля ИВК ИУС в целом [2]. В сравнении с традиционно используемым ЛО, особенность А-ТРСПО ИВК определяется не только новизной моделей субъектов ИВК-информации, но и уникальной алгеброй, включающей операцию приведения, определяющей основную парадигму А – Теории программирования. «Операция приведения», выполняющая основной функционал А-ТРСПО, предопределяет принципиальные изменения во всех разделах технологии разработки программного обеспечения. Логические конструкции ИВК-преобразователей информации образуют некоторую операционную систему, позволяющую совершать не только действия без потери информации, но получение реальных новых знаний о методах и алгоритмах в традиционных формах субъектов численного анализа.

**Ключевые слова:** языки программирования; технология разработки программного обеспечения, лингвистическое обеспечение, синтаксический анализ, трансляция, синтез, информация, семантический анализ, единое информационное поле, численный анализ.

*A. S. Slyusarenko\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*S. G. Burluckiy\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## FUNDAMENTALS OF TECHNOLOGY FOR DEVELOPING SPECIAL SOFTWARE FOR CONVERTING INFORMATION IN MEASURING AND COMPUTING SYSTEMS

The article discusses the basics of constructing a fundamentally new technology for the development of special software, conditionally (A-DSS), information transformation in measuring and computing complexes of information and control systems. The concepts of A-DSS for the development (synthesis) of special software (SSW), in contrast to traditional DSS which fragmentarily solves the development of Linguistic Support (LS) for MICC – the transformation of numerical data, are determined by the construction of means for synthesizing SSW of the Unified Information Field of the MICC IMS as a whole. The “reduction operation”, performing the main functionality of A-TRSPPO, predetermines fundamental changes in all sections of software development technology. The logical structures of MCC-information converters form a certain operating system that allows you to perform not only actions without loss of information, but also obtain real new knowledge about methods and algorithms in traditional forms of subjects of Numerical Analysis.

**Keywords:** programming languages; software development technology, linguistic support, parsing, translation, synthesis, information, semantic analysis, unified information field, numerical analysis.

Концептуальные отличия Языков Описания Моделей ИВК – информации от традиционных языков программирования определяются включением А – Атрибутные Языки описания моделей ИВК – информации атрибутов семантики, предопределяющих в отличие от их традиционных версий языков, изменяемость, или программируемость архитектур преобразования ИВК – информации. Иными словами, изменяющими систему управления преобразования числовых данных, приводя к системе управления преобразованиями ИВК – информации. Использование Polynomial Versus Forms для конструктивного описания А – атрибутных языков, обеспечивают построение унифицированных форм формального описания всех субъектов ИВК – информации. Важно отметить, что данные особенности формирования лингвистического обеспечения А – ТРСПО в совокупности, обеспечивающие целостность единого информационного поля ИВК как образа основной системно – сущностной категории ИВК ИУС – информационно-вычислительной среды (ИВС), обеспечивают новый образ мышления и информационных технологиях в целом.

### Библиографический список

1. Slyusarenko A. S. A-Type Data Processing Technology: the First Real Step from Electronics Abacus to Intellectual Computer /Proceedings of ICNPAA. -2000, USA, P. 36–49.
2. Slyusarenko A. S. To the Problem of Rounding Errors Evaluation/Proceedings International Scientific Review of Problems and Prospects of Modern Science and Education //Collection of Scientific Articles. XIV International Correspondence Scientific and Practical Conference, Boston, USA, May 24-25, 2018. – Boston. 2018, pp.12–26. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://.pdf/> (дата обращения: 17.01.2024).

*А. С. Слюсаренко\**

кандидат технических наук, доцент

*М. А. Желавский\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НОВЫЙ ПОДХОД К ОБНАРУЖЕНИЮ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ В IEEE-754

Рассматривается использование PFA-кодирования для обнаружения исключительных ситуаций, вносящих искажения в реализуемые на ЭВМ методы и алгоритмы. Новый подход в отличие от общепринятого, констатирующего возникновение проблемы, обеспечивает конструктивное восстановление и правильное исполнение программ, а также дать новые формулировки задач прямого и обратного анализа. Предлагаемый метод обладает большими возможностями для обнаружения исключительных ситуаций.

**Ключевые слова:** PFA-кодирование, отрицательное переполнение, переполнение, числовые преобразования, точность представления чисел, обнаружение ошибок округления.

*A. S. Slyusarenko\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*M. A. Zhelavsky\**

student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## A NEW APPROACH TO DETECTING EXCEPTIONAL SITUATIONS IN IEEE-754

The use of PFA coding to detect exceptional situations that introduce distortions into computer-implemented methods and algorithms is considered. The new approach, in contrast to the generally accepted one, which states the occurrence of a problem, ensures constructive restoration and correct execution of programs, as well as to give new formulations of the tasks of direct and reverse analysis. The proposed method has great possibilities for detecting exceptional situations.

**Keywords:** PFA coding, underflow, overflow, numerical transformations, precision of number representation, rounding exclusion detect.

В настоящее время проблема точности машинных вычислений является одной из актуальнейших проблем численного анализа. Трудности решения данной проблемы отражены во многих исследованиях [1-5]. На практике в цифровых информационных системах, чаще всего, при возникновении таких исключений возвращается неопределенный результат операции, что, исходя из IEEE-754, означает несрабатывание trap-handler [2]. Важно отметить, что применение нового подхода на основе PFA-кодирования информации позволяет выявлять также скрытые потенциальные исключительные ситуации, не обнаруживаемые классическими средствами, основанными на архитектурестандарта IEEE-754 [3,4].

Фундаментальным отличием предлагаемого подхода от других современных методов является определение зон предельности/непредставимости чисел с плавающей точкой. Использование предикатных форм и описание топологии множества Float-Point чисел, представляемых и некорректно описанных в стандарте IEEE-754, позволяет повысить эффективность обнаружения исключительных ситуаций [5].

Использование PFA-кодирования числовой информации в предложенном способе, по существу, может быть определено как метрологическое сопровождение выполнения программ, а также поможет дать новые формулировки задач прямого и обратного анализа.

### Библиографический список:

1. Slyusarenko A. S. To the Problem of Rounding Errors Evaluation [текст]. //International Scientific Review of Problems and Prospects of Modern Science and Education //Collection of Scientific Articles. XIV International Correspondence Scientific and Practical Conference (Boston, USA, May 24-25, 2018). – Boston. 2018, pp.12–26. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://.pdf/> (дата обращения: 17.11.2023).
2. IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic. Copyright 1985 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc 345 East 47th Street, New York, NY 10017, USA.
3. Barr, Earl & Vo, Thanh & Le, Vu & Su, Zhendong. (2013). Automatic Detection of Floating-Point Exceptions. // ACM SIGPLAN Notices. 48. pp. 549–560.
4. Daming Zou, Muhan Zeng, Yingfei Xiong, Zhoulai Fu, Lu Zhang, and Zhendong Su. 2020. Detecting Floating-Point Errors via Atomic Conditions // Proc. ACM Program. Lang. 4, POPL, Article 60 (January 2020), pp. 1–27.
5. Slyusarenko A. S. Dudarev A.S. To Investigation of the Wilkinson's Paradox//Collection of scientific articles. XLV International correspondence scientific and practical conference "International Scientific Review of Problems and Prospects of modern science and education", (Boston, USA, July 24-25, 2018). Boston. 2018, pp.6–17.

*В. М. Смирнов*

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧЕЛОВЕКА

В докладе рассматривается вариант дистанционного определения температуры тела человека, учитывающий специфику распределения и неоднородность температурного рельефа лица. Приводится алгоритм обработки изображения термограммы.

**Ключевые слова:** температура, термограмма, температурный профиль, линия глаз, алгоритм.

*V. M. Smirnov*

Candidate of Technical Sciences, Docent

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## REMOTE CONTROL OF HUMAN TEMPERATURE

The article discusses the possibility of remote control of the human body temperature according to the thermogram of the eye area. This article provides also the algorithm of image processing of thermogram.

**Keywords:** temperature, thermogram, temperature profile, eye area, algorithm.

Большой интерес к дистанционному контролю температуры человека возник в период пандемии, вызванной резкой заболеваемостью и распространением covid. Своевременное выявление носителя инфекции позволяет уменьшить вероятность распространения заболевания.

Основным симптомом, по которому определяется заболевший человек является повышение температуры тела. Следовательно, человека с подобным симптомом довольно просто выявить в группе здоровых людей.

Самым простым и широко применяемым методом измерения температуры в медицинской практике является контактный метод с помощью различных термометров. Температуру измеряют в подмышечной впадине, реже под языком. Однако такой метод не подходит при выявлении заболевшего человека в большом потоке людей, например, в аэропорту, при проведении массовых мероприятий. Это привело к разработке и созданию простых и надежных методов дистанционного контроля температуры тела человека.

При создании устройств дистанционного контроля температуры необходимо учитывать следующие факторы:

- поскольку речь идет о дистанционном контроле температуры тела, то часть тела, по которой ведется определение температуры не должны быть закрыта одеждой;
- температура участка тела должна определяться только от состояния человека, в минимальной степени зависеть от внешних факторов (температура окружающего воздуха, например, мороз зимой или жаркое лето).

Учитывая предъявленные требования область лица человека оказывается наиболее выгодной. Во-первых, преимуществом зоны лица является беспрепятственная тепловизионная съемка, поскольку лицо является участком, не закрытым одеждой. Второй, очень важной особенностью лица является неоднородное распределение температуры поверхности лица здорового человека. Особый интерес представляет область глаз.

Исследования распределения температуры поверхности лица проводились многими авторами [1,2]. В результате было установлено, что температура века в области переносицы максимальна, и может использоваться в качестве дистанционного определения температуры человека. Кроме того, эта температура практически не зависит от внешних факторов и определяется только состоянием человека. Таким образом задача дистанционного контроля температуры тела человека распадается на две отдельные задачи: выделение лица на термографическом изображении и определение температуры контрольной точки.

При решении задачи выделения лиц в видеопотоке приходится столкнуться со следующими сложностями:

- многообразие внешнего вида лица у разных людей, наличие индивидуальных особенностей, в частности наличие очков;
- ориентация лица относительно тепловизора.

Тем не менее в настоящее время эта задача практически решена. Самым популярным методом для поиска области лица на изображении является алгоритм Виолы–Джонса [3,4].

Алгоритм определения температуры можно разбить на несколько этапов. На выделенной области лица, используя идеальные пропорции, предложенные Леонардо да Винчи, определяется область линии глаз [5]. На выделенном интервале ведется поиск значения максимума температуры. Затем построчно осуществляется проход с двумя пиками всего выделенного интервала. Таким образом находят участки уголков глаз и по цветовой гамме тепловизора находят соответствие выделенных пиков температурной шкале.

По приведенному алгоритму была разработана компьютерная программа захвата изображения с тепловизора и его обработка с целью определения температуры [6]. Результаты исследования подтверждают достаточно высокую точность определения температуры при предварительной калибровке тепловизора. Однако

критическим остается влияние очков, так как они закрывают опорные точки и не позволяют провести в них измерение температуры.

#### Библиографический список

1. Иваницкий, Г. Р. Особенности температурных распределений в области глаз // Г. Р. Иваницкий, А. А. Деев, Л. Н. Хижняк и др; ДАН. 2004. Т. 398. №5. с.709–714.
2. Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине// Успехи физических наук, т. 176, № 12, 2006, с. 1293–1320.
3. Viola P., Jones M. J. Robust real\_time face detection // International Journal of Computer Vision. – 2004. – V. 57. – № 2. pp. 137–154.
4. Баша, Н. С., Шульга Л. А. Алгоритм автоматического выделения лица на термографических изображениях // Н. С. Баша, Л. А. Шульга; Информатика и ее применение. 2011. т. V. № 1. с. 73–77.
5. Ковалев, Ф. В. Золотое сечение в живописи. Ф. В. Ковалев, К.: Выща школа, Головное издательство. 1989. 143 с.
6. Свидетельство о государственной регистрации №2022660821 «Программа дистанционного контроля температуры человека» Смирнов В. М., Заявитель и правообладатель ГУАП, заявл. 09.06 2022.

**В. М. Смирнов**

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ДАТЧИКАХ**

В докладе рассматривается многоканальный измеритель температуры на интегральных датчиках. Эти датчики производят прямое преобразование температура, что обуславливает широкие возможности их применения. Предлагается программа прошивки микроконтроллера блока обработки, расширяющая возможности применения интегральных датчиков.

**Ключевые слова:** температура, терморезисторы, интегральный датчик, алгоритм.

**V. M. Smirnov**

Candidate of Technical Sciences, Docent

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**MULTI-CHANNEL TEMPERATURE GAGE WITH INTEGRATED SENSORS**

In the report there is a discuss of a multi-channel temperature gage with integrated sensors. These sensors perform a direct conversion of temperature, which leads to a wide range of their applications. The discuss includes a firmware program for the microcontroller of the processing unit, which expands the possibilities of using integrated sensors.

**Keywords:** temperature, thermoresistors, integrated sensor, algorithm.

Для измерения температуры используются два метода: контактный и бесконтактный (дистанционный). В первом методе обязательно наличие чувствительного элемента, который должен иметь непосредственный контакт для обеспечения теплового равновесия между объектом, температуру которого требуется измерить и самим элементом. В качестве чувствительного элемента используются терморезисторы (термосопротивление), термопары (для измерения высоких температур) и элементы имеющие *p-n* переход. Во втором методе используется тепловое излучение объекта, которое воздействует на матрицу тепловизора. Основное применение находят цифровые термометры, в которых чувствительный элемент входит в состав источника тока или напряжения. Поскольку сопротивление чувствительного элемента зависит от температуры, то и получаемое значение тока или напряжения также будет изменяться с изменением температуры [1].

Выбор конкретного датчика определяется его характеристиками, основными из которых являются: обеспечиваемая точность измерения, линейность характеристики, стабильность, саморазогрев, линия связи (одно - двух трёх или четырехпроводная), время измерения.

Проволочные или тонкопленочные резистивные датчики имеют хорошую линейность характеристики, но при изготовлении используют дорогостоящий материал – платину, которая является хрупким материалом, то есть обладает недостаточной устойчивостью к механическим воздействиям [2].

Поскольку в основном датчики температуры находятся достаточно далеко от основного измерительного блока, приходится учитывать напряжения на подводящих проводах, что еще более осложняет обработку результатов измерений. Обобщая все вышеизложенное можно сказать, что даже при наличии достаточно линейного и точного датчика, производители не могут гарантировать точность лучше  $(1,5 - 2,0)^\circ\text{C}$ .

При использовании интегральных датчиков процесс преобразования температуры в цифровой код производится прямо на кристалле, данные на измерительный блок поступают уже в цифровом виде, что исключает влияние подводящих проводов [3,4].

Разработанный измеритель температуры ориентирован на использование интегральных датчиков фирмы Dallas Semiconductor.

Для управления работой многоканального измерителя предлагается использовать микроконтроллер AT89C51. Датчик DS18B20 использует 1-Wire протокол, при этом формируется соединение, которое осуществляется по шине, используя всего один управляющий сигнал. Микроконтроллер идентифицирует и обращается к датчикам, используя 64-битовый код прибора. Поскольку каждый прибор имеет уникальный код, записанный лазером при изготовлении, число датчиков, к которым можно обратиться на одной шине, фактически неограниченно.

Для расширения возможностей датчиков в их состав вводятся дополнительные блоки, позволяющие реализовать функции термостата, энергонезависимая память, встроенные регистры критической температуры, программируемые пользователем. Например, интегральный датчик DS1624 имеет 256 байт EEPROM и возможность получения маленького шага преобразования, что позволяет скомпенсировать нелинейность преобразования на краях диапазона измерения температуры, либо, ограничиваясь узким диапазоном измерений, получить разрешающую способностью порядка  $(0,01 - 0,1)^\circ\text{C}$ .

Разработанная программа микроконтроллера позволяет проверить условие «аварии» всех датчиков на шине, подавая команду «Поиск аварии». Любой датчик с установленным флагом «Авария» ответит на эту команду,

таким образом микроконтроллер точно определит, какие из датчиков находятся в состоянии аварии. Допустимые верхний и нижний пределы устанавливаются программно и могут корректироваться в процессе работы [5].

#### **Библиографический список**

1. Смирнов В. М., Филатов В. Н. Измерение и контроль высоких температур // Научная сессия ГУАП: Сб. докладов: Ч. II. Технические науки СПб.: ГУАП, СПб. 2019. с. 122–128.
2. Чистяков А. Резистивные датчики температуры. Принципы работы и характеристики // Компоненты и технологии, 2003, № 3, сс. 7–12.
3. Штрапенин Г. Интегральные датчики температуры фирмы National Semiconductor // Компоненты и технологии, 2005, № 3, сс. 15–18.
4. Kester W., Bryant J., Jung W. Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning. Edited dy Walt Kester. Chap. 7, Temperature sensors. Analog devices, 1999, pp. 7.1–7.39.
5. Свидетельство о государственной регистрации № 2022661693 «Программа управления микроконтроллером многоканального измерителя температуры на полупроводниковых датчиках», Смирнов В. М., Заявитель и правообладатель ГУАП, заявл. 24.06 2022.

*А. С. Смирнова\**

Старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕЖОТРАСЛЕВОЙ СПУТНИКОВЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ И ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ

Описаны преимущества и возможности использования спутниковых данных в целях научно-производственного экологического мониторинга.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, экологический мониторинг.

*A. S. Smirnova\**

Senior lecturer

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## INTERINDUSTRY SATELLITE RESEARCH AND PRODUCTION ENVIRONMENTAL MONITORING OF MARINE AND INLAND WATER BODIES.

The advantages and possibilities of using satellite data for the purposes of scientific and industrial environmental monitoring are described.

**Keywords:** remote sensing, environmental monitoring.

В настоящее время дистанционные исследования и технологии широко используются при создании геоинформационных систем для мониторинга параметров окружающей среды и Мирового океана. Наиболее информативным методом для решения задач дистанционного зондирования является использование и тематический анализ изображений с установленных на космических аппаратах приборных комплексов, работающих на различных частотных диапазонах. На рис. 1 представлена структурная схема формирования информационных продуктов аэрокосмического мониторинга.

Для принятия правильных и своевременных управленческих решений используются методологии сбора информации о состоянии интересующей территории и акватории с решением задач оперативного спутникового контроля природных ресурсов, исследования протекания природных процессов и явлений, прогнозирования возможных последствий и предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. С развитием геоинформационных систем (ГИС) использование аэрокосмической информации возрастает, поскольку позволяет оперативно оценивать достоверность и обновлять используемых графических слоев (карт дорожной сети, коммуникаций, характеристик районов биологической активности и т.д.), использоваться как растровая подложка в ряде ГИС-приложений.



Рис. 1. Структурная схема использования данных аэрокосмического мониторинга

Анализ существующих оперативных отечественных и иностранных систем мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) на море на примере аварий при добыче и транспортировке нефти с использованием судов и нефтегазопроводов показал, что по устройству такие системы разделяются на системы обеспечивающие спутниковый мониторинг разлива и передачу информации о роде ЧС, на системы с использованием математического моделирования и прогнозирования движения нефтяного разлива в водной среде и на комбинированные, объединяющие спутниковый мониторинг и моделирование дрейфа. Также помимо спутниковых данных могут использоваться фиксации съемкой с самолета или кораблей и береговых станций.

При этом для прогноза дрейфа нефтяных загрязнений существует ряд рекомендаций, в том числе по использованию трехмерных гидродинамических моделей, критерии по вертикальному и горизонтальному разрешению, также необходимо учитывать данные информационных систем по экологии и геоморфологии прибрежных областей [1].

Также важные результаты возможно получить при зондировании морских льдов. При этом есть возможность разработать алгоритмы обработки полученных данных, оценить сплоченность и возраст морских льдов, фиксировать положение ледовой кромки и т.д. Плодотворным приложением методов спутниковой диагностики является регистрация вихревых образований, течений, внутренних волн, загрязненных участков поверхности моря.

В последнее время находит применение обучение и использование нейросетей для обработки полученной информации. Основной проблемой в этом случае будет являться необходимость наличия большого архива размеченных экспертами данных и проверка правильности дешифрирования нейросетью заданных параметров.

В научно-производственных целях спутниковый мониторинг имеет ряд преимуществ по сравнению с наземными средствами. Среди этих преимуществ можно выделить глобальное покрытие земного шара (в том числе труднодоступных территорий и акваторий, а также в условиях интенсивно развивающегося арктического региона), мгновенная съемка и более низкая стоимость по сравнению с морскими наблюдениями, возможность ежедневного повтора наблюдений, получение и анализ комплексных мультиспектральных данных с применением современных возможностей искусственного интеллекта и средств машинного обучения.

### **Библиографический список**

1. З. К. Абузяров, И. О. Думанская, Е. С. Нестеров Оперативное океанографическое обслуживание / – М.; Обнинск: «ИГ–СОЦИН», 2009.
2. Мелентьев, В. В. Визуализация радиолокационных сигнатур морского льда для контроля обстановки в арктических акваториях / В. В. Мелентьев, И. В. Мателенок, А. С. Смирнова // Системы контроля окружающей среды. – 2023. – № 2(52). – С. 18–26. – DOI 10.33075/2220-5861-2023-2-18-26.

*И. В. Сурков\**

Директор, к. т. н., доцент

\*Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерений в машиностроении

## РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

Приведено описание разработанного оборудования и программного обеспечения для координатных измерений. Рассмотрены вопросы повышения степени автоматизации процессов проектирования технологий контроля.

**Ключевые слова:** контроль геометрических параметров; программное обеспечение для координатных измерений; методика координатных измерений; координатно-измерительные машины, приборы и системы.

*I. V. Surkov\**

Director, Ph.D. Tech., Associated Prof

\*Chelyabinsk Research and Design Institute of Inspection and Measurement Devices in Mechanical Engineering

## DEVELOPMENT OF EQUIPMENT AND SOFTWARE FOR COORDINATE MEASUREMENTS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF HIGH-PRECISION PARTS AND TOOLS

The description of the developed equipment and software for coordinate measurements is given. The questions of increasing the degree of automation of design processes of inspection technologies are considered.

**Keywords:** inspection of geometrical parameters; software for coordinate measurements; methodology of coordinate measurements; coordinate measuring machines, instruments and systems.

Анализ современных тенденций развития машиностроительного комплекса показал, что обеспечение качества выпускаемой продукции в современном многономенклатурном производстве невозможно без гибких систем автоматизированного контроля. На машиностроительных предприятиях необходимо внедрять новые методы и средства контроля, в том числе наиболее эффективные на сегодняшний день координатные измерительные машины (КИМ), приборы (КИП) и системы (КИС) различных компоновок и типоразмеров [1]. Положенный в основу работы КИМ, КИП и КИС координатный метод измерения является наиболее универсальным и может эффективно применяться для автоматизированного контроля практически всех требуемых геометрических параметров широкой номенклатуры прецизионных деталей и инструментов (в том числе со сложнопрофильными поверхностями).

Принципиальная основа координатного метода измерения заключается в том, что любую поверхность или профиль можно представить состоящей из бесконечного числа отдельных точек и если известно положение в пространстве какого-то ограниченного числа этих точек (массив точек), т. е. определены их координаты, то по соответствующим формулам (алгоритмам) можно рассчитать размеры этих поверхностей (профилей) и отклонения формы, а также определить расположение поверхностей (профилей) в пространстве и между собой (координатные размеры и отклонения расположения) [2, 3].

Очевидно, что для полноценных координатных измерений необходима согласованная работа двух взаимосвязанных технических комплексов: аппаратной части координатно-измерительного оборудования (КИМ, КИП и КИС) и специализированного метрологического программного обеспечения (ПО).

Современное ПО для координатных измерений является многофункциональным, объединяет возможности САИ (computer-aided inspecting (автоматизированный контроль размеров) – обеспечивает режим управления измерительным оборудованием в «реальном» времени, функции получения и анализа измеренных данных, расчета заданных линейно-угловых параметров) и САИР (computer-aided inspection planning (автоматизированное планирование (проектирование процессов) контроля) – выполняется разработка и отладка технологий контроля) систем.

В рамках выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по проектированию новой серии многофункциональных модульных измерительных систем и приборов в Челябинском научно-исследовательском и конструкторском институте средств контроля и измерений в машиностроении (ЗАО «ЧелябНИИконтроль») проводится разработка координатно-измерительного оборудования (рис. 1), а также методического, математического, информационного и программного обеспечения процессов координатных измерений. В соответствии с планами НИОКР ЗАО «ЧелябНИИконтроль» на 2006-2024 гг. уже разработаны и серийно производятся КИП, КИМ и КИС НИИК-481КМ2, НИИК-484, НИИК-701, НИИК-703, НИИК-483 [4, 5, 6]. Продолжаются испытания опытного экземпляра четырехкоординатной измерительной системы НИИК-485. Одной из последних разработок (2020 год) является координатно-измерительная система НИИК-481КМ3, которая предназначена для контроля геометрических параметров конических резьбовых калибров [6, 7, 8]. Из всей номенклатуры выпускаемого ЗАО «ЧелябНИИконтроль» координатно-измерительного оборудования универсаль-

ными (предназначенными для измерения геометрических параметров широкого круга разнообразных конструкций деталей) являются трехкоординатные учебные КИМ НИИК-701. Все остальные модели КИП и КИС являются высокоточным измерительным оборудованием для реального производства и, что очень важно отметить – это специализированное координатно-измерительное оборудование, то есть приборы и системы, использующие методику координатных измерений, компоновка и программное обеспечение которых предназначено для измерений ограниченной номенклатуры типовых деталей или поверхностей. Например, зубчатых колес, резьбовых калибров, червячных фрез, долбяков и т. д.



Рис. 1. Примеры выпускаемого ЗАО «ЧелябНИИконтроль» координатно-измерительного оборудования

Новые измерительные системы и модернизированные приборы оснащаются различными версиями специализированного метрологического ПО собственной разработки, которые объединены под общим запатентованным наименованием «ТЕХНОкоорд» (Технология Координатных Измерений). ПО включает в себя все модули необходимые для настройки и управления работой координатно-измерительного оборудования, средства для получения, обработки и анализа измерительной информации, удобные графические интерфейсы пользователя, настраиваемые на конкретную операцию измерения, а также средства для формирования подробных отчетов и статистической обработки результатов измерения. ПО «ТЕХНОкоорд» обеспечивает работу с трехмерными моделями измеряемых деталей в соответствии со стандартами CALS-технологий [9]. В ПО интегрированы модули для выполнения процессов калибровки аппаратной части, учета результатов калибровки при определении и коррекции координат измеренных точек.

В зависимости от функционального назначения КИМ или КИС в базовое ПО «ТЕХНОкоорд» включаются дополнительные программные модули [10 11, 12, 13]: «ТЕХНОкоорд-ОпТИС» (работа с «системой технического зрения»), «ТЕХНОкоорд-Эвольвента» (измерение зубчатых колес), «ТЕХНОкоорд-4К» (управление четырехкоординатными измерительными системами с поворотным столом (типа НИИК-483 или НИИК-485)) и др.

Базовое ПО «ТЕХНОкоорд» может быть использовано не только для непосредственного управления работой КИМ в on-line режиме (функции САI-системы). Функции САIP-системы дают возможность работать в off-line режиме (без подключения к КИМ). Виртуальная 3D-среда обеспечивает полную симуляцию процесса измерения, позволяет разработать, проверить и откорректировать управляющую программу (УП), которая в дальнейшем может быть запущена на реальной КИМ или КИС (рис. 2).

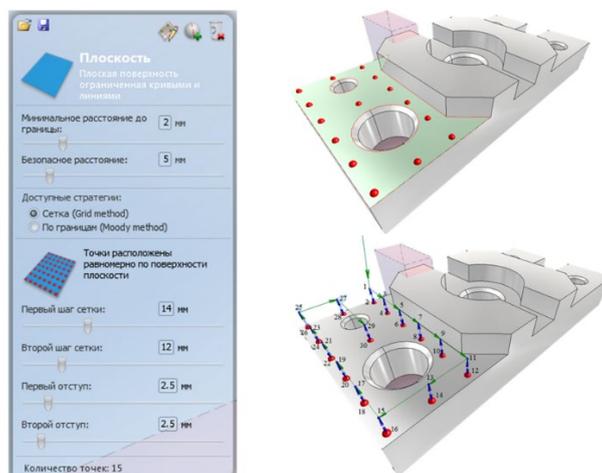


Рис. 2. Разработка стратегий измерения типовых геометрических элементов детали в ПО «ТехноКоорд»

Разработанная УП включает в себя набор измерительных циклов, вспомогательные траектории, служебные функции (калибровка, математическое базирование, смещение системы координат детали, смена измерительной головки или наконечника и т.д.), расчетные подпрограммы, дополнительные модули (шаблон оформления протокола, статистический анализ и т.д.). Реальные кодированные кадры УП скрыты от пользователя графическим интерфейсом, что значительно упрощает процесс проектирования, снижает количество ошибок. Сам процесс проектирования траектории рабочих и вспомогательных перемещений ИН полностью автоматизирован. Однако, как и в большинстве САПР – систем других производителей, в базовом ПО «ТЕХНОкоорд» ответственность за правильный выбор методики координатных измерений лежит на инженере-метрологе.

Специалистами ЗАО «ЧелябНИИконтроль» проводится систематическая работа по расширению функциональных возможностей базовой версии ПО «ТЕХНОкоорд» и всех дополнительных программных модулей. Пополняется новыми функциями система меню, дорабатываются инструменты графического интерфейса САД редактора по работе с визуальной геометрической 3D моделью на экране монитора. Структурированная база данных («библиотека» математического «ядра») типовых расчетно-математических моделей для определения значений контролируемых параметров дополняется новыми расчетными моделями и алгоритмами [14, 15].

### Библиографический список

1. Coordinate measuring machines and systems / editors, Robert J. Hocken and Paulo H. Pereira. – 2nd ed. CRC Press, 2011. – 574 p.
2. Surkov, I.V. Development of methods and means of coordinate measurements for linear and angular parameters of cutting instruments / Measurement Techniques: Volume 54, Issue 7 (2011), Page 758–763.
3. Сурков И.В. Применение КИМ для контроля линейно-угловых параметров в машиностроении / И. В. Сурков, М. В. Мягкова // Оборудование и инструмент для профессионалов. Международный информационно-технический журнал. – 2007. – №5. – С. 88–91.
4. Сурков И. В. Разработка оборудования и программного обеспечения для координатных измерений прецизионных деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями / И. В. Сурков, А. И. Буртовая // Metrology and metrology assurance 2013: тезисы докл. 23-го национального научного симпозиума с международным участием (Созополь (Болгария), 9–13 сентября 2013 г.). – Созополь (Болгария), 2013. – С. 186–191.
5. Каталог продукции ЗАО «ЧелябНИИконтроль». Измерительные приборы, системы автоматизированного контроля и управления – 2019. – URL: <http://www.toolmaker.ru/docs/Katalog.pdf> (дата обращения 30.01.2024).
6. Научно-производственный видеоканал "ЧелябНИИконтроль" – URL: [https://www.youtube.com/channel/UCzTGaVt-qX5D-zY4tOcTevw/videos?view=0&sort=dd&shelf\\_id=0](https://www.youtube.com/channel/UCzTGaVt-qX5D-zY4tOcTevw/videos?view=0&sort=dd&shelf_id=0) (дата обращения: 30.01.2024).
7. Сурков И. В. Разработка оборудования и программно-методического обеспечения для координатных измерений резьбовых конических калибров [Текст] / И. В. Сурков, Е. В. Ведешкина, С. П. Калинин // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематич. сб. науч. тр. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2019. – С. 22–34.
8. Сурков И. В. Разработка методики объемной калибровки координатно-измерительных систем с поворотным столом / И.В. Сурков, // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – С. 66–81.
9. Руководство пользователя по работе с ПО ТЕХНОкоорд. – Челябинск: ЗАО «ЧелябНИИконтроль». – URL: <http://www.toolmaker.ru/download.htm?path=docs/Manual.pdf> (дата обращения 30.01.2024).
10. Сурков И. В. Разработка измерительного оборудования и программно-методического обеспечения для контроля параметров зубчатых колес и передач / И.В. Сурков // Metrology and metrology assurance 2015: тезисы докл. 25-го национального научного симпозиума с международным участием (Созополь (Болгария), 7–11 сентября 2015 г.). – Созополь (Болгария), 2015. – С. 177–184.
11. Сурков И. В. Разработка методики координатных измерений резьбовых конических калибров / И. В. Сурков, Е. А. Суркова, А. И. Буртовая, И. С. Матрикова // Metrology and metrology assurance 2015: тезисы докл. 25-го национального научного симпозиума с международным участием (Созополь (Болгария), 7–11 сентября 2015 г.). – Созополь (Болгария), 2015. – С. 478–486.
12. Сурков И. В. Разработка методов и средств координатных измерений линейно-угловых параметров режущих инструментов / И. В. Сурков, // Измерительная техника. Ежемесячный научно-технический журнал. – 2011. – №7. – С. 13–17.
13. Педь С. Е. Разработка модельного ряда аппаратно-программных комплексов для автоматизированных измерений параметров зубообрабатывающих инструментов / С. Е. Педь, Д. А. Мастеренко, П. В. Панфилов, А. В. Еськов, И. В. Сурков, // Измерительная техника. Ежемесячный научно-технический журнал. – 2013. – № 12. – С. 27–31.
14. Сурков И. В. Разработка и тестирование в программном обеспечении «ТЕХНОкоорд» новых методов анализа результатов координатных измерений / И.В. Сурков, С.В. Вольф // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – С. 63–80.
15. Сурков И. В. Разработка расчетно-математических моделей для анализа результатов координатных измерений в соответствии с новыми требованиями нормирования точности геометрических параметров деталей / И. В. Сурков // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – С. 55–92.

**С. Б. Тарасов**

кандидат технических наук,  
генеральный директор ООО ИМЦ «МИКРО»

**А. В. Петров**

Заместитель генерального директора по производству ООО ИМЦ «МИКРО»

## ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

Современное обеспечение качества деталей при металлообработке основано на управлении технологическими процессами по результатам измерений деталей вместо контроля уже изготовленных деталей. В России есть все условия цифровизации измерений при металлообработке. Освоено производство цифровых измерительных головок и преобразователей, разработан программный продукт StatАналитика для управления технологическими процессами.

**Ключевые слова:** метрология, цифровые измерительные головки и преобразователи, технологический процесс

**S. B. Tarasov**

Ph. D. of Engineering Sciences  
General Manager LLC EMC «MIKRO»

**A. V. Petrov**

Deputy General Director for Production LLC EMC «MIKRO»

## PROBLEMS OF DIGITALIZATION OF MEASUREMENTS IN METALWORKING

Modern quality assurance of parts in metalworking is based on the control of technological processes based on the results of measurements of parts instead of monitoring already manufactured parts. Russia has all the conditions for digitalization of measurements in metalworking. The production of digital measuring heads and converters has been mastered, and the StatAnalytics software product has been developed for managing technological processes.

**Keywords:** metrology, digital measuring heads and converters, technological process.

До 80-х годов прошлого века во всем мире качество деталей в машиностроении обеспечивалось на основе контроля уже изготовленных деталей с помощью контрольных калибров и визуальных (стрелочных) средств измерений. Как правило, применялся одноступенчатый контроль (контроль рабочего + приемочный контроль ОТК), т. е. после рабочего не оставалось никаких документов, подтверждающих качество изготовленных деталей.

В настоящее время в мире сформировалась новая концепция обеспечения качества деталей – управление технологическим процессом изготовления деталей на основе измерения изготавливаемых деталей.

Основой управления технологическим процессом являются сбор, регистрация и анализ результатов измерения изготавливаемых деталей, что можно выполнять только на основе цифровых приборов и компьютеров.

К сожалению, в России на всех производствах, кроме закупленных технологий, по-прежнему применяется визуальный контроль и соответственно послеоперационный контроль ОТК.

Кроме того, в нашей стране до сих пор существует архаичный порядок выбора и применения средств измерений, который вызывает недоверие к результатам измерений. Вследствие этого у нас бытует мнение, что при изготовлении деталей брак неизбежен.

Согласно ГОСТ 8.051-81 и РД 50-89-86 погрешность измерения не должна превышать 1/3 измеряемого допуска. Но на практике, за допускаемую погрешность измерения измерительного приспособления принимают только предел допускаемой погрешности отсчетного устройства, например, микрокатора. Это первая причина недоверия к результату измерения.

Вторая причина, вызывающая недоверие, заключается в выборе приемочных границ при оценке качества измеряемых деталей. Указанные выше нормативные документы разрешают совмещать приемочные границы с границами поля допуска.

Третья причина заключается в применении послеоперационного контроля ОТК, в результате чего качество деталей обеспечивают контролеры ОТК, а не рабочие – изготовители деталей.

С целью цифровизации измерений в металлообработке [1] Инженерно-метрологический центр «Микро» совместно с ООО «МикроМех» и ООО "ВИПП Техника" разработал и освоил производство цифровых измерительных головок ИГЦ и ИГЦМ. Каждая головка является универсальной – имеет цифровой отсчет с дискретностью 0,1 мкм и семь переключаемых шкал, заменяя семь типоразмеров применяемых микрокаторов и микаторов.

Цифровые головки имеют разнообразные функции и выпускаются в трех вариантах исполнения:

- просто визуальная головка, заменяющая микрокатор
- визуальная головка с возможностью передачи результатов измерений на компьютер по USB-кабелю
- визуальная головка с возможностью передачи результатов измерений на компьютер по радиоканалу.

Один компьютер может принимать данные от 6 до 10 головок. Идентификация результата измерений осуществляется введением на компьютере идентификационных показателей (номер головки, цена деления, обозначение детали и измеряемого размера, дата, время, оператор и др.).

Кроме цифровых измерительных головок освоено производство широкой гаммы цифровых индуктивных преобразователей с USB-выходом [2].

Индуктивные преобразователи предназначены в первую очередь для автоматизации и цифровизации измерений в машиностроении, особенно при многомерном контроле.

Новые индуктивные преобразователи имеют встроенные контроллеры, благодаря которым каждый преобразователь является законченным средством измерения с метрологическими характеристиками независимо от применяемого вторичного устройства;

При подключении преобразователей к компьютеру осуществляется допусковый контроль, размерная сортировка, амплитудные измерения, любые математические и логические операции с отсчетом от разных преобразователей.

Преобразователи выпускаются с механическим, вакуумным или пневматическим арретированием измерительного штока.

Таким образом, в нашей стране налажено производство электронных средств измерений, необходимых для цифровизации измерений в металлообработке.

Разработан программный комплекс СтатАналитика, который позволяет решать широкий спектр задач в области сбора, анализа, визуализации и хранения данных, получаемых из производственных процессов. В основу комплекса заложены известные и наиболее трудоемкие методы анализа процессов производства, измерительных систем и качества продукции.

Надо отметить, что программный комплекс СтатАналитика является универсальным программным продуктом и применим на любых предприятиях, заинтересованных в непрерывном развитии и улучшении своих производственных процессов.

СтатАналитика имеет модульную структуру и состоит из 12 модулей, три из которых направлены непосредственно на управление технологическим процессом на основе результатов измерений деталей:

Программное обеспечение СтатАналитика, как элемент цифрового производства, позволяет создать единое информационное пространство в рамках предприятия, корпорации, отрасли, но пользователь программного обеспечения в зависимости от поставленных целей может воспользоваться любым модулем.

Изменилось и понятие результата измерения. Раньше мы за результат измерения принимали непосредственно показания прибора. Теперь согласно РМГ 29-2013 результатом измерения является множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существующей информацией. Упомянутым показателем точности является расширенная неопределенность  $U$ , которая должна рассчитываться и учитываться для каждой измерительной операции.

Что дает цифровизация линейных измерений в металлообработке:

- внедрить самоконтроль рабочих и соответственно отказаться от дублирующего операционного контроля ОТК;
- добиться полной ликвидации брака при изготовлении деталей за счет введения приемочных границ на основе учета неопределенности измерений;
- перейти от контроля качества уже изготовленных деталей к управлению технологическим процессом по результатам измерения изготавливаемых деталей;
- обеспечить многомерное измерение деталей, т.е. одновременно за одну установку выполнять измерения нескольких параметров детали;
- предоставлять на основании протоколов измерения подтверждение качества выпускаемой продукции согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

#### **Библиографический список**

1. Тарасов С. Б., Степанов С. Н., Петров А. В., Степанов С. С., Цифровизация измерений в металлообработке, Мир измерений. 2020. № 2. С. 14–19.
2. Тарасов С. Б. Эталонные приборы для линейно-угловых измерений и средства цифровизации, Бизнес столицы «Машиностроение. Металлообработка», 2022, с. 15–17.

*К. Н. Тимофеев\**

кандидат технических наук, доцент

*А. В. Куцов\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ТЕСТИРОВАНИЕ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА ОПЕРАТОРА FPV-ДРОНА

Целью тестирования является изучение влияния действий, связанных с пилотированием FPV-дронов, на вестибулярный аппарат оператора. Для достижения данной цели была использована специальная стабилоплатформа, которая позволяет имитировать движения, сопровождающие пилотирование дронов в реальной среде. Кроме того, оператор надевал VR-шлем, что позволяло ему погрузиться в виртуальное пространство и получать максимально реалистичные ощущения при пилотировании.

**Ключевые слова:** вестибулярный аппарат, стабилоплатформа, виртуальная реальность, FPV-дрон.

*K. N. Timofeev\**

Ph.D. of Technical Sciences

*A. V. Kutsov\**

student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## TESTING OF THE VESTIBULAR APPARATUS OF THE FPV DRONE OPERATOR

The aim of the study is to investigate the influence of actions related to FPV drone piloting on the operator's vestibular apparatus. To achieve this goal, a special stabilization platform was used to simulate the movements that accompany drone piloting in a real environment. In addition, the operator wore a VR-helmet, which allowed him to immerse himself in the virtual space and get the most realistic piloting experience.

**Keywords:** vestibular apparatus, stable platform, virtual reality, FPV drone.

В настоящее время FPV-дроны, стали неотъемлемой частью многих областей, начиная от спортивных соревнований и развлечений до использования в коммерческих и государственных целях. Эти устройства позволяют операторам испытать ощущения полета так, будто они сами находятся внутри беспилотного летательного аппарата. Однако, именно из-за такой иммерсивной природы FPV-полетов, операторам, управляющим дронами, необходимо иметь высокую степень координации, особенно в процессе маневрирования и переключения направлений.

Одной из основных проблем, связанных с оперативным использованием FPV-дронов, является безопасность. Возможность проникновения таких аппаратов в запретные зоны и потенциальная угроза для авиационной безопасности вызвали необходимость создания эффективных систем контроля и обеспечения безопасности, в частности, аэропортов.

Для обеспечения высокой эффективности работы операторов FPV-дронов важно иметь доступ к методам и средствам тестирования вестибулярного аппарата. Одним из новых подходов к оценке двигательной-координационных способностей человека, в условиях полета или его имитации, является использование стабилоплатформы [1], с биологической обратной связью (БОС), на базе виртуальной реальности (VR).

Для диагностики вестибулярного аппарата оператора FPV-дрона с применением VR-технологий совместно со стабилоплатформой представляется перспективным и доступным методом диагностики, так как позволяет проводить экспресс тестирование и оценку работы вестибулярного аппарата оператора в контролируемых условиях. Этому способствует симуляции различных летных сценариев, включая экстремальные условия полета, что позволяет анализировать реакцию оператора на различные стимулы и ситуации.

Вестибулярный аппарат оператора отвечает за равновесие, координацию движений и ориентацию в пространстве. Точность и надежность его работы являются ключевыми факторами для оператора FPV-дрона, особенно в условиях ограниченной видимости и высоких скоростей полета. Тестирование на стабилоплатформе позволяет оператору оценить свои навыки контроля и выявить возможные проблемы, такие как чувство головокружения, неустойчивость и трудности с ориентацией, что помогает выявить слабые места и проблемы с координацией движений в реальных условиях полета. VR-шлемы играют важную роль в создании биологической обратной связи и результирующей оценке вестибулярного аппарата оператора FPV-дрона. Использование VR-шлема позволяет оператору лучше контролировать свое положение в пространстве и ориентироваться вокруг себя, что важно при выполнении сложных маневров и миссий FPV-полетов. Работа в разных плоскостях, позволяет оценивать баланс не только в горизонтальной, но и во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Симуляция специфических и сложных условий полета, таких как сильные ветры, порывы, турбулентность или другие экстремальные погодные условия, дает возможность тестировать операторов без риска для безопасности и оборудования [2]. При движениях тела оператора программа оценивает скорость передвижения постуральной оси в виртуальном

пространстве и широту колебательных движений тела. Далее на основании математического расчета она выдает заключение о наличии либо отсутствии функциональных нарушений равновесия.

При тестировании вестибулярного аппарата оператора применяется компьютер с разработанной программой, стабилоплатформа и VR-очки. Описанная выше оборудование представлено на структурной схеме, изображенной на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема оценки вестибулярного аппарата

Измерения и параметры центра давления, отображающие информацию о равновесии и стабильности оператора FPV-дрона во время выполнения заданий с использованием стабилоплатформы, поступают в компьютер, который производит обработку и анализ данных, полученных от стабилоплатформы и датчиков движения, а затем обеспечивает визуализацию результатов, а также позволяет врачу наблюдать за движениями оператора в реальном времени.

Очки виртуальной реальности (VR-очки) – предоставляют оператору возможность погрузиться в виртуальную среду и взаимодействовать с ней во время выполнения заданий. Они дают реалистичное отображение окружающей среды, что способствует приближению к реальным условиям работы оператора.

Датчики движения, выполненные на базе двухосного акселерометра и гироскопа, выполненного на базе МЭМС, установлены на подвижной части стабилоплатформы и фиксируют перемещения тела оператора, такие как наклоны, повороты и смещения. Полученные данные передаются на ПК для последующего анализа.

Предлагаемая математическая модель тестирования вестибулярного аппарата через функцию равновесия, используя тест Ромберга, имеет вид:

$$f(\theta, t, \omega, A) = C * \sin(\theta) + D * \exp(-t / \tau) * \sin(\omega t + \varphi) + E * A * \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

где обозначены:  $\theta$  – угол наклона платформы;  $\omega$  – угловая скорость;  $A$  – амплитуда;  $C, D, E$  – стабилметрические коэффициенты;  $\tau$  – постоянная времени;  $\varphi$  – фаза колебаний.

Для данной математической модели было проведено компьютерное моделирование с использованием базы данных НВЕД [3] и теста Ромберга, в программной среде MATLAB, при этом, перед моделированием база НВЕД была предварительно обработана и отформатирована под конкретную задачу исследования. На рис. 2, в качестве примера, представлены итоговые сравнительные характеристики, полученные при обработке данных двух операторов.

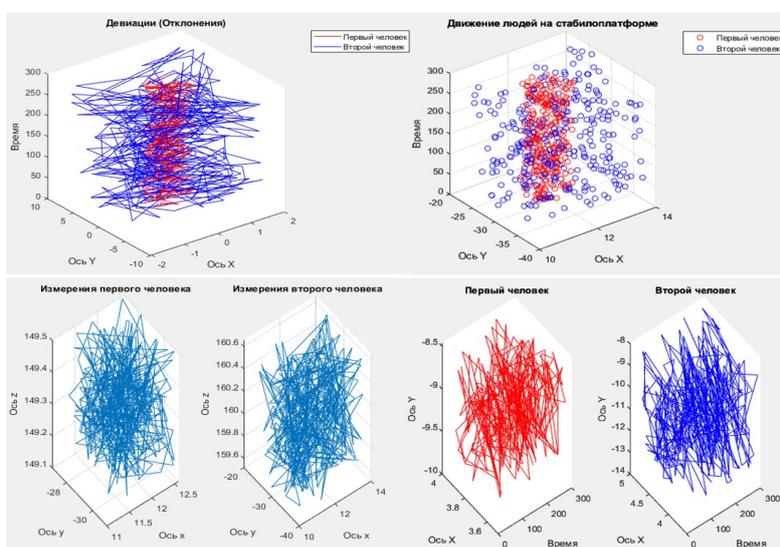


Рис. 2. Сравнительных характеристик двух операторов после обработки в MATLAB

Проанализировав и оценив равновесие каждого оператора, а также выявив особенности и различия в функции вестибулярного аппарата в зависимости от параметров роста, веса и возраста, по результатам исследования было выявлено и доказано, что применение оборудования, реализованного по вышерассмотренной структурной схеме, позволяет оценить профпригодность операторов FPV-дронов по тестированию их вестибулярного аппарата.

Таким образом, использование стабиллоплатформы и БОС с VR-шлемом, в процессе тестирования вестибулярного аппарата оператора FPV-дрона, является важным шагом для обеспечения квалифицированного отбора операторов, а также позволяет идентифицировать и, при необходимости, исправлять проблемы с их координацией и стабильностью профессиональной работы,

В заключении следует отметить, что предлагаемая методика, также может использоваться, как экспресс-диагностика, при первичном отборе и тестировании летного состава гражданской или военной авиации и отборе в отряд космонавтов.

#### **Библиографический список**

1. Кубряк О.В., Гроховский С.С., Доброродный А.В. Исследование опорных реакций человека (постурография, стабиллометрия) и биологическая обратная связь в программе STPL Мера-ТСП, 2018. 121 с.
2. Сопоставление вестибулярного и зрительного вкладов в настройку угловой скорости головы в коре головного мозга. URL: [https://www.cell.com/cell-reports/fulltext/S2211-1247\(21\)01630-2](https://www.cell.com/cell-reports/fulltext/S2211-1247(21)01630-2) (дата обращения: 20.12.2023).
3. Сантос Д.С., Дуарте М. База данных для оценки человеческого баланса (HBED) – URL: <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2162v1> (дата обращения 21.12.2023).

УДК 621.313

*С. С. Тимофеев\**

старший преподаватель

*С. К. Шорохов\**

студент

*Д. А. Верхоглядов\**

студент

*Е. А. Грецкий\**

студент

*Я. В. Клинов\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА МАГНИТНОГО НАСЫЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Выполнено моделирование магнитного поля двигателя постоянного тока при нагрузке для определения величины насыщения сердечника в установившемся режиме при заданной величине тока.

**Ключевые слова:** электрический привод, магнитное поле, индукция, насыщение магнитной цепи.

*S. S. Timofeyev\**

senior lecturer

*S. K. Shorokhov\**

student

*D. A. Verkhoglyadov\**

student

*E. A. Gretskey\**

student

*J. V. Klinov\**

student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EVALUATION OF MAGNETIC SATURATION OF ACTUATORS OF DC ELECTRIC DRIVE ACTUATORS

Direct current motor magnetic field modeling under load to determine the value of the core saturation in steady-state mode at a given current value is performed.

**Keywords:** electric drive, magnetic field, induction, saturation

**Введение.** Электрические двигатели постоянного тока нашли широкое применение в всех отраслях промышленности нашего времени. В электромеханических преобразователях под действием магнитного поля обмотки возбуждения происходит изменение намагничивающей силы в стали внутри машины.

Основной целью исследования было определение величины насыщения сердечника в установившемся режиме при заданной величине тока. Понимание этого процесса имеет ключевую важность в контексте улучшения технологий двигателей постоянного тока и повышения их эффективности и надежности. Объектом исследования является электромеханический преобразователь постоянного тока ПЛ-072 УЗ.

На рис. 1 представлен поперечный разрез двигателя постоянного тока ПЛ-072 УЗ. Далее импортируем данную модель в *Elcat* [1].

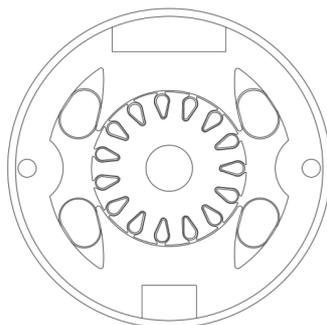


Рис. 1. Модель двигателя ПЛ-072 УЗ

Индуктор двигателя выполнен из электротехнической стали 1121. Кривая намагничивания представлена на рис. 2.

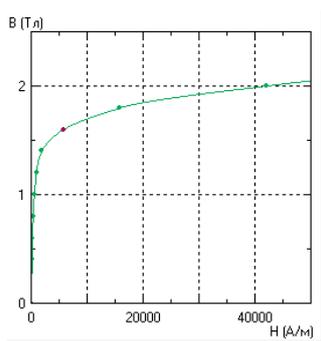


Рис. 2. Кривая намагничивания 1121

Якорь двигателя выполнен из электротехнической стали 3413. Кривая намагничивания представлена на рис. 3.

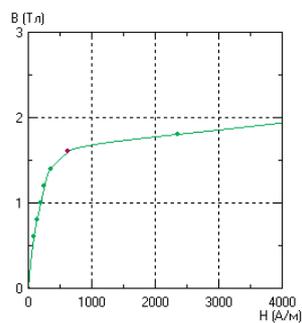


Рис. 3. Кривая намагничивания 3413

Моделирование магнитного поля катушек возбуждения в двигательном режиме при токе  $I_b=0.248A$ ,  $I_a=0.44 A$  (рис. 4) [2].

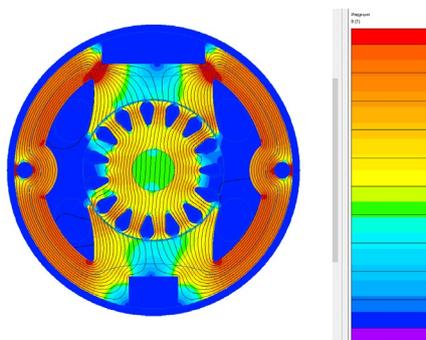


Рис. 4. Расположение линий магнитной индукции при токе  $I_b=0.248A$

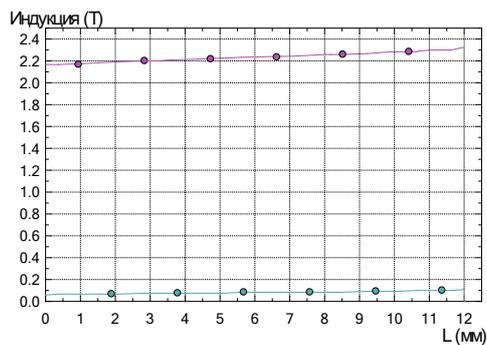


Рис. 5. График распределения линий магнитной индукции по тангенсальной и нормальной составляющей в ярме при  $I_b=0.248A$

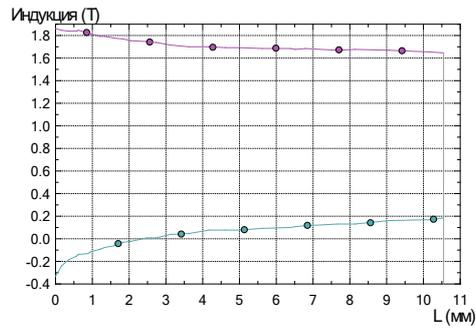


Рис. 6. График распределения линий магнитной индукции по тангенсальной и нормальной составляющей в сердечнике якоря при  $I_b=0.248A$

Моделирование магнитного поля в двигательном режиме при токе  $I_b=0.124A$ ,  $I_a=0.44 A$  (рис. 7).

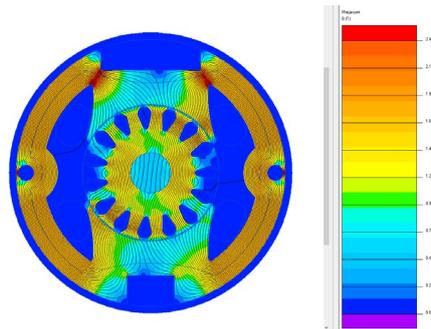


Рис. 7. Расположение линий магнитной индукции при  $I_b=0.124A$

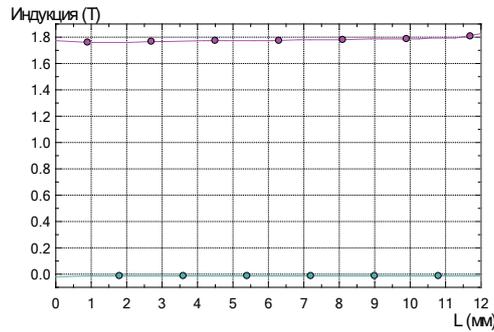


Рис. 8. График распределения линий магнитной индукции по тангенсальной и нормальной составляющей в ядре при  $I_b=0.124A$

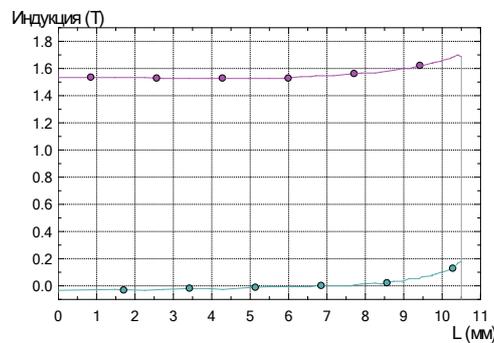


Рис. 9. График распределения линий магнитной индукции по тангенсальной и нормальной составляющей в сердечнике якоря при  $I_b=0.124A$

Исходя из графиков(рис. 5, рис. 6 и рис. 8, рис. 9), полученных при моделировании магнитного поля электромеханического преобразователя ПЛ-072 УЗ можно увидеть, что при  $I_b=0.248A$  магнитная индукция в сердечнике статора равна 2.2 Тл, напряжённость магнитного поля составляет 60000 А/м, а в сердечнике ротора индукция – 1.7 Тл, напряжённость – 900 А/м. Данные параметры индукции не допустимы в рабочем режиме двигателя.

При понижении тока возбуждения в 2 раза до  $I_b=0.124\text{А}$  индукция в сердечнике статора составляет 1.8 Тл соответствующая напряженности в 15900 А/м. В сердечнике ротора индукция равна 1.54 Тл соответствующая напряженности в 590 А/м.

**Заключение.** Исходя из полученных исследований можно сделать, что при номинальных значениях тока возбуждения происходит сильное перенасыщения, что приводит к ослаблению магнитного потока, следовательно, влияет на динамические характеристики двигателя [3]. Для оценки динамических параметров с учетом насыщения двигателя необходимо дополнительное моделирование математической модели в среде *Simulink*.

#### Библиографический список

1. Моделирование магнитного поля в воздушной области электрической машины постоянного тока, URL: [https://elcut.ru/advanced/toe\\_lab7\\_r.htm](https://elcut.ru/advanced/toe_lab7_r.htm) (дата обращения 10.10.2023).
2. Лютаревич А.Г., Вяткина Е.А., Пугачева Е.А., Тевс В.В Моделирование электродвигателя с постоянными магнитами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 12 (часть 1), С. 33–38.
3. Вольдек А. И. Электрические машины. М.: Энергия, 1974. 840 с.

*И. В. Токаревский\**

аспирант, начальник лаборатории отдела 98 АО «Котлин-Новатор»

*А. А. Сенцов\*\**

к.т.н., доцент

*В. А. Ненашев\*\**

к. т. н., доцент

\*АО «Котлин-Новатор» Санкт-Петербург, Россия

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДЕМАСКИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрен вопрос выбора критериев оценки качества демаскированных радиолокационных изображений для возможности разрешения противоречий между требованиями к полноте, достоверности и точности, с одной стороны, и ко времени обработки радиолокационных данных воздушного мониторинга, с другой стороны.

**Ключевые слова:** радиолокационные изображения, маскирование, оценка качества, демаскирование.

*I. V. Tokarevskiy\**

graduate student,

*A. A. Sentsov\*\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

*V. A. Nenashev\*\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

\*JSC "Kotlin-Novator" Saint-Petersburg, Russia

\*\*St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EVALUATION OF THE QUALITY OF MASKING RADAR IMAGES

The most common criteria for assessing the quality of masked radar images are described in order to resolve contradictions between the requirements for completeness, reliability and accuracy, on the one hand, and the processing time of radar data, on the other hand.

**Keywords:** radar images, masking, quality assessment, unmasking, image fidelity, SSIM.

По информационным и тактическим характеристикам современные РЛС дают возможность осуществлять непрерывное наблюдение объектов и местности независимо от времени суток и метеорологических условий, а высокая проникающая способность электромагнитных волн радиодиапазона позволяет с помощью РЛС наблюдать искусственные и естественные объекты через облака, туманы, дымовые завесы, растительные покровы, снег и лед, рыхлые почвы, песок. При радиолокационном наблюдении используется информация, заключенная не только в интенсивности отраженных сигналов, но и в их фазовой структуре, поляризации, доплеровском смещении частоты.

Тем не менее производительность формирования и маскирования РЛИ в современных РЛС, может составлять  $10^6 \dots 10^7$  элементов (пикселей) изображений в секунду и выше, а производительность оператора-дешифровщика при визуальной обработке демаскированных РЛИ характеризуется величиной порядка  $10^3 \dots 10^4$  пикс/с [1]. Кроме того, при визуальном анализе РЛИ практически невозможно учесть ряд вторичных признаков объектов мониторинга, информация о которых заключена в радиолокационном сигнале (в динамическом диапазоне амплитуды сигнала, составляющем 60...120 дБ, поляризации, фазовой структуре, статистических характеристиках и др.) [2, 3].

Обеспечение компромисса между требованиями к полноте, достоверности, точности, с одной стороны, и к срокам представления демаскированных РЛИ, с другой, можно обеспечить только на пути автоматизации процесса обработки радиолокационной информации с использованием современных высокопроизводительных средств цифровой вычислительной техники в составе бортовой аппаратуры радиолокационных систем. В перспективе в качестве основы для реализации автоматического процесса распознавания воздушных объектов может быть реализована вычислительная система с самообучением. Тем не менее допустимость использования ассоциативных элементов для реализации когнитивных методов обработки информации в задаче автоматического распознавания должна быть подтверждена дополнительными исследованиями [4]. Задача распознавания движущегося объекта на радиолокационном изображении является трудно формализуемой, модели «ситуаций» оцениваются уровнем «схожести», что позволяет получать решение для поставленной задачи в рамках нечеткой логики и технологий искусственного интеллекта [4].

Но проблема полной автоматизации процесса дешифрирования и оценки визуальной информации (в том числе РЛИ) несмотря на интенсивные исследования, проводимые на протяжении многих лет (начиная с середины 50-х годов) широким кругом отечественных и зарубежных специалистов, до настоящего времени не решена в полном объеме [5–8].

В радиолокационных комплексах в настоящее время на технические средства обработки можно возложить решение задач по оценке качества демаскированного РЛИ [9]. Качество РЛИ снижается при передаче по открытым каналам связи, под влиянием внешних постановщиков помех: подмены или модификации передаваемых данных, потери информационных пакетов данных.

Пусть есть два РЛИ:  $f(x, y)$  – эталонное,  $\hat{f}(x, y)$  – демаскированное (восстановленное) изображение размером  $A \times B$ , тогда одним из критериев оценки потери качества является среднеквадратическое отклонение значений пикселей сжатого РЛИ от оригинала:

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{\sum_{x,y}^{A,B} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2}{A \cdot B}}. \quad (1)$$

По представленному критерию изображение будет считаться сильно искажено при изменении значений элементов пикселей всего на 5%. Таким образом применение меры оценки среднеквадратического отклонения рационально использовать при решении задач:

- классификации малоразмерных объектов по габаритам и вторичным признакам, например, по спектру доплеровских частот сигналов, отраженных от движущихся объектов или объектов с движущимися элементами, различать движущиеся объекты колесного или гусеничного типа, объекты со сканирующими антеннами и т. п.;
- определения факта движения и параметров движения наземных (морских) объектов;
- обнаружения движущихся подводных объектов по аномалиям в скоростном (доплеровском) портрете морской поверхности.

Другим критерием является максимальное отклонение от оригинала:

$$d(x, y) = \max_{x,y} |f(x, y) - \hat{f}(x, y)|. \quad (2)$$

Данная мера крайне чувствительна к биению отдельных пикселей, т.е. в изображении может измениться значение только одного пикселя, и данный критерий признает изображение сильно искаженным.

На практике часто используемой мерой качества изображения используют критерий соотношения сигнал/шум (PSNR)

$$d(x, y) = 10 \log_{10} \frac{2^k \cdot A \cdot B}{\sum_{x,y}^{A,B} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2}, \quad (3)$$

где  $k$  – количество бит на один пиксель РЛИ.

Логарифмический масштаб шкалы при оценке качества РЛИ дает преимущество в применении изображений, используемых для обнаружения, распознавания и определения координат пространственно-распределенных наземных и надводных целей, а также классификации земных покровов (водная поверхность, суша, поле, лес, сельскохозяйственные насаждения и их состояния, снежный покров и др.).

К другим наиболее употребляемым критериям оценки качества изображения относятся:

- средняя разность:

$$MD = \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B [f(x, y) - \hat{f}(x, y)] / (AB); \quad (4)$$

- метрика структурного подобия (SSIM):

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma, \quad (5)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – экспоненты для компонент яркости, контрастности и элемента структуры,

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x \mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1},$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2},$$

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3},$$

где  $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$  и  $\sigma_{xy}$  – значения локального среднего, значения среднеквадратического отклонения и перекрестная ковариация изображения для пикселей с индексами  $(x, y)$ .

Метрика оценки структурного подобия основана на вычислении трех компонент, а именно компонент яркости, контрастности и структуры [10-12]. Общее значение оценки качества РЛИ представляет собой мультипликативную комбинацию трех членов выражения (5).

На рисунке 1 представлен результат оценки качества изображения с использованием метрики структурного сходства для определения качественных характеристик РЛИ.

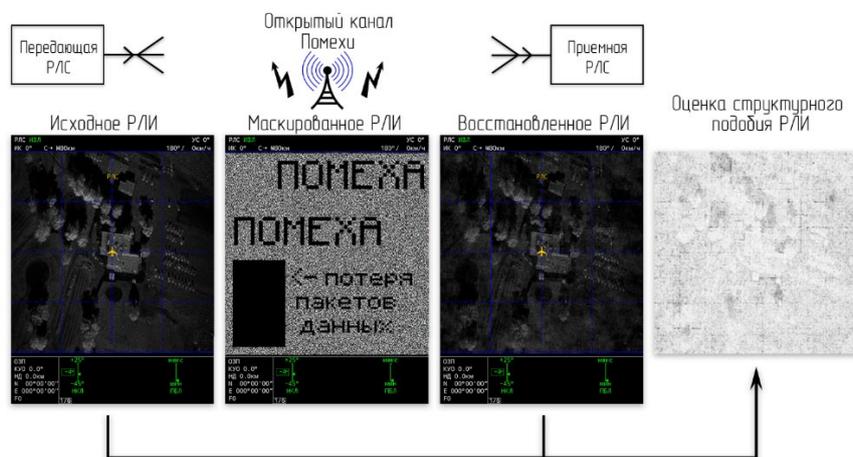


Рис. 1. Оценка структурного подобия РЛИ

Малые значения метрики структурного подобия отображаются в виде темных пикселей на локальной карте SSIM. Области с небольшими значениями SSIM соответствуют областям, где восстановленное изображение заметно отличается от эталонного. Большие локальные значения метрики SSIM отображаются в виде ярких пикселей (белого цвета). Области с большими значениями SSIM соответствуют однородным областям эталонного изображения, где внесенные искажения в изображение при передаче по радиоканалу оказывают меньшее влияние на РЛИ.

В настоящее время в задачах оценки качества восстановленного радиолокационного изображения среди критериев оценки качества изображения актуальными для программно-аппаратной реализации в современных проектах, связанных с разработкой перспективных радиолокационных станций, являются оценка среднеквадратического отклонения и соотношения сигнал/шум. Для визуальной оценки восстановленного радиолокационного изображения используется метрика структурного подобия и разностное изображение. Не менее актуальной является задача автоматизации процесса обработки радиолокационной информации на базе современных высокопроизводительных средств цифровой вычислительной техники в составе бортовой аппаратуры. Основой для реализации автоматического процесса распознавания воздушных объектов служат самообучающиеся системы, реализованные на базе когнитивных методов обработки информации.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-79-00303).

#### Библиографический список

1. Востриков А. А., Сергеев М. Б., Литвинов М. Ю. Маскирование цифровой визуальной информации: термин и основные определения // Информационно-управляющие системы. – 2015. – № 5. – С. 116–123.
2. I. V. Tokarevskiy, A. A. Sentsov and M. B. Sergeev, Features of Matrix Masking of Digital Radar Images, 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/WECONF55058.2022.9803393. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9803393>.
3. Чернышев, С. А. О выборе матриц для процедур маскирования и демаскирования изображений / С. А. Чернышев, А. А. Востриков, О. В. Мишура, А. М. Сергеев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–24. – С. 5335-5339.
4. Иванов С. А., Сенцов А. А. Применение когнитивных технологий в решении задачи распознавания. Труды XXV Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности», Том 1 – М.: ПАРАН, 2022. С. 267–274.
5. Верба В. С., Татарский Б. Г., Ильчук А. Р. и др. Радиолокационные системы авиационно-космического мониторинга земной поверхности и воздушного пространства. М.: Радиотехника, 2014. – 576 с.
6. Петров И. И., Шкодырев В. П., Сенцов А. А., Иванов С. А. Алгоритм распознавания малоразмерных воздушных объектов на основе анализа радиолокационных спектральных портретов // Т-Comm. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-raspoznavaniya-malorazmernyh-vozdushnyh-obektov-na-osnove-analiza-radiolokatsionnyh-spektralnyh-portretov> (дата обращения: 15.01.2024).
7. D. A. Kostenko, A. A. Sentsov and S. A. Ivanov. Application of Cognitive Technologies in Solving the Recognition Task, 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/WECONF55058.2022.9803328.

8. Richard Klemm. *Novel Radar Techniques and Applications*. Vol. 1: Real Aperture Array Radar, Imaging Radar, and Passive and Multistatic Radar / eds by Richard Klemm, Ulrich Nickel, Christoph Gierull et al. London: SciTech Publishing, 2017. – 952 p.
9. Сенцов А. А. Методика проектирования специализированных радиолокационных средств. Метрологическое обеспечение инновационных технологий: V Междунар. форум: сб. ст. / под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 131–132.
10. Zhou, W., A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity." *IEEE Transactions on Image Processing*. Vol. 13, Issue 4, April 2004, pp. 600–612.
11. Уханов Е. В. Статистические характеристики сигнала на выходе оптимальной радиолокационной системы распознавания подвижных воздушных объектов // *T-Comm*. №4. 2023. – С. 26–31.
12. Иванов С. А. Сенцов А. А. Оценка точности определения координат объектов в локальном навигационном поле. Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации: Первая Всеросс. науч. конф. (СПб., 14–22 апреля 2020 г.): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2020. С. 18–22.

*А. Ю. Федоринов\**

Аспирант, преподаватель

*Ю. П. Иванов\**

К. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

Точность, быстродействие и достоверность первичной обработка измерительной информации является важнейшей задачей в любой отрасли, а в аэрокосмической сфере особенно. Предлагается рассмотрение возможности использования разработанного спектрально-финитного алгоритма фильтрации сигнала на бортах малых космических аппаратов. Использование такого современного альтернативного способов обработки измерительной информации дает возможность достигнуть желаемой точности обработки, используя более простой методы, тем самым понижая затраты на создание и ресурсы необходимые для функционирования системы.

**Ключевые слова:** алгоритмы обработки информации, спектрально-финитный алгоритм, адаптивные фильтры.

*A. Y. Fedorinov\**

Postgraduate student

*Yu. P. Ivanov\**

Ph.D. Tech., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING A SPECTRAL-FINITE SIGNAL PROCESSING ALGORITHM IN THE AEROSPACE FIELD

The accuracy, speed and reliability of the primary processing of measurement information is the most important task in any industry, and especially in the aerospace sector. It is proposed to consider the possibility of using the developed spectral-finite signal filtering algorithm on the boards of small spacecraft. The use of such modern alternative methods of processing measurement information makes it possible to achieve the desired processing accuracy using simpler methods, thereby reducing the cost of creating and resources necessary for the operation of the system.

**Keywords:** information processing algorithms, spectral-finite algorithm, adaptive filters.

Первичная обработка измерительной информации с датчиков и устройств на борту любого летательного аппарата является важнейшей задачей, изучающийся в теории измерений. Классические подходы такие как фильтрация Винера и Калмана не всегда могут выполнять поставленную задачу эффективно, ввиду своих недостатков [1]. В качестве альтернативы можно использовать спектрально-финитный метод обработки информации [2, 3], разработанный к.т.н. доцентом ГУАП Ю.П. Ивановым. Основные особенности и достоинства данного разработанного подхода следующие:

- 1) Универсальность модели (не требует Марковости сигнала и инвариантность по отношению к свойствам коррелированности помех) [4].
- 2) Упрощение алгоритма обработки сигналов (не требуется представлять сигнал в пространстве состояния, решать уравнение Риккати, производить факторизацию и сепарацию) [5].
- 3) Сохранено качество обработки, алгоритмы являются оптимальными, потери по точности минимальны или асимптотически стремятся к фильтрации Калмана [6].
- 4) Ряд алгоритмов обладает повышенной устойчивостью работы по отношению к фильтру Калмана.
- 5) Данный подход заменяет решение задачи оценки достоверности принимаемых решений на основе уравнения ФПК на универсальный спектрально-финитный без обратной связи метод с оценкой даже в условии наличия помех (оценка априорной, апостериорной и безусловной достоверности принимаемых решений) – применяется в задачах контроля, оценки безопасности полета и при мониторинге внешних условий (решается задача нахождения вероятности невыхода Гаусовского случайного процесса за пределы поля допуска) [7].

Предполагается что использование данного метода позволит упростить алгоритмы обработки сигнала, тем самым повысив показатели быстродействия и надёжности программных действий. Спектрально-финитный подход базируется на финитно временном методе. Суть алгоритм спектрально-финитной фильтрации сигнала основан на представлении случайного сигнала на финитном интервале времени в виде частичной суммы ряда Карунена-Лоэва, который является частным случаем ряда Фурье [8]. Как известно, разложение сигналов в ряд Фурье представляется в виде следующей формулы:

$$X_i = \sum_{k=1}^r C_{k,i} * \Psi_{k,0} \quad (1)$$

где  $\Psi_k$  – ортонормальный полный базис Карунена-Лоэва [9],  $C_{i,k}$  k-ая–спектральная компонента представления случайного процесса, и определяется из следующей формулы:

$$C_{k,i} = \sum_{p=1}^r X_{i-p} * \Psi_{k,p} \quad (2)$$

$$C_{A_i} = CK_{H2_i} * ZZ_i * K_{ZZ_i}^{-1} \quad (3)$$

$$As_i = BB_s * CA_i BB_s^T \quad (4)$$

Для того, чтобы сжать измерительную информацию, используемую при оценивании сигнала, оценивание происходит в спектральной области.

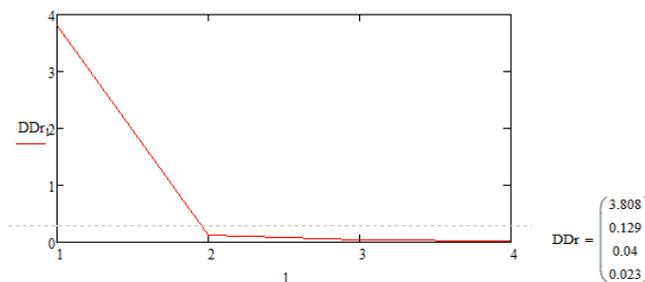


Рис. 1. Информативность компонент собственные векторов

Как можно видеть из рисунка 1, имеет смысл учитывать только первую и вторую компоненту, это позволит многократно повысить требуемую память устройств. Для получения оптимальной оценки на выходе фильтра, используется оператор  $As^*$ , оптимальный по критерию среднего квадрата ошибки оценки, который определяется из следствия теоремы ортогонального проецирования В. С. Пугачева [10]:

$$As^* = M[Xs Ys^T] M[Ys Ys^T]^{-1} \quad (6)$$

Математическое ожидание ошибки оценки и ее дисперсии будет определяться по рекуррентным формулам:

$$M_{E_i} = M_{E_{i-1}} + \frac{1}{i-1} (E_i - M_{E_{i-1}}) \quad (6)$$

$$D_{E_i} = D_{E_{i-1}} + \frac{1}{i-1} [(E_i - M_{E_{i-1}})^2 - D_{E_{i-1}}] \quad (7)$$

### Заключение

Более подробное описание разработанного метода и результаты сравнения с фильтрацией Калмана можно ознакомиться в следующих научных трудах [11, 12]. На данный момент разработано множество алгоритмов таких как финитно-временной, спектрально-финитный и их модификации – с обратной и без обратной связи, адаптивные и неадаптивные, с известными и не известными корреляционными функциями, с полной и неполной априорной неопределенность, для комплексных систем и для единичных каналов измерения. Самыми перспективными считаются адаптивные алгоритмы, так как они отражают максимальную приближённость к реальным условиям эксплуатации, и их использование имеет ряд преимуществ перед фильтрации Калмана. Стоит подчеркнуть, что при применении разработанных алгоритмов на бортах МКА предполагает снижение затрат ресурсов (времени обработки, вычислительной мощности) на обработку информации без существенных потерь в точности. Следующий этап разработки включает в себя создание непосредственного программного кода обработки сигнала, поступающего на вычислительный модуль, написанного на актуальном языке программирования, например, C+.

### Библиографический список

1. Шахтарин Б. И. Фильтры Винера и Калмана. – М.: Гелиос АРВ, 2008. – 408 с.
2. Ю. П. Иванов, А. Н. Синяков, И. В. Филатов Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 208 с.
3. Иванов Ю. П., В. Г. Никитин В. Г. Информационно-статистическая теория измерений. Методы оптимального синтеза информационно-измерительных, критерии оптимизации и свойства оценок. Учебное пособие. СПГУАП, С. П. 2011. с. 102.
4. Иванов Ю. П. Финитно-временной метод оптимальной фильтрации дискретных сигналов. Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. № 5 2018г. с. 23–28.

5. Иванов Ю. П. Адаптивная комплексная оптимально-инвариантная фильтрация сигнала. Приборостроение № 3 2003, с. 3–9.
6. Иванов, Ю. П. Универсальный адаптивный оптимальный метод комплексной фильтрации дискретных произвольных сигналов / Ю. П. Иванов // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем : Сборник докладов Третьей Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 18–22 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 16-21. – DOI 10.31799/978-5-8088-1707-4-2022-3-16-21. – EDN POKPDF.
7. Иванов, Ю. П. Спектральный метод оценки апостериорной достоверности невыхода случайного процесса за допустимые границы на скользящем интервале времени / Ю. П. Иванов // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии : Четвертая Международная научная конференция, Санкт-Петербург, 04–21 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 21-29. – EDN XIYFLY.
8. Иванов, Ю. П. Основные идеи финитно-временной и спектрально-финитной методологии обработки измерительной информации / Ю. П. Иванов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий : Сборник статей V Международного форума, Санкт-Петербург, 02 марта 2023 года / Под редакцией В. В. Окрепилова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 62-63. – EDN OYIMYO.
9. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
10. Пугачёв В. С. Теория случайных функций. М.: Физматгиз. 1962. с. 882.
11. Иванов, Ю. П. Спектрально-финитный метод оптимальной линейной фильтрации сигналов / Ю. П. Иванов // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии : Сборник докладов Первой Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 14–22 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2020. – С. 35-41. – DOI 10.31799/978-5-8088-1450-9-2020-1-35-41. – EDN WMYAУВ.
12. Федоринов А. Ю., Иванов Ю. П. Исследование спектрально-финитного метода фильтрации сигналов // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(31), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2022 – с. 3–8. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-1-3-8.

УДК 614.876

*Г. Г. Федоров\**

аспирант,

*Е. С. Цобкалло\**

д. т. н., профессор

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ ПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ

Описаны способы и подходы к созданию современных текстильных экранирующих материалов на основе композитных проводящих синтетических нитей.

**Ключевые слова:** экранирующие свойства, текстильные полотна, композитные волокна, углеродные нанонаполнители.

*G. G. Fedorov\**

graduate student,

*E. S. Tsobkallo\**

D. E. Sc, professor.

\*Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design

## DEVELOPMENT OF MODERN TEXTILE SHIELDING MATERIALS BASED ON COMPOSITE CONDUCTIVE FIBERS

Methods and approaches to the creation of modern textile shielding materials based on composite conductive synthetic fibers are described.

**Keywords:** shielding properties, textile fabrics, composite fibers, carbon nanofillers.

Небывалый скачок создания в двадцатом веке и последующие годы новых источников излучения привело к существенному увеличению их воздействия на человека, в том числе и работающих в СВЧ диапазоне. Этот новый вид внешнего воздействия не был заложен в эволюционный процесс, связанный с защитой организма человека к этому новому, достаточно агрессивному виду раздражителя. Наиболее ранние опасения возникли из-за введенного во время Второй мировой войны первого радиолокатора воздушной системы обороны. В проведенных исследованиях, относящихся к оценке вреда для человека воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ), была подтверждена потребность в снижении уровня излучения как на тело человека, так и на современные электронные устройства. Одним из основных средств для снижения уровня ЭМИ, доступных при невозможности воздействия на сам источник излучения, является экранирование ЭМИ, в том числе применение средств индивидуальной защиты для населения и работников соответствующих отраслей промышленности. Особо востребованными являются текстильные материалы, обладающие защитными от электромагнитных воздействий свойствами, которые применяются не только для решения задач подавления нежелательных излучений электронной техники, но актуальны и в других областях, таких как экологическая защита живых организмов от вредного воздействия ЭМИ, создание одежды и накидок специального назначения, подавление электромагнитного канала утечки информации и защита устройств обработки информации от электромагнитного воздействия.

Особенно востребованы экранирующие ткани при производстве средств индивидуальной защиты для работников тех отраслей промышленности, которые в своей деятельности находятся вблизи источников мощного электромагнитного излучения, например, радиолокационных станций, электростанций, линий электропередач и физиотерапевтического оборудования. Для производства защитных костюмов необходима защитная ткань, имеющая высокие показатели экранирования и специальные эксплуатационные свойства. Защитная ткань должна обеспечивать необходимый коэффициент снижения электромагнитного излучения в диапазоне требуемых частот, обладать требуемыми механическими свойствами, иметь требуемые показатели воздухо- и паропроницаемости для достижения высоких гигиенических свойств средств индивидуальной защиты, выдерживать в процессе эксплуатации определенное число стирок и чисток. Следует отметить, что современные материалы, которые применяются для экранирования ЭМИ не всегда обладают указанным выше комплексом эксплуатационных свойств. Связано это, в том числе, и с тем, что в качестве проводящих элементов в этих материалах используются металлические элементы. Нам видится перспективным разработку нового вида специальных экранирующих тканей, выдерживающих высокие разрывную, раздирающую и истирающую нагрузки, паро- и воздухопроницаемые, выдерживающие большое количество циклов стирки и чистки, с необходимым уровнем экранирования ЭМИ. Для решения данной задачи считаем необходимым замену металлических нитей в тканях и недолговечных напылений на электропроводящие композитные нити. Для решения этой задачи нами были получены композитные нити на основе полимерной матрицы и электропроводящих наполнителей. В качестве матрицы был использован волокнообразующий полимер – полипропилен. В качестве электропроводящих наполнителей использовались

следующие углеродные наночастицы: технический углерод; углеродные нановолокна; многостенные и одностенные углеродные нанотрубки. Полученные нами композитные материалы имеют следующие характеристики – удельное поверхностное сопротивление  $\rho_s$  от  $10^3$  до 100 Ом, удельное объёмное сопротивление  $\rho_v$  от  $10^5$  до  $10^2$  Ом\*м. Найдены требуемые концентрации углеродных наполнителей для получения материалов с экранирующими свойствами.

#### Библиографический список

1. Пальцев Ю. П., Походзей Л. В., Рубцова Н. Б., и др. // Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы. // Медицина труда и промышленная экология, № 6, 2013. – С. 35–40.
2. Е. С. Цобкалло, О. А. Москалюк, А. С. Степашкина, В. Е. Юдин. Трансэнергопластики на основе пленочных композиционных материалов. Химические волокна, №4. 2018. С. – 22–27.
3. E. S. Tsobkallo, D. V. Vol'nova, G. P. Meshcheryakova. Relationship of Mathematical and Structural Modeling of the Electrical Conducting Properties of Composite Filmfibers with Isotropic and Anisotropic Carbon Nanofillerse. Fibre Chemistry, Vol. 52, No. 3, September, 2020. P. 141-147. doi 10.1007/s10692-020-10169-8.

*В. А. Фетисов*

д-р техн. наук, профессор

*А. А. Силина\**

ассистент

*Е. А. Гайдук\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

В исследовании отмечается необходимость разработки новых подходов и методов для управления инфраструктурой морских пассажирских портов, включая создание цифровых моделей и системы принятия решений. В качестве решения предлагается создание цифровой модели морского порта с использованием информации, полученной с беспилотных авиационных систем. В статье применяется разработанная цифровая модель Пассажирского порта Санкт-Петербурга "Морской фасад". Представленная модель и ее результаты могут быть применены для других транспортных систем.

**Ключевые слова:** беспилотная авиационная система, управление инфраструктурой порта, морской пассажирский порт.

*V. A. Fetisov\**

Dr. Tech. sciences, professor

*A. A. Silina\**

assistant,

*E. A. Gaiduk\**

student

\*St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

## INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR THE USE OF A DIGITAL MODEL IN THE CONTROL LOOP OF THE TRANSPORT SYSTEM

The study notes the need to develop new approaches and methods for managing the infrastructure of sea passenger ports, including the creation of digital models and decision-making systems. As a solution, it is proposed to create a digital model of a seaport using information obtained from unmanned aerial systems. The article uses the developed digital model of the Passenger Port of St. Petersburg "Marine Facade". The presented model and its results can be applied to other transport systems.

**Keywords:** unmanned aerial system, port infrastructure management, sea passenger port.

Мониторинг объектов транспортной инфраструктуры является важным элементом в принятии решений, поскольку позволяет отслеживать их текущее состояние. Особую значимость имеют морские пассажирские порты, поскольку являются важным связующим звеном между странами, а также являются центрами развития регионов. В связи с активным развитием круизной индустрии в последние десятилетия [1], лица ответственные за принятие решений о модернизации инфраструктуры порта стремятся активно развивать порт, строить отдельные причалы для круизных лайнеров, увеличивать длину причалов, должным образом не оценивая необходимость данных улучшений. Руководителям морских пассажирских портов и терминалов недостаточно формировать принятие решений только на основе детерминированных моделей – вероятностный характер процессов предопределяет необходимость формирования новых моделей и методов для обоснования стратегий развития морских пассажирских портов. Необходимо выделять отдельные состояния в развитии морских пассажирских портов [2].

Таким образом, моделирование должно выполняться на основе новых цифровых транспортных моделей, учитывающих особенности инфраструктуры пассажирских портов и терминалов, а также приоритетности причалов. Проблему получения актуальных данных можно решить созданием цифровых двойников объектов транспорта: подобные модели легко актуализируются, соответственно, на них можно ориентироваться при принятии решений при управлении транспортом [3].

Для анализа различных сценариев работы морского пассажирского порта, были использованы данные цифровой транспортной модели порта «Морской фасад» [4]. Для улучшения модели необходимо использовать трехмерные данные о состоянии инфраструктуры морского порта. Существуют методики, позволяющие получить такие данные с помощью беспилотных авиационных систем. Благодаря им возможно произвести аэрофото съемку и, обработав результаты в специальном программном обеспечении и получить готовую модель. Такая работа может проводиться и дистанционно, тем самым увеличивая скорость и безопасность проведения мониторинга. Согласно данным о инфраструктуре порта «Морской фасад» на базе лаборатории БАС ИШ ГУАП была

разработана модель морского порта, которая полностью отображает причальную инфраструктуру (рис. 1а). Для создания трехмерной модели порта используется челночная схема облета, по которой произведен автономный полет согласно разработанному маршруту с выполнением аэрофотосъемки модели на летном поле. Код автономного полета написан на языке Python. После проведения аэрофотосъемки тестового полигона, полученные снимки были преобразованы в трехмерную модель поверхности с использованием специализированного программного обеспечения.

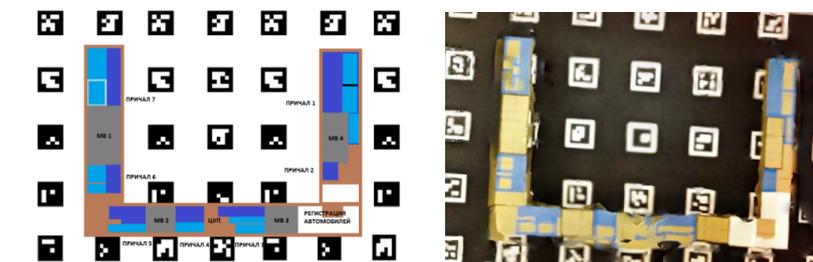


Рис. 1. (а) Схема размещения макета порта «Морской Фасад» на летном поле, (б) Трехмерная модель полигона

Данная модель (рис. 1б) демонстрирует всю инфраструктуру порта, включая его объекты и сооружения. Успешные лабораторные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования данного метода для оптимизации цифровой модели инфраструктурных объектов и своевременного анализа актуальных данных о состоянии транспортной инфраструктуры. Применение современных программных средств обработки данных, полученных с помощью беспилотных авиационных систем, позволяет создавать высокоточные цифровые модели.

#### Библиографический список

1. Number of ocean cruise passengers worldwide from 2009 to 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://www.statista.com/statistics/385445/number-of-passengers-of-the-cruise-industry-worldwide/> (дата обращения: 17.11.2023);
2. Добровольская, А. А. Исследование модели оценки загруженности инфраструктуры морского пассажирского порта с помощью моделей принятия решений при неопределенности / А. А. Добровольская // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 537–548;
3. Добровольская А. А., Фетисов В. А. Применение цифровых моделей транспортных систем на микроуровне транспортного планирования // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии. 2022. С. 59–64.;
4. Принятие решений при неопределенности по прогнозированию развития морского пассажирского порта на основе моделирования разных приоритетов заявок судов / А. А. Добровольская, Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXVI Том 3. – ГУАП, 2023. – С. 107–112.

*Е. А. Фролова\**

доктор тех. наук, доцент

*А. С. Тур\**

старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ИЗДЕЛИЯ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА

В статье рассмотрены три основных сценария использования оригинальных и неаутентичных компонентов в радиоэлектронной продукции, влияющих на процессы, стоимость производства и качество готового продукта.

**Ключевые слова:** улучшение качества, оригинальные комплектующие, неаутентичные комплектующие.

*E. A. Frolova\**

Dr. Sc, Associate Professor

*A. S. Tur\**

Senior Lecturer

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## QUALITY ASSESSMENT OF A RADIO ELECTRONIC PRODUCT BY APPLYING A SCENARIO APPROACH

The paper discusses three main scenarios of using original and non-authentic components in radio electronic products, affecting the processes, production cost and quality of the finished product.

**Keywords:** quality improvement, original components, non-authentic components.

Сейчас производители радиоэлектронной продукции сталкиваются с рядом проблем при выборе комплектующих для своей продукции [1]. Нехватка определенных комплектующих может вызвать задержки, привести к потере прибыли и нанести ущерб репутации компании. Необходимость принятия обоснованных решений по использованию оригинальных и неаутентичных комплектующих становится одной из главных задач для производителей. Выбор производителя напрямую влияет на такие важные показатели изделия, как надежность, долговечность, ремонтпригодность, а также на стоимость производства, и в конечном итоге на качество готового изделия.

Сценарий 1. Использование только оригинальных радиоэлектронных компонентов.

В таком случае производитель отдает предпочтение закупке только оригинальных комплектующих. При таком выборе дается гарантия на высокое качество конечного изделия, надежность и долговечность [2]. Следовательно, затраты на ремонт и обслуживание будут не такими большими, как если бы использовались неаутентичные компоненты. Но есть и ряд недостатков, с которыми сталкивается производитель. Во-первых, высокая стоимость компонентов. Во-вторых, время поставки, из-за увеличенного интервала, ожидания, могут возникнуть задержки в производстве и нарушении сроков поставки готового изделия.

Сценарий 2. Использование оригинальных и неаутентичных компонентов в одном изделии.

Выбор такого сценария позволяет затрачивать меньше времени на производство и ускорить поставки готового изделия заказчику, так как неаутентичные компоненты могут быть доступны в условиях закупки через посредников по, так называемому, «серому» импорту по более низкой цене. Главным недостатком такого подхода является то, что неаутентичные радиоэлектронные комплектующие могут существенно снизить качество, а именно надежность конечного изделия, так как их технические характеристики могут не соответствовать характеристикам оригинальных компонентов. Отсюда возникают риски, дополнительные затраты на ремонт.

Сценарий 3. Использование только неаутентичных компонентов.

При таком сценарии производитель использует исключительно неоригинальные компоненты для снижения затрат на производство. В результате это может привести к снижению качества и надежности продукции, а также к росту рисков возникновения проблем и отказов. Использование только неаутентичных компонентов безусловно ускоряет процесс производства и снижает стоимость комплектующих. Но, также влечет за собой ущерб для репутации компании. При дефиците на рынке неаутентичных компонентов, производство может столкнуться с ограничением возможностей и высокими издержками из-за увеличения цен на такие комплектующие. Дефицит может привести к проблемам с очередностями поставок, что в свою очередь может снизить производственные объемы и прибыль.

В таблице 1 наглядно представлен сравнительный анализ трех сценариев.

Исходя из вышеизложенного, универсального решения не существует, поэтому рассматривается три сценария в совокупности с точки зрения возникновения рисков.

Использование оригинальных и неаутентичных радиоэлектронных компонентов при дефиците на рынке представляет собой значимую проблему, существенно влияющую на производственные процессы и конечную продукцию. Производители, дорожающие своей репутацией, стараются использовать исключительно оригинальные компоненты, даже в условиях дефицита, что может привести к задержкам и дополнительным затратам.

## Сравнительный анализ сценариев

№ сценария	Преимущества	Недостатки
Сценарий 1	надежность и долговечность продукции, высокое качество готового изделия снизит количество ремонтов в будущем	больше времени на производство из-за необходимости заказа оригинальных компонентов, задержка в поставках, высокая стоимость комплектующих
Сценарий 2	сокращение времени на производство продукта за счет быстрых поставок комплектующих, низкая стоимость комплектующих	дополнительные затраты на ремонт и обслуживание в будущем, неаутентичные компоненты могут значительно снизить качество готового продукта
Сценарий 3	низкая стоимость комплектующих, высокая скорость поставок, снижение затрат на производство	уменьшение производственного объема, снижение прибыли, ущерб по репутации производителя

В то же время, использование неаутентичных компонентов, особенно в условиях дефицита, может привести к риску ухудшения качества и надежности конечной продукции.

## Библиографический список

1. Тур А. С. Основные факторы роста неаутентичных компонентов в радиоэлектронной отрасли / Е. А. Фролова, В. А. Тушавин, А. С. Тур // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей V Международного форума, Санкт-Петербург, 02 марта 2023 года / Под редакцией В. В. Окрепилова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 258–259.

2. Тур А. С. Влияние возможного применения неаутентичных компонентов на надежность продукции / Е. А. Фролова, В. А. Тушавин, А. С. Тур // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Сборник докладов Четвертой Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 18–22 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 230–233.

*Ю. А. Хаханов*

к. т. н., чл. корр. РАКЦ

Российская академия космонавтики им Э.К. Циолковского, С-П отделение

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА  
ВЫСОКОТОЧНОЙ ТРЕХОСНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НАВЕДЕНИЯ  
И СТАБИЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ  
( УНИКАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ « МАРС-96 » )**

Создание трехосной стабилизированной платформы (ТСП) для космического аппарата «Марс-96» было сложной новой научно-технической задачей. Главная ее особенность – это высокоточное наведение и стабилизация оптических осей научных приборов аппарата на заданный участок поверхности при его движении по орбите вокруг планеты Марс. Впервые была изучена очень сложная динамическая система: «Имитатор возмущений космического аппарата – ТСП – Полезная нагрузка (НА) – Имитационный комплекс» в процессе наземных исследований в условиях имитируемых природных микровозмущений. Это позволило подтвердить соответствие технических динамических параметров ТСП требованиям ТЗ.

**Ключевые слова:** космическая платформа, наведение и стабилизация оптических осей, научная аппаратура, натурные условия эксплуатации, имитационный комплекс, микровозмущения.

*Yu. A. Khakhanov*

Ph.D., member. corr. RACC

Russian Academy of Cosmonautics named after E.K. Tsiolkovsky, S-P branch

**INFORMATION AND MEASURING SYSTEM  
OF HIGH-PRECISION THREE-AXIS SPACE PLATFORM FOR GUIDANCE AND STABILIZATION  
OF OPTICAL AXES SCIENTIFIC EQUIPMENT (UNIQUE PROJECT "MARS-96")**

Creation of a three-axis stabilized platform (TSP) for a spacecraft Mars 96 was a challenging new scientific and technical challenge. Its main feature is the high-precision pointing and stabilization of the optical axes of the apparatus' scientific instruments to a given area of the surface as it moves in orbit around the planet Mars. For the first time, a very complex dynamic system was studied: "Spacecraft disturbance simulator – TSP – Payload (NA) – Simulation complex" in the process of ground-based research under conditions of simulated natural microdisturbances. This made it possible to confirm the compliance of the technical dynamic parameters of the TSP with the requirements of the technical specifications.

**Keywords:** space platform, guidance and stabilization of optical axes, scientific equipment, full-scale operating conditions, simulation complex, microdisturbances.

Уникальность космического международного проекта «Марс-96» заключалась в первую очередь в том, что обеспечивалось высокоточное наведение и стабилизация оптических осей научной аппаратуры на заданный район поверхности Марса.

Требование в первом варианте ТЗ к точности работы трехосной стабилизированной платформы было: 1 – 2 угл. сек. Такие высокие эксплуатационные требования к платформе ставились впервые, опыта создания такой системы не было, поэтому необходимо было создать:

- принципиально новую идеологию платформы;
- специальную научную аппаратуру;
- уникальную информационно-измерительную систему;
- передовую элементную базу;
- новые методы наземных испытаний;
- оригинальное экспериментальное оборудование;
- высокоточную метрологическую аппаратуру для аттестации ТСП и наземного испытательного оборудования.

При разработке ТСП были серьезные научно-технические проблемы... Наш предыдущий богатый опыт в создании таких КА, как Луноход-1, Луноход – 2,3, Микромарсоход (ПрОП-71), Фобосоход (ПрОП-ФП), устройство для исследования поверхности Венеры (Венера-13,14) для работы мог пригодиться, но, наверно, только в части общих подходов к требованиям эксплуатации (вакуум, перепад температур, перегрузки...), а все остальное было новое.

Очередной раз мы ощутили сложность в работе над принципиально новой техникой... Да, было не только тяжело решать научно-технические проблемы, но и серьезно сказывалось влияние событий 90г. (сокращение специалистов, организационные и даже финансовые проблемы...).

В докладе описаны трудности, с которыми мы столкнулись при разработке идеологии платформы нового типа, кратко рассмотрены кинематическая схема ТСП и оригинальная конструкция платформы. Удивительно интересно узнать, как удалось реализовать уникальные технические характеристики ТСП.

Более детально представлены информационно – измерительные системы, которые обеспечивали подтверждение требуемых научно-технических параметров в соответствии с ТЗ при наземных испытаниях в имитируемых условиях эксплуатации. Эти условия удалось реализовать благодаря оригинальному наземному имитационному комплексу. Впервые была изучена очень сложная динамическая система: «Имитатор возмущений космического аппарата – ТСП – Полезная нагрузка (НА ) – Имитационный комплекс». Тонкости силового микровзаимодействия между динамическими элементами в этой системе исследовались в условиях микровозмущений, а это тоже требовало оригинальных подходов при разработке идеологии комплекса, его конструкции, информационно – измерительных систем, элементной базы, методик и метрологического инструментального обеспечения.

Данный доклад – это первый доклад по указанной теме в силу разных обстоятельств, но его новизна и сейчас очень актуальна при создании космической техники, потому что испытания для подтверждения натуральных технических характеристик КА при его наземной отработке (а также, например, КДИ, ПСИ) очень трудоемкие, ответственные и затратные этапы создания высокоточных космических аппаратов и его систем.

Есть надежда, что представленный положительный опыт будет полезен новому поколению разработчиков космической техники!

*А. В. Чудотворов*

*И. А. Захаркив*

Межвидовой центр метрологии

## УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КОММУТАЦИИ СРЕДСТВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Предлагается универсальное устройство, нацеленное на оптимизацию измерительных процессов.

**Ключевые слова:** средства метрологического обеспечения, коммутатор, универсальное устройство коммутации.

*A. V. Chudotvorov*

*I. A. Zakharkiv*

Interspecific Metrology Center

## UNIVERSAL DEVICE FOR SWITCHING METROLOGICAL SUPPORT: OPTIMIZATION OF MEASURING PROCESSES

A universal device is proposed aimed at optimizing measurement processes.

**Keywords:** metrological support means, switch, universal switching device.

В условиях стремительного развития научных и технических дисциплин, где высокая точность измерений становится неотъемлемой частью исследовательских и производственных процессов, совершенствование системы метрологического обеспечения (СМО) выходит на передний план. Одним из ключевых аспектов этой оптимизации является разработка и внедрение универсальных устройств коммутации, способных эффективно управлять переключением метрологических приборов.

Коммутатор – это электронное устройство, предназначенное для управляемого переключения сигналов между различными устройствами, линиями или портами.

Основная цель данного устройства заключается в оптимизации процессов измерения, обеспечивая высокую степень автоматизации, гибкость в работе с различными типами приборов и минимизацию влияния внешних факторов на точность измерений. В последующих разделах статьи мы подробно рассмотрим принципы работы, технические характеристики и преимущества данного универсального устройства коммутации в контексте метрологического обеспечения.

Универсальное устройство коммутации СМО базируется на передовых принципах электроники и программного обеспечения, обеспечивая высокую степень автоматизации и точности в переключении метрологических приборов.

Устройство оборудовано интеллектуальной системой распознавания, способной автоматически определять тип и характеристики подключенных средств измерений. Это позволяет устройству адаптироваться к различным измерительным устройствам без необходимости ручной настройки. Система коммутации предоставляет широкий диапазон возможностей, позволяя эффективно переключаться между различными типами приборов и интерфейсами. Гибкость устройства позволяет его успешное использование в разнообразных метрологических сценариях. Также устройство обладает механизмами прецизионного контроля электромагнитных помех, что является важным аспектом в обеспечении точности измерений. Электромагнитная совместимость тесно контролируется для минимизации влияния внешних факторов.

Программное обеспечение интегрируется в устройство, что предоставляет оператору возможность управления процессом коммутации, мониторинга и анализа результатов измерений. Это создает эргономичное рабочее место по поверке средств измерений. Реализованная система обратной связи позволяет непрерывно мониторить точность устройства и, при необходимости, проводить поверку. Это обеспечивает стабильность и высокую точность в процессе измерений. Принцип работы устройства основан на синергии высокотехнологичных аппаратных и программных компонентов, направленных на создание надежного и универсального инструмента для коммутации СМО.

Преимущества универсального устройства коммутации в СМО:

1. Повышенная эффективность измерений. Устройство обеспечивает автоматизированное и быстрое переключение средств измерений, сокращая время настройки и выполнения измерений. Это повышает общую эффективность измерительных процессов.

2. Широкий диапазон коммутационных возможностей. Благодаря гибкости в коммутации, устройство поддерживает разнообразные типы средств измерений и интерфейсов. Это особенно важно в условиях, когда требуется с различными устройствами в рамках одного проведения измерений.

3. Минимизация ошибки оператора. Автоматическое распознавание и коммутация приборов снижает риск человеческой ошибки при настройке. Это особенно значимо в случаях, когда требуется высокая точность измерений.

4. Универсальность применения: устройство предназначено для применения в различных областях, включая лабораторные и промышленные сценарии, что расширяет его применимость и ценность.

5. Сокращение затрат на оборудование: внедрение универсального устройства коммутации позволяет сократить количество необходимого оборудования, упрощая инфраструктуру метрологического обеспечения и экономя ресурсы.

Преимущества данного устройства в коммутации средств метрологического обеспечения делают его ключевым элементом в современных системах измерений, способствуя повышению точности и надежности проведения измерений в различных областях применения.

На основе рассмотренных аспектов универсального устройства коммутации в СМО, можно заключить, что данное устройство представляет собой значительный прогресс в современной метрологии. На фоне стремительного развития научных и технических областей, где требования к точности измерений становятся все более жесткими, устройство успешно отвечает на вызовы современных требований.

Внедрение универсального устройства коммутации обеспечит повышение эффективности измерительных процессов за счет автоматизации и оптимизации переключения метрологических приборов. Широкий диапазон коммутационных возможностей, гибкость в работе и точное управление электромагнитными помехами являются ключевыми факторами, определяющими превосходство данного устройства.

#### **Библиографический список**

1. В. А. Захаров, А. С. Волегов. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Учебное пособие. Екатеринбург Издательство Уральского университета 2018.

2. А. Г. Леонтьев, В. В. Котович, Д. А. Кузнецов. Метрологические комплексы военного назначения Учебное пособие Санкт-Петербург 2010 г.

3. Данилов, А. А. Метрологическое обеспечение измерительных систем: учеб. пособие / А. А. Данилов. – Пенза: Проффессионал, 2008. – 63 с.

*О. В. Чупринова\**

ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТОДЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ УХУДШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Рассмотрены основные методы анализа ухудшения точности средств измерений, которые могут быть использованы для выявления и устранения причин низкой точности измерений.

**Ключевые слова:** точность измерений, методы анализа точности, погрешность измерений.

*O. V. Chuprinova*

assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METHODS OF PREDICTIVE ANALYTICS OF DETERIORATION IN THE ACCURACY OF MEASURING INSTRUMENTS

The main methods of analyzing the deterioration of the accuracy of measuring instruments, which can be used to identify and eliminate the causes of low measurement accuracy, are considered.

**Keywords:** measurement accuracy, accuracy analysis methods, measurement error.

Для предиктивной аналитики ухудшения метрологической точности средств измерения могут использоваться различные методы и алгоритмы. Некоторые из них включают:

Методы статистического анализа данных. Методы такого анализа позволяют анализировать и моделировать статистические свойства и распределения данных об измерениях. Помогает в определении ухудшения точности и прогнозировании его дальнейшего развития.

Методы анализа временных рядов. Эти методы позволяют анализировать и предсказывать изменения во времени. В контексте метрологической точности они могут использоваться для прогнозирования изменений точности с течением времени.

Машинное обучение и алгоритмы искусственного интеллекта. Эти методы основаны на использовании алгоритмов машинного обучения для обработки больших объемов данных и поиска в них закономерностей. Могут быть использованы для анализа и прогнозирования ухудшения метрологической точности.

Методы экспертной системы. В экспертных системах используются правила и логика, основанные на знаниях экспертов в области измерений и метрологии. Могут использоваться для анализа данных и принятия решений о возможных ухудшениях точности.

Методы мультифакторного анализа. Эти методы позволяют исследовать взаимосвязь между различными факторами, влияющими на точность измерений. Могут помочь идентифицировать и прогнозировать факторы, которые приводят к ухудшению точности.

Эти методы и алгоритмы могут использоваться как независимо, так и в комбинации друг с другом, чтобы предсказывать и анализировать ухудшение метрологической точности средств измерения.

Аналитика ухудшения метрологической точности средств измерения включает ряд методов, которые могут быть использованы для выявления и устранения причин плохой точности измерительных приборов. Некоторые из таких методов включают в себя:

Анализ источников ошибок. Исследование источников ошибок при измерении и попытку найти способы устранения или минимизации этих ошибок. В том числе оценка погрешностей, анализ статистических данных и проверку влияния различных факторов на точность измерений.

Калибровка и настройка. Метод включает в себя периодическую калибровку и настройку измерительных приборов для обеспечения их точности. Калибровка позволяет сравнить показания измерительного прибора с эталонным стандартом и определить поправочные коэффициенты, которые могут быть использованы для устранения ошибок.

Оптимизация условий измерения. Анализ условий, в которых происходят измерения, и определение способов улучшения их точности. В том числе контроль температуры, влажности и других параметров, которые могут влиять на точность измерений.

Использование статистических методов. Применение различных статистических методов для анализа данных и определения погрешностей. Может включать методы оценки погрешностей, контроля повторяемости и воспроизводимости измерений, а также другие методы статистического анализа.

Обновление и модернизация измерительных приборов. Замена старых или устаревших измерительных приборов на новые, более точные модели. Также включать модернизацию и обновление существующих приборов для улучшения их точности и функциональности.

### Библиографический список

1. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме: учебное пособие; издание второе / Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 121 с.

*А. В. Шушков\**

к. т. н., преподаватель

\*ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), 111024 Москва, Авиамоторная улица, дом 8а.

*А. А. Закутин\**

к. т. н., преподаватель

\*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26.

## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ИСПЫТАНИЙ КАБЕЛЬНОЙ СБОРКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ФАЗЫ

Частоты миллиметрового диапазона, используемые в сетях 5G New Radio, обеспечивают возможность резкого повышения скорости передачи данных. В основе технологии лежит применение активных фазированных антенных решёток (АФАР). Важным условием создания высокочастотных АФАР является использование кабелей с нормированными параметрами изменения фазы коэффициента передачи.

**Ключевые слова:** температурный коэффициент фазы, кабельные сборки СВЧ, политетрафторэтилен, активные фазированные антенные решётки.

*A. V. Shushkov\**

Ph. D. Tech., teacher

\*Moscow Technical University of Communication and Informatics or MTUCI

*A. A. Zakutin\**

Ph. D. Tech., teacher

\*Moscow State University of Civil Engineering or MGSU

## ON THE ISSUE OF THE NEED TO TEST THE CABLE ASSEMBLY FOR THE STABILITY OF THE TEMPERATURE COEFFICIENT OF THE PHASE

The millimeter-wave frequencies used in 5G New Radio networks provide the opportunity to dramatically increase data transfer speeds. The technology is based on the use of active phased array antennas (AFARS). An important condition for the creation of high-frequency AFARS is the use of cables with normalized parameters of phase change of the transmission coefficient.

**Keywords:** phase temperature coefficient, microwave cable assemblies, polytetrafluoroethylene, active phased array antennas.

В конструкцию современных АФАР должны входить СВЧ кабели с установленными техническими и метрологическими характеристиками, параметры которых в большей мере и определяют стабильные выходные характеристики АФАР от измерения температуры среды. Изолятором центрального проводника в кабельных сборках (сборной конструкции кабеля и СВЧ разъёма) в большинстве моделей является монолитный или пористый политетрафторэтилен (ПТФЭ) [1, 2].

Возрастающие требования к скорости передачи данных способствуют развитию АФАР в диапазон рабочих частот до 110 ГГц [2]. Возможность точного управления лучами АФАР электронным способом через измерение фазы выходных СВЧ сигналов отдельных приемо-передающих модулей возможно только благодаря применению кабелей с незначительным изменением фазы при воздействии внешних факторов среды. Кроме того

В докладе рассмотрены причины изменения фазы коэффициента передачи кабельных сборок в зависимости от температуры окружающей среды, а также представлены результаты испытаний кабелей различных производителей с диэлектриком ПТФЭ, получившего наибольшее распространение [3].

Существенным недостатком кабелей, в которых применён как монолитный, так и пористый ПТФЭ, является нелинейность температурно-фазовой характеристики с так называемым «тефлоновым коленом».

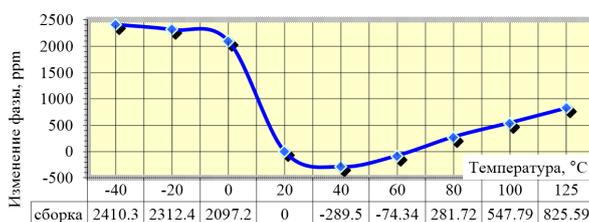


Рис. Относительное изменение фазы кабельной сборки с диэлектриком из ПТФЭ

Единственным способом устранения этого недостатка является замена ПТФЭ на другие полимерные или минеральные диэлектрики. Важным аспектом создания СВЧ кабелей с малой величиной изменения фазы коэффициента передачи от температуры среды является применение и последующее исследование новых модификаций пористых диэлектриков полученных, например, по перспективной плунжерной технологии.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 11326.0-78. Кабели радиочастотные. Общие технические условия.
2. К. Б. Джурицкий. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры [Текст] / К.Б. Джурицкий // СПб.: «Медиа Группа Файнстрит». – 2014. – 428 с.
3. Фазовая стабильность кабельных сборок СВЧ с диэлектриком ПТФЭ. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.spetskabel.ru/connect-special.htm>.

УДК 658.511

*М. С. Щербакова\**

студент

*А. А. Друцэ\**

студент

*В. В. Васильева\**

кандидат технических наук, доцент

*В. В. Архалова\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИК КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСТЕЖЕК-МОЛНИЙ

Исследование посвящено анализу прочностных характеристик застежек-молний в контексте современной легкой промышленности. Основное внимание уделено испытаниям усилия разрыва замкнутых звеньев и прочности замка, проведенных в соответствии с методиками ГОСТ 28965-91.

**Ключевые слова:** застежки-молнии, легкая промышленность, механическая прочность, усилие разрыва, прочность замка.

*M. S. Shcherbakova\**

bachelor student,

*A. A. Drutse\**

bachelor student

*V. V. Vasilyeva*

PhD, Tech., Associate professor

*V. V. Arkhalova*

PhD, Tech., Associate professor

\*Saint Petersburg state university of Industrial Technologies and Design

## DEVELOPMENT OF METHODS OF QUALITY CONTROL OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF SLIDE FASTENERS

The study analyzes the strength characteristics of slide fasteners in the context of modern light industry. The main attention is paid to the tests of the strength of the closed links and the strength of the lock, carried out in accordance with the methods of GOST 28965-91.

**Keywords:** slide fasteners, light industry, mechanical strength, tear strength, lock strength.

В современной легкой промышленности застежки-молнии играют ключевую роль, обеспечивая удобство и функциональность различных изделий. Этот важный компонент стал неотъемлемой частью многих товаров, придавая им не только удобство, но и повышенную надежность. Механическая прочность выступает как ключевой параметр качества, однако существующая нормативная документация, такая как ОСТ 17-891-89 и ГОСТ 28965-91, не обеспечивают ожидаемые от продукции параметры качества. Из этого вытекает актуальность обновления существующих стандартов.

Для проведения исследования были выбраны застежки молнии литьевого типа V5 с шириной замкнутых звеньев 6,5 мм и соответствующий ей замок с автоматическим фиксатором.

Для выяснения фактических прочностных характеристик застежки молнии-молнии, были произведены испытания усилия разрыва замкнутых звеньев застежки-молнии и прочности замка по методикам, описанных в ГОСТ 28965-91. Для контроля усилия разрыва замкнутых звеньев  $F_p$  необходимо зафиксировать концы тканой ленты в зажимах разрывной машины и приложить силу в противоположных направлениях. Испытание производится до момента разрыва или до установленного значения. Контроль прочности замка  $F_n$  производится так же на разрывной машине. Ручка замка закрепляется в верхнем зажиме крюкового типа, так, чтобы ручка была перпендикулярна замку, замок закрепляется в нижнем зажиме. Прилагается усилие в противоположные стороны до момента разрушения замка или до необходимого значения.

При проведении испытаний были получен ряд значений усилия разрыва замкнутых звеньев и прочности замка. Проводя последующую статистическую обработку, были получены значения средней характеристики усилия разрыва замкнутых звеньев  $\overline{F_p} = (460 \pm 64)$  Н и прочности замка  $\overline{F_n} = (547 \pm 90)$  Н и среднеквадратичного отклонения полученных значений  $S_p = 24,24$  Н и  $S_n = 34,64$  Н соответственно. Также было оценено количество

испытаний, обеспечивающие заданную относительную погрешность  $\Delta = 0,05$  с заданной доверительной вероятностью  $\gamma = 0,99$  для оценки качества. При оценке данного параметра использовалось неравенство:

$$n \geq \left( \frac{t_{\frac{\gamma}{2}}^{(n-1)} S}{\bar{x} \Delta} \right)^2, \quad (1)$$

где  $S$  – среднеквадратичное отклонение,  $t$  – коэффициент Стьюдента,  $\bar{x}$  – среднее значение характеристики,  $n$  – количество испытаний.

Оценка показала, что проведенного количества испытаний на измерение характеристик усилия разрыва замкнутых звеньев (78 испытаний) и прочности замка (85 испытаний) достаточно для оценки качества. В сравнении со значениями, представленными в ОСТ 17-891-89, полученные средние значения характеристик усилия разрыва замкнутых звеньев и прочности замка намного выше. Из чего можно сделать вывод о необходимости модернизации нормативного документа.

#### Библиографический список

1. ОСТ 17-891-86 «Застежки-молнии пластмассовые. Общие технические условия».
2. ГОСТ 28965-91 «Застежка-молния. Методы контроля».

*А. В. Яковлев\**

кандидат технических наук, доцент

*А. С. Волкова\**

магистр кафедры прикладной информатики

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА РЕЧЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Предложен вариант построения мобильного устройства, в реальном времени рассчитывающего большой набор характеристик речевого сигнала с целью их последующего использования для оценки функционального состояния человека, осуществляющего операторскую деятельность. Для расчета речевых характеристик будет использоваться программный продукт openSMILE. Одновременно с анализом речевого сигнала предлагаемое устройство будет регистрировать и анализировать акустические характеристики окружающего пространства с целью контроля санитарно-гигиенических условий труда человека.

**Ключевые слова:** операторская деятельность, функциональное состояние, операторское утомление, речевой сигнал, характеристики речи, openSmile, мобильное устройство, Raspberry

*A. V. Yakovlev\**

PhD, Associate Professor

*A. S. Volkova\**

Master of the Department of Computer Science

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MONITORING SPEECH CHARACTERISTICS

An option has been proposed for constructing a mobile device that, in real time, calculates a large set of characteristics of a speech signal for the purpose of their subsequent use to assess the functional state of a person performing operator activities. The openSMILE software product will be used to calculate speech characteristics. Simultaneously with the analysis of the speech signal, the proposed device will record and analyze the acoustic characteristics of the surrounding space in order to monitor sanitary working conditions of a person.

**Keywords:** operator activity, functional state, operator fatigue, speech signal, speech characteristics, openSmile, mobile device, Raspberry.

В настоящее время актуальной и востребованной становится проблематика, связанная с контролем состояния человека, выполняющего свои профессиональные обязанности и при этом не мешающая ему исполнять свои привычные рабочие действия. Развитие микроэлектроники и программного обеспечения позволяют регистрировать и анализировать большой набор характеристик речи [1] во время рабочего процесса. При этом отвлечения специалиста от профессиональной деятельности не происходит. Такой подход позволяет за счет постоянного дистанционного мониторинга уже на ранней стадии выявлять появление у человека нежелательных функциональных состояний. Например, утомления [2, 3], монотонии и эмоциональной неустойчивости, как проявления стресса. Однако, ввиду этических соображений и для соблюдения режима коммерческой тайны и требований Федерального Закона «О персональных данных» [4] целесообразно записывать не саму речь говорящего, а только числовые параметры речевого сигнала, на основе которых будет оцениваться состояние человека. Предлагаемый подход позволяет соблюдать конфиденциальность и приватность, учитывая важность защиты персональных данных в современном обществе.

Разрабатываемое устройство является мобильным, небольшого размера, имеющее малый вес и высокую автономность работы. Расчет речевых характеристик производится с использованием открытого программного обеспечения openSMILE, специально разработанного для анализа речи [5]. Программный продукт OpenSMILE поддерживает различные алгоритмы и методы извлечения признаков, что делает его универсальным инструментом для анализа аудио. В качестве вычислительного устройства используется одноплатный компьютер Raspberry Pi, поддерживающий большое число модулей расширения и дополнительных устройств, таких как датчики, камеры, дисплеи. Ввиду того, что Raspberry Pi – это полноценный компьютер с unix-подобной операционной системой, достаточно просто решаются вопросы с разработкой и усовершенствованием программного обеспечения для мониторинга речевых характеристик. Основное преимущество Raspberry Pi связанное с его хорошими вычислительными характеристиками, требует использования внешнего аккумулятора (power bank) обеспечивающего на выходе напряжение 5 Вольт и ток не менее 2.5 Ампер [6].

Еще одним важным компонентом разрабатываемого устройства является микрофон, поскольку от качества сбора звуковых данных зависит эффективность анализа. Важными параметрами микрофона являются: соотношение сигнала к шуму не ниже 60 дБ, всенаправленность, чувствительность от -40 до -25дБ. Микрофонный модуль SPH0645LM4H-B [7] удовлетворяет всем этим требованиям, что делает его оптимальным выбором для

данного устройства. Благодаря всенаправленности и высокой чувствительности этот микрофон обеспечивает точный и чистый сбор акустических данных на рабочем месте, а соотношение сигнала к шуму не менее 60 дБ позволяет получать точные и надежные измерения.

Таким образом, разрабатываемое устройство позволит выполнять мобильный мониторинг характеристик речи в реальном времени, обеспечивая оценку функционального состояния человека на рабочем месте. При этом сама речь человека регистрироваться не будет. То есть устройство не будет выполнять функцию диктофона. Предлагаемый подход упрощает, в том числе на правовом и этическом уровнях, реализацию задачи мониторинга функционального состояния операторов, в том числе сложных человеко-машинных систем, в процессе их деятельности. Тем самым способствую улучшению условий их труда, предотвращая возможные проблемы со здоровьем, повышая в целом эффективность и благополучие работников.

#### Библиографический список

1. Яковлев А. В. Расчет параметров речи в научных исследованиях: учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во ГУАП, 2023. 160 с.
2. Яковлев А. В., Матыцин В. О., Велюга В. А., Найденова К. А., Пархоменко В. А. Распознавание утомления человека на основе анализа его речи с помощью нейросетевых технологий // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2023. Т. 12, № 1. С. 46–60.
3. Яковлев А. В., Матыцин В. О., Матыцина С. В. Использование нейронной сети для диагностики утомления военнослужащего – оператора по его речи // Военно-Медицинский Журнал. 2023. Т. 344, № 9. С. 56–63.
4. Федеральный закон “О персональных данных” от 27.07.2006 N 152-ФЗ (последняя редакция): 152-ФЗ. 2006.
5. Яковлев А. В. Характеристика некоторых признаков речевого сигнала, формируемых библиотекой openSMILE // Сборник докладов Третьей Международной научной конференции “Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 23.” Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. С. 88–93.
6. Варианты правильного питания для Raspberry Pi 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://vashumnyi-dom.ru/upravlenie/ustrojstva/pitanie-raspberry-pi-3.html> (дата доступа: 02.01.2024).
7. Datasheet SPH0645LM4H-1 Rev A (I2S Output Digital Microphone). knowles.com.

# ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

УДК 378

**Ю. А. Антохина\***

Ректор, доктор экономических наук, профессор

**Е. А. Фролова\***

директор института ФПТИ ГУАП,

доктор технических наук, доцент

**К. В. Епифанцев\***

доцент, кандидат технических наук, доцент

\*ФГАОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

## СЕТЕВАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ КАК СОСРЕДОТОЧЕНИЕ ЛУЧШИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МЕТОДИК ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ

В тезисах приведено описание сетевой формы реализации образовательных программ, которые в рамках программы «Приоритет 2030» в течение уже нескольких лет реализуются в ГУАП и имеют важное влияние на расширение профессиональных компетенций для направлений подготовки технического профиля. Сетевое взаимодействие позволяет аккумулировать лучшие педагогические методики работы со студенческим сообществом из разных ВУЗов России в рамках бартерного обмена дисциплинами, равноценными по зачетным единицам.

**Ключевые слова:** сетевое улучшение качества образования, совместные проекты, сетевая форма обучения, привлечение лучших образовательных методик, международные лаборатории

**Yu. A. Antokhina\***

Rector, Dr.Sc of Economics, Professor

**E. A. Frolova\***

Director of the Institute of FPTI SUAI,

Dr. Sc. Tech., Associate Professor

**K. V. Epifantsev\***

Associate Professor, Ph.D.,

\*"St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation"

## NETWORK FORM OF EDUCATION AS A CONCENTRATION OF THE BEST EDUCATIONAL METHODS FOR UNIVERSITY STUDENTS

The theses describe the network form of the implementation of educational programs, which, within the framework of the Priority 2030 program, have been implemented in the GUAP for several years and have an important impact on the expansion of professional competencies for areas of technical training. Networking allows you to accumulate the best pedagogical methods of working with the student community from different universities in Russia within the framework of a barter exchange of disciplines equivalent in credits.

**Keywords:** network improvement of the quality of education, joint projects, network form of education, attraction of the best educational methods, international laboratories

Первые источники, в которых появились утверждения о необходимости сетевого обучения, относятся к рубежу 1989-1993 гг. Представленная литература использовала еще более ранние утверждения таких мыслителей и педагогов 1923-1980 годов, как учебные объекты в педагогике Селестина Френе, инструментальная педагогика Джона Дьюи, «учебную паутину» Ивана Иллича [1–3]. Описанные методы позволяли развивать самостоятельную индивидуальную траекторию обучения, отличающуюся от традиционно принятых, годами не меняющихся методов преподавания, давая возможность обучающимся создавать неформальную образовательную среду, чередовать формы обучения - к примеру: 5 семестр - все предметы в очном формате на базе непосредственно материнского ВУЗа, 6 семестр - часть предметов дистанционно и на базе родственного ВУЗа с другого региона. Гибкость образования является «сетью», позволяющей собирать лучшие методики – («учебная паутина» в трудах Ивана Иллича).

Для усиления международных связей и в векторе сетевого обучения в течение нескольких лет в ГУАП продолжается плодотворное сотрудничество с университетами Индии в области развития экономических и технических

исследований. Так, в K.R. Mangalam University за развитие международного сотрудничества с учреждениями евразийских стран в течение долгого времени отвечает доктор Саурав Диксит (Dr. Saurav Dixit, Ph. D.). Ученый из Индии известен своими научными работами в области строительства, устойчивого развития и улучшения городской среды.

Встреча с индийским коллегой прошла в ИПРЭ РАН 21 июля 2023 года (рис. 1). На встрече присутствовали директор института, д.э.н., проф. Шматко А. Д., руководитель научного направления ИПРЭ РАН, руководитель Лаборатории комплексного исследования пространственного развития регионов, д.э.н., проф. Кузнецов С. В. О научной деятельности в Институте, осуществляемых ключевых исследованиях, проводимых конференциях, образовательной и экспертной деятельности ИПРЭ РАН подробно рассказали гостю с.н.с., к.э.н. А.Н. Леонтьева, м.н.с. Р.А. Гресь. Были представлены предложения по возможности осуществления совместной работы с ВУЗами Индии и ОАЭ в рамках научных направлений.



*Рис. 1. Встреча Saurav Dixit с представителями ИПРЭРАН (слева), Skills Camp компетенции «Цифровая метрология» (справа)*

Мероприятие проходило в рамках расширения сотрудничества ИПРЭ РАН с учеными и научными организациями. Обсуждались вопросы о возможности совместного участия в международных научных проектах (в т.ч. конкурса РФФ-DST), развития совместной образовательной и научной деятельности между ИПРЭРАН, ГУАП и индийским ВУЗом.

В ГУАП на базе лаборатории «Цифровой метрологии» в течение 2021 года проходила работа международной лаборатории в коллаборации с индийским ВУЗом - K.R. Mangalam University. Международная школа длилась в течение 10 дней в формате интенсивного обучения. В нем приняли участие 30 студентов, 4 профессора, 2 сотрудника из индийского университета K.R. Mangalam, 1 профессор из Томского политехнического университета, 5 сотрудников СПбГУАП и 20 студентов из ГУАП. Практическое обучение студентов из Индии было реализовано путем их подключения с помощью программ удаленного доступа к оборудованию и дистанционного управления калибровкой оборудования.

Также важной частью международного сотрудничества являются встречи с научными сотрудниками Индии в стенах ГУАП. Так, 19 сентября 2022 года состоялась встреча студентов СПбГУАП и школьников Метрологического кластера Санкт-Петербурга с профессором Сауравом Дикситом. Саурав Диксит представил презентацию в области развития профессиональных компетенций по исследовательскому треку [4]. Стоит выделить наметившуюся тенденцию к тому, что сетевое профессиональное сообщество и информационные ресурсы способствуют демократическому участию потребителей в ключевых моментах проектного процесса [5].

Процесс сетевого взаимодействия возможен при наличии партнерской сети ВУЗов, имеющих общие образовательные и исследовательские интересы, поддерживающие связи на уровне научных сотрудников и профессорско-преподавательского состава, имеющих совместные гранты. В процессе реализации проектов по сетевому взаимодействию ФГАОУВО «ГУАП» добился положительных результатов за счет поиска возможных дополнений к текущей образовательной программе из числа ВУЗов, в которых реализуются аналогичные программы подготовки, но в силу специфики и сформировавшихся компетенций имеющих разнообразную лабораторную базу, отличающуюся по виду оборудования от используемых лабораторий в учебном процессе в ГУАП. Как один из примеров реализации данной программы в рамках укрепления направления подготовки 27.03.01 был выбрана дисциплина «Физико-химические измерения» в рамках которой студентам ГУАП данный курс ведут дистанционно преподаватели Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГИТ). В свою очередь, для студентов СГУГИТ преподаватели ГУАП будут вести дисциплину «Цифровая метрология».

Современные образовательные методы интеграции сетевого обучения в образовательные модули, реализуемые в СПбГУАП, являются результатом непрерывного развития, улучшения качества образовательного процесса, увеличения объема компетенций обучающихся.

### Библиографический список

1. Сетевое образование. Википедия [Электронный ресурс] [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B5\\_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Дата обращения 18.01.24.
2. Корнели, Д., Данофф, Ч. (2011) Парагогика: синергия самостоятельной и организованной учебной деятельности Архивная копия от 12 июня 2013 на Wayback Machine. Пер. И. Травкина.
3. Crouch, C. H., Mazur, E. (2001). «Peer instruction: Ten years of experience and results». *American Journal of Physics* 69. p. 970–977.
4. Епифанцев К. В. Методики создания международных студенческих проектов на примере индийско-российского сотрудничества//В сборнике: Среднее профессиональное образование: как учить и учиться в современном мире. Сборник докладов. II Всероссийская педагогическая конференция. Санкт-Петербург, 2023. С. 47–50.
5. Еремина Н. А. Проблемы формирования коммуникативных навыков сетевого взаимодействия.// Национальная ассоциация ученых (НАУ) # VII (12), 2015 / Педагогические науки. С. 15–18.

**К. З. Билятдинов\***

доктор технических наук, доцент

\*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

**Е. А. Кривчун\*\***

кандидат химических наук, доцент

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДСТВ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Для усиления практической направленности лабораторных работ по дисциплине «Управление качеством», развития и совершенствования компетенций студентов в сфере инфокоммуникационных технологий предлагается систематизация критериев для оценки качества средств связи и автоматизации на основе результатов анализа требований и условий существующего информационного взаимодействия элементов сложной системы.

**Ключевые слова:** информационные потоки, информационные направления, требования, условия, временные характеристики, скорость передачи информации.

**K. Z. Bilyatdinov\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*ITMO University

**E. A. Krivchun\*\***

Ph. D., Associated Prof

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## SYSTEMATIZATION OF CRITERIA FOR QUALITY ASSESSMENT COMMUNICATIONS AND AUTOMATION

To strengthen the practical orientation of laboratory work in the discipline “Quality Management”, develop and improve students’ competencies in the field of infocommunication technologies, a systematization of criteria for assessing the quality of communication and automation equipment is proposed based on the results of an analysis of the requirements and conditions of the existing information interaction of elements of a complex system.

**Keywords:** information flows, information directions, requirements, conditions, time characteristics, information transfer speed.

Сегодня при разработке заданий на лабораторные работы по дисциплине «Управление качеством» особенно актуально использование востребованных практических примеров в сфере инфокоммуникационных технологий. Поэтому вполне рационально использовать систематизацию критериев для оценки качества средств связи и автоматизации на основе определения потребностей элементов (структурных подразделений) конкретной сложной системы (далее – системы) в информационном взаимодействии при обеспечении процесса управления по следующим характеристикам данной системы:

- направление и количество информационных потоков;
- внешнее или внутренне информационное направление;
- приоритет (важность) информационных потоков для эффективного достижения цели функционирования системы и (или) выполнения заданных функций;
- временные характеристики информационного взаимодействия (постоянное, ситуативное, плановое (по графику), по запросу и др.);
- потребности в скорости передачи информации;
- требования по достоверности (вероятности ошибки или искажения) и своевременности передачи информации;
- необходимость дублирования информационных потоков (передаваемых сообщений);
- требования по информационной безопасности, включая противодействие вводу ложной информации и динамику угроз;
- другие требования, определяемые спецификой и условиями функционирования системы, включая требования ведомственных нормативно-правовых актов.

В процессе выполнения лабораторных работ детализация информационных потоков позволяет определить каким группам элементов системы необходимо внешнее информационное взаимодействие, то есть существует необходимость подключения к сетям связи общего пользования и (или) сетям связи других организаций. В свою очередь, исследование внутренних информационных потоков позволит определить границы внутреннего информационного контура системы и, соответственно, получить исходные данные для определения рационального состава средств связи и автоматизации для достижения целей функционирования конкретной системы.

### Библиографический список

1. Bilyatdinov K. Z., Krivchun E. A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // CEUR Workshop Proceedings. July 5-9, 2021. Vol. 3041, pp. 579-583.
2. Bilyatdinov K. Z., Krivchun E. A. About the method of assessing the quality of big technical systems based on the rules of subtraction of matrices of values of indicators // Journal of Physics: Conference Series - 2022, Vol. 2373, pp. 052009.

*Б. Н. Гузанов\**

Доктор технических наук, профессор

*А. Д. Колясникова\**

Соискатель ученой степени кандидата наук

\*Российский государственный профессионально-педагогический университет

## РЕФЛЕКСИВНЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ В СТАНОВЛЕНИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В ПРОЦЕССЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

В тексте показана роль рефлексивного метода обучения в становлении аналитического мышления метрологов, представлены основные технологии рефлексивного обучения, наиболее применимые для специалистов по метрологии.

**Ключевые слова:** аналитическое мышление, метрологическая экспертиза, рефлексивный метод, рефлексивная технология.

*B. N. Guzanov\**

Doctor of technical Sciences, Professor

*A. D. Kolyasnikova\**

A candidate for an academic degree

\*Russian State Vocational Pedagogical University

## REFLECTIVE METHOD OF TRAINING IN THE FORMATION OF ANALYTICAL THINKING OF A METROLOGICAL SPECIALIST

The text shows the role of the reflective method of training in the formation of analytical thinking of metrologists, presents the basic technologies of reflective training, the most applicable for specialists in metrology.

**Keywords:** analytical thinking, metrological analysis, reflexive method, reflective technology.

В настоящее время на предприятиях особо остро стоит проблема выпуска надежной, наукоемкой продукции, отвечающей нормативно-техническим требованиям, высоким стандартам качества и запросам потребителя. Процесс управления качеством требует участия большого числа специалистов, в частности, специалистов по метрологии. Принято считать, что причина снижения качества выпускаемой продукции, большой процент брака в серийном выпуске и высокие затраты на устранение ошибок проектирования, в том числе, связаны с недостаточной проработкой метрологических вопросов на всех стадиях жизненного цикла продукции. Важным инструментом по снижению метрологических рисков в процессе производства и эксплуатации продукции является метрологическая экспертиза, осуществление которой требует от специалистов по метрологии глубокого владения метрологическими знаниями в сопряжении с областью промышленности, в которой они задействованы, а также развитого аналитического мышления, представляющего собой сложный рефлексивный процесс восприятия, анализа, оценки информации, логического прогнозирования на основе полученных данных. Однако образовательные программы подготовки специалистов по метрологии, способных осуществлять метрологическую экспертизу, уделяют недостаточное внимание развитию аналитического мышления. Несмотря на то, что навыки аналитической деятельности в виде требований к образовательным результатам при подготовке метрологов зафиксированы в виде универсальных компетенций во ФГОС, их уровень развития в большей степени можно охарактеризовать как недостаточный.

Эффективное развитие аналитического мышления, как необходимого условия для успешного решения задач аналитической экспертной деятельности метролога, возможно с использованием метода обучения, основанного на рефлексии как принципа мышления. Разнообразие рефлексивных технологий для реализации рефлексивного метода обучения, наиболее применимых при подготовке инженеров приведены на рисунке 1. В виду особенностей профессиональной деятельности специалистов по метрологии, принимающих участие в метрологической экспертизе в качестве экспертов, для их подготовки наиболее эффективным является проектное обучение с использованием технологий компьютерного моделирования рассматриваемых проблемных ситуаций в контексте решения профессиональных задач эксперта-метролога. Такой подход позволяет создать условия для формирования и развития у экспертов-метрологов навыков системного анализа и обработки имеющейся информации об исследуемом объекте, технических способов реализации заданных к нему требований на основе полученных результатов анализа, имеющих знаний и профессионального опыта для принятия аргументированного технического решения.

В отличие от традиционного, направленного на репродукцию готовых форм и способов деятельности, рефлексивный метод активизирует мышление обучающихся и стимулирует развитие навыков самостоятельной постановки и решения профессиональных задач, выработки новых норм деятельности на основе анализа трудовых ситуаций [1, 2].

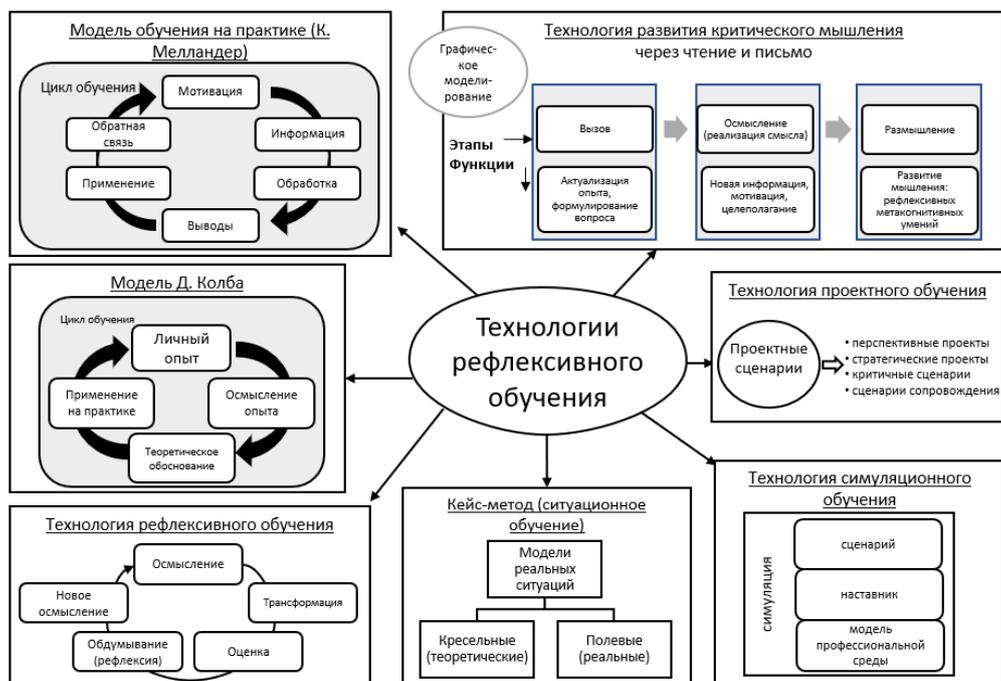


Рисунок 1 - Модели технологий рефлексивного обучения в инженерной педагогике

Принимая во внимание, что образовательные организации ВО в первую очередь ориентированы на подготовку специалиста широкого профиля, который не может в полной мере отвечать требованиям работодателя, аналитическое мышление необходимо развивать в рамках программ дополнительной подготовки как во время обучения в вузе, так и после при появлении педагогической потребности с применением рефлексивных методов как наиболее значимых для становления аналитического мышления метрологов, выполняющих трудовые функции высокого уровня квалификации, таких как метрологическая экспертиза.

#### Библиографический список

1. Рукин А. В. Рефлексия как метод научно-педагогического исследования человека и его жизненного пути // Вестник ТвГУ. Серия «Педагогика и психология», 2018. С. 43–48.
2. Метаева В. А. Рефлексивный метод в дидактике: постановка проблемы // Образование и наука, 2005. №2 (32). С. 9–18.

**Б. Я. Литвинов\***

доктор технических наук, профессор

**Н. Н. Скориантов\***

кандидат технических наук, доцент

**Р. Н. Целмс\***

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СПЕЦИАЛИСТЫ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ И ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ПРИ ИХ ПОДГОТОВКЕ

Рассмотрены вопросы, связанные с укрупнением направлений подготовки в высшей школе. Отмечены негативные моменты при объединении в одно направление управление качеством, стандартизации и метрологии.

**Ключевые слова:** количество, качество, измерительная информация, профессиональные стандарты

**B. Ya. Litvinov\***

Dr. Sc. Tech. Professor

**N.N. Skoriantov\***

PhD, Tech., Associate Professor

**R.N. Tselms\***

PhD, Tech., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## SPECIALISTS IN THE FIELD OF METROLOGY AND THE MAIN PURPOSE IN THEIR TRAINING

The issues related to the consolidation of training areas in higher education are considered. Negative aspects were noted when combining quality management, standardization and metrology into one direction.

**Keywords:** quantity, quality, measurement information, professional standards

В современном обществе реализуется концепция перехода к новой промышленной революции, которая охватывает все сферы экономической деятельности. Успешность перехода зависит от соответствующей трансформации метрологии и метрологического обеспечения. Требования к знаниям, умениям, опыту работы и профессиональным навыкам метрологов должны соответствовать современным требованиям [1]. В Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [2] отмечался недостаток метрологических кадров, и ставилась задача этот недостаток ликвидировать. На следующем этапе развития системы обеспечения единства измерений в России в части кадровой составляющей ставится задача оценки уровня квалификации специалистов-метрологов предприятий и организаций в различных сферах экономической деятельности требуемому уровню.

В 2024 году исполняется 125 лет с момента начала подготовки метрологов в России [3]. Считалось, что за эти годы установилось понимание того, что должен знать и уметь специалист в области метрологии и метрологического обеспечения. Однако, в процессе разработки и актуализации профессиональных стандартов [1] выяснилось, что это не так. Часть потенциальных работодателей полагает, что деятельность метролога ограничивается вопросами воспроизведения единиц величин и передаче информации о размере, принятом за единицу, в рамках поверочных схем. Другие считают, что метролог должен выполнять функции контроля на предприятии, заниматься проблемами управления качеством, быть специалистом по испытаниям, решать вопросы каталогизации. Результатом подобных взглядов на деятельность метролога стало дальнейшее укрупнение направлений подготовки в высшей школе [4]. Наименование укрупненной группы подготовки 22.01 "Управление качеством, стандартизация и метрология". При таком развитии событий метрологию скоро будут рассматривать как некоторое частное направление в такой сфере как управление качеством. Поэтому целесообразно вернуться почти на 150 лет назад.

Общеизвестно высказывание Д.И. Менделеева о взаимосвязи измерений и науки. Первоисточником является предисловие к книге Г. Мона "Метеорология или учение о погоде" [5]. Дословно высказывание Д.И. Менделеева звучит так: "... Наука начинается здесь, как и везде, с тех пор, как начинают измерять, точная наука немислима без меры. ...". Менее известно то, что Д.И. Менделеев написал в том же предисловии далее [5]. Он указал, что измеряемых данных оказывается много, и новый труд состоит в том, чтобы охватить их, разобраться и найти общее начало, управляющее полученными числами. Для этого имеются два пути: математический и эмпирический. Для эмпирического пути необходимо знание тех поправок, мелочных обстоятельств, которые иногда прикрывают сущность явления.

Явлением здесь является взаимодействие объекта измерений и средства измерений. При этом интерес представляет взаимодействие, связанное с интересующей физической величиной, все другие воздействия на средство измерений являются шумом, который искажает получаемую измерительную (количественную) информацию. Уменьшение этих искажений при получении измерительной информации и является целью метролога.

Сущность процесса измерения остается неизменной независимо от того, какое определение официально зафиксировано в нормативной документации [6].

Полученная экспериментальным путем количественная информация о свойствах объектов и явлений окружающего мира используется в информационно-измерительных системах и других устройствах отображения и регистрации информации, подлежит передаче, обработке, хранению. *Получение количественной информации о мерах свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путём (т.е. экспериментально) называется ИЗМЕРЕНИЕМ.* Это определение было сформулировано профессором Шишкиным И.Ф. [7], остается актуальным в настоящее время и соответствует тому, что было написано Д.И. Менделеевым еще в 1876 году.

Специалист по метрологии и метрологическому обеспечению занимается вопросами, связанными с количеством. Специалист по управлению качеством, соответственно, занимается вопросами, связанными с качеством. При формировании учебных планов рабочих учебных планов по направлению 22.01 "Управление качеством, стандартизация и метрология" необходимо включать дисциплины, которые отражают это принципиальное различие. Без этого невозможно готовить метролога к его профессиональной деятельности. Четкое разделение трудовых действий метролога и специалиста по управлению качеством, специалистов по контролю и испытаниям оценка кадрового потенциала в сфере метрологии и метрологического обеспечения не даст положительных результатов.

### Библиографический список

1. Литвинов Б. Я., Мосичкина А. В. Профессиональные стандарты в области метрологии. / В сборнике: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Материалы III Международного форума в рамках празднования 80-летия Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, 300-летия Российской академии наук. Под редакцией В.В. Окрепилова. Санкт-Петербург, 2021. С. 202–203.
2. Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года. Распоряжение Правительства РФ от 19.04.2017 N 737-р «Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года» (URL: <https://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-19042017-n-737-r/>), (дата обращения 12.01.2024).
3. Окрепилов М. В., Литвинов Б. Я., Гинак Е. Б., Минина Н. В., ВНИИМ и образовательная деятельность (к 175-летию ВНИИМ им. Д.И. Менделеева) / Законодательная и прикладная метрология. - 2017. № 5 (150). - С. 48–52.
4. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 01.02.2022 № 89 «Об утверждении перечня специальностей и направлений подготовки высшего образования по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, программам ординатуры и программам ассистентуры-стажировки» (Зарегистрирован 03.03.2022 № 67610): URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203030033> (дата обращения 12.01.2024).
5. Мон Генрик. Метеорология или учение о погоде / с предисловием и с доп. Д. Менделеева. - Санкт-Петербург: тип. т-ва «Общественная польза», 1876, 283 с. URL: [https://archive.org/details/mon\\_meteorologija/mode/2up](https://archive.org/details/mon_meteorologija/mode/2up) (дата обращения 12.01.2024).
6. Литвинов Б. Я., Салашенко А. И., Скориантов Н. Н., Целмс Р. Н. Метрология. Общая теория измерений: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2023. - 82 с.
7. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Питер, 2010. - 192 с.

*А. В. Мосичкина*Руководитель отдела  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

## ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТРУДОВЫХ ФУНКЦИЙ МЕТРОЛОГОВ

Рассмотрены характеристики видов профессиональной деятельности метрологов. Проанализирована возможность применения процессного подхода для структуризации трудовых функций специалистов-метрологов.

**Ключевые слова:** профессиональный стандарт, процессный подход, трудовая функция, область профессиональной деятельности, метрология.

*A. V. Mosichkina*Head of Department  
D. I. Mendeleev Institute for Metrology

## A PROCESS APPROACH TO THE FORMATION OF LABOR FUNCTIONS OF METROLOGISTS

The characteristics of the types of professional activities of metrologists are considered. The possibility of using a process approach to structure the labor functions of metrology specialists is analyzed.

**Keywords:** professional standard, process approach, labor function, area of professional activity, metrology.

Среди существенных аспектов управления метрологическим обеспечением организаций особая роль отводится кадровому потенциалу, ввиду того что от его профессионализма напрямую зависит эффективность работы организации и ее производственные показатели. Важной задачей при этом является определение содержания видов профессиональной деятельности, входящих в описываемую область деятельности, выделение трудовых функций, которые относятся к данному виду профессиональной деятельности [1].

С одной стороны, метрология примыкает к философии естествознания и одной из ключевых проблем для метрологии является проблема познания физической реальности [2]. С другой стороны, метрологическую деятельность начинают рассматривать как составную часть систем управления качеством. Как следствие, метрологов привлекают к функциям контроля, но отделяют от информационных измерительных технологий. Высшая стратегия в развитии информационных технологий, связанных с количественными оценками параметров различных объектов и процессов необходима как сейчас, так и в развивающемся информационном обществе, но для ее разработки необходимо признать, что метрология не должна являться составной частью различных сфер профессиональной деятельности, а должна рассматриваться как самостоятельная сфера деятельности.

В ходе актуализации профессионального стандарта 40.012 «Специалист по метрологии» стало понятно, что документ очень емкий, вмещающая в себя деятельность метрологов различных областей экономической деятельности. Для рассмотрения характеристик этого вида профессиональной деятельности применен процессный подход, основанный на разделении всей деятельности на бизнес-процессы, проанализирован массив данных используемых трудовых функций, относимых к данному виду профессиональной деятельности и к уровням квалификации. В результате этого анализа для достижения ключевых целей описанных процессов выявлена необходимость изменения состава вида профессиональной деятельности. Наиболее емкие трудовые функции целесообразно выделить в отдельные профессиональные стандарты, установить им соответствующие цели видов профессиональной деятельности, осуществить детальное раскрытие соответствующих характеристик деятельности метрологов [3].

Стоит отметить, что профессиональные стандарты, а также квалификационные справочники характеризуют минимальные требования к работникам, в то время как у активно внедряющих технологические инновации и выполняющих научно-исследовательские работы специалистов постоянно нарастают требования к профессиональным компетенциям. При требуемом избытке разносторонних компетенций, связанных с научными разработками, проектированием технологических процессов, необходим системный подход к фиксации их в должностных инструкциях, повышению и оценке квалификации во всех предметных областях. Для таких специалистов высокого уровня характерно внутреннее совмещение профессий и должностей. В этом случае необходимо соответствие не одному профессиональному стандарту, такая должностная инструкция требует комбинации нескольких профессиональных стандартов либо, что является более предпочтительным, специально разработанного для этого случая стандарта предприятия.

### Библиографический список

1. Пронин А.Н., Окрепилов М.В., Мосичкина А.В. Отражение специфики деятельности военных метрологов при разработке профессионального стандарта «Специалист по метрологическому обеспечению вооружения и военной техники». IV Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» // Сборник статей, СПб, 2022. С. 143–144.
2. Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И. Потенциальная точность измерений. - СПб.: Профессионал, 2005. - 103 с.
3. Окрепилов М.В., Литвинов Б.Я., Мосичкина А.В. Формирование компетенций современного специалиста-метролога // Законодательная и прикладная метрология. - 2021. - № 2. - С. 49–53.

*Е. В. Пастухова*

кандидат технических наук, доцент

*Ю. С. Романова*

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЕЙСОВ В ИЗУЧЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Настоящее исследование посвящено эффективности использования кейс-метода в обучении линейной алгебре и аналитической геометрии. Методология включает в себя анализ влияния кейс-метода на углубление теоретических знаний студентов, развитие аналитического мышления и способностей к применению учебного материала на практике. Приводится пример кейса. Результаты исследования предоставляют убедительные доказательства в пользу использования подобной методики в учебном процессе, подчеркивая их оригинальность для современного образования.

**Ключевые слова:** кейс-метод, линейная алгебра, аналитическая геометрия, образовательные стратегии, инновации в образовании, эффективность обучения.

*E. V. Pastukhova*

PhD, associate professor

*Y. S. Romanova*

PhD, associate professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## INNOVATIVE EDUCATIONAL STRATEGIES: EXPLORING THE EFFECTIVENESS OF CASE STUDIES IN MATHEMATICS EDUCATION

This study is devoted to the effectiveness of using the case method in teaching linear algebra and analytical geometry. The methodology includes an analysis of the influence of the case method on deepening students' theoretical knowledge, developing analytical thinking and the ability to apply educational material in practice. An example case is given. The results of the study provide convincing evidence in favor of the use of such methods in the educational process, emphasizing their originality for modern education.

**Keywords:** case method, linear algebra, analytic geometry, educational strategies, innovations in education, learning efficiency.

Инновационные подходы в высшем образовании подразумевают активное интегрирование современных методов обучения, развитие критического мышления, стимулирование творческого мышления студентов и подготовка студентов к решению конкретных прикладных задач в различных областях профессиональной деятельности.

Кейс-метод как раз представляет собой отличный пример инновационного подхода в обучении. Он предоставляет студентам возможность применить полученные теоретические знания на практике. Это ведет к лучшему усвоению материала и формированию практических навыков, необходимых в профессиональной деятельности, повышает мотивацию студентов, поскольку задания кейсов демонстрируют практическую ценность и актуальность изучаемого материала [1]. Работа с кейсами часто требует анализа ситуации, выявления ключевых факторов и принятия обоснованных решений, что способствует развитию критического и аналитического мышления у студентов. Кейсы, как правило, базируются на творческих решениях и нестандартном мышлении, что формирует креативность студентов и подготавливает их к решению новых задач. Немаловажным фактором работы с кейсами является развитие коммуникативных навыков и способностей студентов к коллективной работе, поскольку задания часто включает в себя групповые обсуждения и совместную подготовку решений [2].

Таким образом, использование кейсов в обучении эффективно сочетает в себе теоретический материал с практическими навыками, что делает обучение более интересным, познавательным и пригодным для применения в реальной жизни.

Рассмотрим пример кейса, который предлагается студентам-метрологам в курсе «Аналитическая геометрия и линейная алгебра» в качестве одного из мероприятий текущего контроля знаний.

Предлагаемый кейс направлен на формирование общепрофессиональной компетенции ОПК-1 «Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области естественных наук и математики».

Задание кейса:

Производственная компания специализируется на изготовлении деталей для точных измерений в лабораторных условиях. Вам необходимо провести анализ геометрических параметров детали с использованием методов матричной алгебры и аналитической геометрии для обеспечения их соответствия требованиям метрологических стандартов.

Этапы решения:

1. Определите геометрические параметры детали, которые подлежат измерению, например, длину, ширину, высоту, углы и радиусы кривизны.
2. Задайте систему пространственных координат (возможно, не одну) для описания положения и формы детали. Для измерений в разных координатных системах на основе матричной алгебры используйте координатные преобразования (матрицы поворота и смещения, масштабирования и действия с ними для перехода из одной системы координат в другую).
3. Создайте математическое описание формы детали с использованием уравнений кривых, поверхностей и отношений неравенств.
4. Используйте методы аналитической геометрии для анализа геометрических отклонений детали от требуемых параметров (расчет расстояний между точками, угловых отклонений и других характеристик).
5. Установите границы допустимых отклонений для каждого параметра (они должны удовлетворять требованиям проекта, стандартов отрасли, функциональными характеристиками объекта или другими регулирующими документами и выражаются числовыми значениями) и определите соответствие детали установленным стандартам.
6. Проанализируйте полученные результаты, сравнив их с требованиями метрологических стандартов. Оцените необходимость коррекции производственного процесса.

Условия выполнения кейса: решение заданий кейса осуществляется в группах по 5 человек. Отчет должен содержать титульный лист; таблицы измерения параметров детали; математическое описание систем координат, матриц перехода и алгебраические действия с ними, иллюстрации преобразований координат; аналитическое описание кривых и поверхностей элементов детали; расчет отклонений с установлением числовых значений границ; обоснование применения того или иного стандарта; результаты проделанной работы и рекомендации по уменьшению несоответствий; отчет по проделанной работе в виде презентации. Применение современных информационных технологий и прикладных программ в процессе решения задания приветствуется.

Критерии оценки: максимальный балл – 100. Основные баллы: верно выполнен п.2 – 20 баллов, верно выполнен п.3 – 20 баллов, верно выполнен п.4 – 10 баллов, обосновано выполнен п.5 – 10 баллов, грамотно выполнен п.6 – 20 баллов.

Дополнительные баллы: скорость выполнения задания – 10 баллов; качество оформления отчета – 5 баллов; правильные ответы на вопросы в ходе защиты работы – 5 баллов.

Апробация данного кейса была осуществлена при изучении указанной дисциплины в 2023 году. Задание вызвало подлинный интерес студентов, они проявили инициативность в выборе средств решения; представление результатов работы сопровождалось бурным обсуждением.

В заключение можно сказать, что применение кейс-метода при изучении различных дисциплин представляет собой эффективную и инновационную методику обучения. Кейсы обогащают учебный процесс, благодаря чему студенты не только подтверждают свои теоретические знания, но и учатся применять их на практике. Подобный подход создает мост между теорией и практикой, который не только делает обучение более интересным, но и подготавливает студентов к успешному решению задач в их будущей профессиональной деятельности. Использование кейсов в обучении стимулирует студентов к инновационному мышлению, что является ключевым элементом современного образования [3].

#### Библиографический список:

1. М. Б. Узденова, Ф. Н. Алипханова Метод кейсов как средство формирования познавательного интереса студентов в процессе изучения математики // МНКО. 2023. №2 (99), с.321–323.
2. Кузу Омюр Хакан. Цифровая трансформация в высшем образовании: пример стратегических планов // Высшее образование в России. 2020. №3, р.9-24. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-29-3-9-23>.
3. Bакеева L. V., Pastuhova E. V., Romanova Y. S. Education in the digital economy: students' view // International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019). St. Petersburg, Russia, October 10-11, 2019. Atlantis Highlights in Computer Sciences, v.1, p. 257–261. - URL:<https://doi.org/10.2991/icdtli-19.2019.46> (date of request: 21.12.2023).

*Ю. С. Романова*

к. т. н., доцент

*Е. В. Пастухова*

к. т. н., доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ГЕЙМИФИКАЦИЮ: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Статья рассматривает влияние геймификации на высшее образование, выделяя ее как эффективное средство управления качеством образования, а также мотивации и развития студентов. Исследование предоставляет собой обзор методов геймификации в приложении к математическим дисциплинам, подчеркивает ее роль в стимулировании активности и индивидуального развития, а также рассматривает перспективы ее применения в современных образовательных практиках.

**Ключевые слова:** геймификация, управление качеством образования, мотивация, развитие студентов, инновации в образовании.

*Y. S. Romanova*

PhD, associate professor

*E. V. Pastukhova*

PhD, associate professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EDUCATION QUALITY MANAGEMENT THROUGH GAMIFICATION: NEW PERSPECTIVES AND PRACTICAL SOLUTIONS

The article examines the impact of gamification on higher education, highlighting it as an effective means of managing the quality of education, as well as motivating and developing students. The study provides an overview of gamification methods as applied to mathematical disciplines, highlights its role in stimulating activity and individual development, and also examines the prospects for its application in modern educational practices.

**Keywords:** gamification, education quality management, motivation, student development, innovation in education.

Геймификация представляет собой стратегию, которая интегрирует принципы и элементы игрового дизайна в контекст неигровых сценариев с целью улучшения мотивации, вовлеченности и результатов участников. В контексте образования студентов, игровое обучение представляет собой педагогический подход, использующий механизмы игр, такие как баллы, достижения, уровни сложности и соревнования, для стимулирования активности и повышения качества обучения [1].

Цели геймификации в области образования могут быть сформулированы следующим образом:

- обеспечение студентов дополнительными мотиваторами в виде игровых элементов, для создания стимула для активного участия в учебном процессе, выполнения заданий и достижения учебных целей;
- более глубокое погружение студентов в учебный материал, что способствует лучшему усвоению за счет использования элементов игрового дизайна, таких как задачи, квесты и сценарии;
- создание образовательных сред, которые адаптируются к индивидуальным особенностям и уровню подготовки студентов, предоставляя им персонализацию траектории обучения;
- активация элементов сотрудничества за счет поощрения работы в командах для достижения общих целей;
- создание положительных эмоций и удовлетворения, способствующих более высокому уровню учебной мотивации благодаря эмоциональным аспектам игр, таких как достижения, награды и виртуальные прокочки, помогает удерживать внимание студентов, предоставляя им структурированный и стимулирующий учебный опыт;
- возможность более наглядной оценки прогресса студентов, в которой достижения, баллы и рейтинги обеспечивают структурированную обратную связь и позволяют не только преподавателю, но и самим студентам оценить свой уровень успеха;
- создание более динамичных и интерактивных методов передачи знаний преподавателями в результате экспериментов с новыми форматами обучения [2].

Геймификация в образовании представляет собой эффективный метод, способствующий формированию позитивного обучающего опыта, стимулирующего студентов к активному участию и достижению образовательных целей.

Авторы статьи предлагают внести элементы геймификации в процесс изучения раздела «Аналитическая геометрия». Опираясь на многолетний опыт, можно утверждать, что изучение этого раздела всегда вызывает у студентов затруднения, связанные, по всей видимости с недостаточно развитым пространственным воображением и множеством возможных способов описания пространственных объектов. Использование сюжетных линий, игровая форма подачи материала помогает «поколению Z» лучше освоить учебный материал.

В процессе разработки сейчас находится игра «Звездные грани Аналитики».

Описание игры: участники отправляются в космический полет, где каждый этап представляет собой различные задачи по аналитической геометрии. Цель игры - пройти через различные уровни, решая задачи и собирая "Геометрические Артефакты", необходимые для разгадывания тайн аналитической геометрии и накопления опыта, трансформирующегося в баллы для получения оценки.

Предлагаемые уровни:

– Точки и векторы в пространстве

– Игрокам предлагаются задачи определения координаты точки в пространстве, представляющей положение космического корабля после определенного времени полета с заданным вектором скорости; или вектор, представляющий направление взлета и посадки ракеты на планету в условиях гравитации и атмосферы. Векторные операции реализуются в виде задач сложения векторов, представляющие движение по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ , чтобы определить общее перемещение, или, при помощи векторного произведения векторов, подняться вертикально по трубе на крышу.

– Уравнения плоскостей и прямых в пространстве

– Траектория космического корабля может быть описана уравнением прямой в пространстве; задача игроков - определить, через какие точки проходит корабль и каковы его направляющие векторы. При определении уравнения плоскости орбиты планеты вокруг звезды необходимо учесть угол наклона и другие параметры орбиты. Задача на определение точки столкновения астероида с космическим кораблем решается с использованием уравнений их траекторий.

– Уравнения поверхностей в трехмерном пространстве

После построения трехмерной модели астероидного поля с использованием уравнений поверхностей для представления различных астероидов, надо определить оптимальные маршруты для избегания столкновений. Для описания формы магнитного поля космического объекта, различных ландшафтов на поверхности планеты или слоев атмосферы можно использовать уравнения различных поверхностей второго порядка и визуализировать их с помощью прикладных программ. Задача на построение уравнений поверхностей, представляющих форму космической станции в пространстве, включает определение ее параметров для создания устойчивой конструкции.

Возможные награды и бонусы, появляющиеся в процессе решения поставленных задач, дают особенные возможности участникам и учитываются в счетчике баллов:

Например, Геометрические Талисманы для увеличения точности в построениях или ускорении движения оцениваются в  $n$  баллов; Дискретный Дефлектор позволяет игроку временно создавать дискретные области определенной конфигурации, в которых вражеские атаки не проникают и приносит  $m$  баллов; Тригонометрический Турбоускоритель предоставляет короткосрочный ускоренный режим с уникальной траекторией, определяемой тригонометрическими функциями и дает  $p$  баллов; получение "Медалей Геометрии" за успешное решение задач повышает уровень персонажа и т.д.

В программе предусмотрен многопользовательский режим, позволяющий совместно решать сложные задачи и проводить соревнования с другими игроками в решении задач за ограниченное время.

Участникам предоставляются обучающие материалы, такие как краткие видеоролики, объясняющие основные понятия аналитической геометрии или интерактивные подсказки для решения сложных геометрических задач.

Итоги участия в игре подводятся преподавателем и учитываются при оценке результатов обучения.

В современном образовании геймификация уже представляет собой неотъемлемый инструмент, оказывающий значительное влияние на процессы обучения и мотивации студентов. Этот инновационный подход к обучению позволяет создать увлекательную атмосферу, в которой студенты активно участвуют в учебном процессе, достигая более высоких результатов и развивая необходимые навыки [3].

Важно подчеркнуть, что успешное внедрение геймификации требует грамотного планирования, разработки соответствующих задач и постоянного анализа результатов.

В заключении следует отметить, что геймификация становится ключевым фактором прогрессивного образования, предоставляя студентам инновационные и мотивирующие инструменты для достижения учебных целей. Ее роль в образовательной среде будет продолжать расти, открывая новые возможности для улучшения обучения и подготовки будущих поколений к вызовам современного мира.

### Библиографический список:

1. Николаева, Е. Н. Геймификация процесса преподавания математики в техническом вузе / Математическое образование в современном мире: теория и практика : Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, Самара, 28–30 ноября 2022 года / Отв. редактор О.В. Юсупова. - Самара: Самарский государственный технический университет, 2022. - С. 95–99.
2. Катержина С. Ф., Собашко Ю. А., Жбанов Е. А. Об опыте использования геймификации в высшем образовании на примере преподавания математических дисциплин / Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2022. №3. С. 27–35.
3. Л. В. Бакеева, Е. В. Пастухова, Ю. С. Романова. Нормативное регулирование современных технологий образования согласно ФГОС 3++ // Формат правоприменения теории конституционализма в Российской Федерации : Коллективная монография / Под научной редакцией В. И. Кайнова, Е. В. Семухиной. - Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2021. - С. 34–47.

*М. С. Серик\**

доктор педагогических наук, профессор

*А. В. Копыльцов\*\**

доктор технических наук, профессор

*С. К. Жумагулова\*\*\**

магистр технических наук

*Г. Б. Абилдаева\*\*\*\**

магистр технических наук

\*Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Казахстан

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

\*\*\*Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетова, Казахстан

\*\*\*\*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Казахстан

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В статье рассматривается роль и назначение искусственного интеллекта в образовании, а также преимущества и недостатки его внедрения в данную сферу. В наши дни системы обучения на базе искусственного интеллекта позволяют адаптироваться к стилю обучения студентов, а также предоставлять целенаправленные инструкции для преодоления трудностей прогресса обучения.

**Ключевые слова:** образование, искусственный интеллект, студенты, высшие учебные заведения, информационные технологии.

*M. S. Serik\**

Dr. Sc. Ped., Professor

*A. V. Kopyltsov\*\**

Dr. Sc. Tech., Professor

*S. K. Zhumagulova\*\*\**

Master of Engineering Science

*G. B. Abildaeva\*\*\*\**

Master of Engineering Science

\*Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan

\*\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Russia

\*\*\*Buketov Karaganda University, Kazakhstan

\*\*\*\*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Kazakhstan

## SOME ASPECTS OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN THE EDUCATIONAL PROCESS

The article examines the role and purpose of artificial intelligence in education, as well as the advantages and disadvantages of its implementation in this area. Nowadays, artificial intelligence-based learning systems make it possible to adapt to the learning style of students, as well as provide targeted instructions to overcome the difficulties of learning progress.

**Keywords:** education, artificial intelligence, students, higher education institutions, information technology.

Сегодня можно наблюдать повсеместную тенденцию интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в сферу образования. ИИ может находить свое применение в таких сферах образования, как персонализированное обучение, оценивание и репетиторство. В работе нами рассмотрены вопросы применения ИИ в сфере образования, а также его плюсы и минусы.

Способность персонализировать обучение для каждого учащегося можно назвать одним из наиболее важных плюсов искусственного интеллекта в сфере образования. Алгоритмы ИИ способны осуществлять анализ стиля обучения, исследовать успеваемость и предпочтения обучающихся, для дальнейшего создания индивидуальной учебной программы, которая бы отвечала его индивидуальным потребностям. Данный подход позволяет обучающемуся учиться в его собственном темпе и сосредоточиться на дисциплинах и темах, в которых он заинтересован больше всего. Как итог, обучающиеся получают большую мотивацию и вовлеченность, что способствует лучшему усвоению информации [1].

Кроме того, искусственный интеллект имеет потенциал для существенного повышения точности и эффективности оценок обучающихся. Путем анализа ответов обучающихся и обеспечения мгновенной обратной связи, искусственный интеллект способен помочь преподавателям определить области, где обучающиеся испытывают затруднения для дальнейшей коррекции своих методов обучения согласно их потребностям. Возможность предоставления ИИ данных об успеваемости обучающихся в режиме реального времени дает возможность преподавателям принимать на их основании решения об обучении.

Примером применения ИИ в управлении вузами служат созданные на его основе чат-боты для ответов на запросы обучающихся, а также управления данными о них. Благодаря этому происходит экономия времени и повышение эффективности административного процесса, что делает его более упорядоченным.

Сегодня системы обучения на базе ИИ приобретают все большую известность, так как предоставляют обучающимся персонализированную поддержку и обратную связь [2].

Кроме того ИИ может использоваться при разработке игрового образовательного процесса. Его алгоритмы способны разрабатывать интерактивные увлекательные игры, способные заставить обучающихся критически мыслить и решать проблемы. Это позволяет им применять полученные ими навыки в реальных сценариях, поощряя их учиться на практике [3].

Однако, несмотря на то, что искусственный интеллект обладает множеством потенциальных плюсов для учебного процесса, имеются и негативные стороны, которые важно также принимать во внимание [4]. Основные плюсы применения искусственного интеллекта в образовании представлены на рис. 1.



Рис.1. Основные плюсы применения искусственного интеллекта в образовании

Минусы представлены на рис. 2.

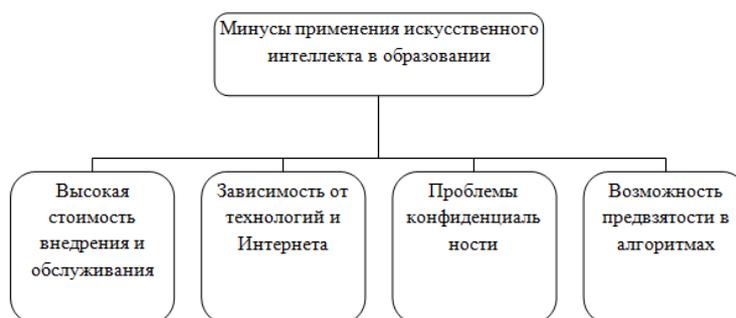


Рис. 2. Минусы применения искусственного интеллекта в образовании

Таким образом, интеграция ИИ в сферу образования позволит обучающимся получить точные и эффективные оценки, а также поддержку и обратную связь. Но при этом важно осторожно подходить к его интеграции в сферу образования, соблюдая баланс между его плюсами и минусами, с тем, чтобы обеспечить его пользу для образовательного процесса.

### Библиографический список

1. Макк А. А. Способен ли искусственный интеллект превзойти интеллект человека? // URL: [elibrary.ru/item.asp?id=29167840/](http://elibrary.ru/item.asp?id=29167840/) (дата обращения 10.01.2024).
2. Царев Р. Ю., Тынченко С. В., Гриценко С. Н. Адаптивное обучение с использованием ресурсов информационно-образовательной среды // Современные проблемы науки и образования, 2016, № 5, URL: [science-education.ru/ru/article/view?id=25227](http://science-education.ru/ru/article/view?id=25227) (дата обращения 10.01.2024).
3. Тараканова О.А. Что такое адаптивное образование и почему оно изменит наши школы, университеты и даже онлайн-курсы // НОЖ, 2018, URL: [knife.media/adaptive-learning/](http://knife.media/adaptive-learning/) (дата обращения 10.01.2024).
4. Струнин Д.А. Искусственный интеллект в сфере образования // Молодой ученый, 2023, № 6 (453), С.15-16, URL: [moluch.ru/archive/453/99921/](http://moluch.ru/archive/453/99921/) (дата обращения: 10.01.2024).

*Е. В. Состина\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Цифровизация образования внесла свои коррективы на роль и место преподавателя в учебном процессе, необходимо меняться, осваивать новые цифровые платформы и инструменты. Использование ИКТ при проведении занятий остается ключевым моментом, для повышения качества и уровня подготовки специалистов вуза.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, оценка качества знаний, педагогические технологии, цифровые инструменты.

*E. V. Sostina\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE TRAINING OF HIGHLY QUALIFIED SPECIALISTS

The digitalization of education has made its own adjustments to the role and place of the teacher in the educational process, it is necessary to change, master new digital platforms and tools. The use of ICT in conducting classes remains a key point to improve the quality and level of training of university specialists.

**Keywords:** digital technologies, assessment of the quality of knowledge, pedagogical technologies, digital tools.

В настоящее время трудно представить проведение лекционных занятий без использования информационно-коммуникационных технологий и мультимедийных средств. Применение цифровых технологий в образовании повышают качество проведения занятий, тем самым способствуют формированию у выпускников практико-ориентированных компетенций. Идет процесс трансформации образования, меняются методы и подходы в преподавании, но парадигмой образования остается повышение качества образования, уровень знаний и профессиональных компетенций выпускников.

Важным аспектом в освоении дисциплины остается вовлеченность обучающихся в учебный процесс. Меняется роль современного преподавателя, прежде всего он не просто транслирует свои знания, или пытается сделать каждую свою лекцию развлечением, а разумно внедрять в процесс образования цифровые технологии: мультимедийные, интерактивные, коммуникационные.

Применение цифровых технологий преподавателем видео-лекций, виртуальных лабораторных работ, Flash-клипов, дидактические игры способствуют повышению мотивации к получению знаний студентов.

В настоящее время вузы в организации учебного процесса успешно применяют электронные курсы. Цифровые технологии позволяют обучаться в удобное время и в любом месте, что способствует смешанному формату обучения. Ключевым вопросом остается самоорганизация и повышение мотивации студентов к самостоятельной работе. Необходимо создать игровые симуляторы, работа с которыми выходит за рамки аудиторной работы, благоприятно влияет на овладение профессиональных навыков.

Важной составляющей в повышении качества образования остается вопрос промежуточной аттестации знаний студентов. Платформа LMS открывает широкий спектр возможностей контроля качества знаний студентов. Это может быть опрос в конце каждой лекции (2–3 мин), задания, тесты. Возможности платформы таковы, что можно настраивать групповой режим, ограничение доступа, настраивать параметры ответа, сроки предоставления ответа, ограничение по времени. Задания на автоматическое оценивание можно представить в виде теста, ранжировав его по сложности и наполняемости. Целесообразно тесты составить так, чтобы задания были с выбором одного или нескольких ответов, на сопоставление между определением и формулой, в некоторых тестах необходимо вести правильный ответ (числовой или текстовый).

Так же тестовые задания можно сделать с перекрестной проверкой, когда студенты по определенным критериям проверяют несколько работ (5–6 работ) из своей группы. Еще одной возможностью платформы LMS является загрузка текстового файла или изображения, который преподаватель проверяет самостоятельно и дает комментарий к работе, однако достаточно трудоемкий процесс для преподавателя. Отметим еще воспитательный аспект, преподаватель, общаясь со студентами, формирует личность, передает ценности нашего общества.

Таким образом, структурированный подход к цифровым технологиям способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных специалистов.

### Библиографический список

1. Цифровая трансформация образования: актуальные проблемы, опыт, решения. Книга IV. М.: Изд-во АЭО, 2021. 198 с.
2. Костишина С. А. Актуальные проблемы использования цифровых технологий в системе современного образования // Научные известия. 2022. № 27. С. 106–108.

*А. Г. Чуновкина*

д. т. н., профессор

*Н. Ю. Ефремов\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## О ПРЕПОДАВАНИИ ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ

Связь дисциплины «Прикладная метрология» с другими дисциплинами рассмотрена, сформулированы предложения по совершенствованию программы

**Ключевые слова:** прикладная метрология, законодательная метрология, метрологическая прослеживаемость, калибровочные и испытательные лаборатории

*A. G. Chunovkina\**

D. Tech., Prof

*N. Yu. Efremov\**

P. H. D., graduate professor

\*St.Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ON TEACHING APPLIED METROLOGY

Relations of applied metrology to other disciplines are discussed and some further proposals of collaborations are suggested.

**Keywords:** applied metrology, legal metrology, metrological traceability, calibration and testing laboratories

Преподавание дисциплины «Прикладная метрология» ведется студентам заключительных курсов обучения. Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- \_\_\_\_\_  
проводить анализ состояния метрологического обеспечения в подразделении метрологической службы организации,
- \_\_\_\_\_  
обновлять базу рабочих эталонов и средств измерительной техники и проводить их аттестацию,
- \_\_\_\_\_  
осуществлять поверку и калибровку средств измерений.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с практической деятельностью поверочных/калибровочных и испытательных лабораторий, где ключевым объединяющим вопросом является реализация метрологической прослеживаемости результатов измерений, как основы обеспечения единства измерений. Помимо экспериментальных вопросов проведения поверки, калибровки, аттестации эталонов, студента необходимо научить методам анализа и обработки результатов измерений в методиках калибровки/поверки средств измерений, аттестации эталонов единиц, оценивания неопределенности измерений при калибровке и принятии решений на основе полученных результатов измерений. Это требуется в соответствии с ГОСТ Р ИСО 17025 «Требования к калибровочным и испытательным лабораториям», который является основополагающим нормативным документом при проведении аккредитации.

Следует отметить, что методы оценивания неопределенности измерений требуют соответствующей подготовки в области теории вероятностей и математической статистики, а также навыков использования соответствующего программного обеспечения для реализации моделирования методом Монте-Карло. При реализации дисциплины «Прикладная метрология» желательно, чтобы студент имел соответствующую теоретическую подготовку в области теории вероятностей и математической статистики:

1. Знал понятие случайной величины: плотность распределения, функция распределения, математическое ожидание, дисперсия, СКО, моменты высших порядков. Знать основные распределения случайных величин: нормальное распределение, распределение Стьюдента, хи-квадрат распределение, равномерное распределение.
2. Знал основные методы оценивания параметров распределений случайных величин: метод максимального правдоподобия, метод наименьших квадратов.
3. Был знаком с методами регрессионного анализа.
4. Знал статистические методы проверки гипотез: ошибки первого и второго рода, уровень значимости и мощность критериев, критерии проверки однородности (Фишера, Бартлетта,...), критерии выявления выбросов.

Этого можно было достичь при пересмотре учебных планов образовательных программ или путем разработки и внедрения в образовательный процесс междисциплинарных факультативных программ обучения. Одним из перспективных вариантов решения данной проблемы является внедряемая трековая система, в рамках которой студенты младших курсов индивидуально могут выбрать интересующие их дисциплины и модули.

Таким образом, важная для будущей трудовой деятельности выпускников дисциплина «Прикладная метрология» имеет сильную связь с уровнем подготовки обучающихся. Для повышения качества формирования соответствующих компетенций предложены конкретные рекомендации.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.6

*А. Г. Албутов\**

к. т. н., заместитель начальника отдела-начальник лаборатории

*А. С. Албутова\**

младший научный сотрудник

*Ю. И. Попов\**

к. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## ПРИМЕНЕНИЕ ИМПЕДАНСОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ СОСТАВА БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Рассмотрен экспресс-метод контроля состава смеси нефтепродуктов при их последовательной перекачке к местам сосредоточения группировок войск.

**Ключевые слова:** нефтепродукты, контроль, смеси нефтепродуктов, импеданс.

*A. G. Albutov\**

Deputy chief-laboratory director, Ph.D. of Engineering sciences

*A. S. Albutova\**

Junior researcher

*Y. I. Popov\**

Leading researcher, Ph.D. of Engineering sciences, lecturer

\*FSBI "MSHC" of Russia Federation Ministry of Defense

## THE USE OF IMPEDANCE METHOD FOR DETERMINING THE COMPOSITION OF BINARY MIXTURES OF PETROLEUM PRODUCTS

The express-method of controlling the composition of a mixture of petroleum products during their sequential pumping to the concentration sites of groups of troops is considered.

**Keywords:** standard, laser radiation, power, energy

Материально-техническое обеспечение вооружения, военной и специальной техники включает в себя мероприятия по снабжению их самыми разными предметами материального довольствия. Разнообразие предметов снабжения и большой их расход заставляют службы материально-технического обеспечения базироваться, главным образом, на подвозе их из тыла, а не на местных ресурсах [1].

По этой причине актуальность решения задач по повышению оперативности перекачки нефтепродуктов для обеспечения выполнения боевых задач группировками войск не вызывает сомнений. Одним из самых распространённых способов доставки разносортных нефтепродуктов является их последовательная перекачка.

Для контроля за последовательной перекачкой могут применяться ряд методов и средств, основанных на фиксации изменения одного из физических параметров: контроль состава смеси по ее электропроводности (кондуктометрические методы); контроль смеси по величине диэлектрической проницаемости (диэлькометрические методы); контроль состава смеси по изменению плотности, который применяется в случае, когда разность плотностей контактирующих жидкостей достаточно велика; контроль смеси по скорости распространения ультразвука; контроль смеси по оптической плотности, который построен на различии оптических плотностей разных марок нефтепродуктов, измеренных в ультрафиолетовой области спектра. При этом наименьшей погрешностью обладает спектрофотометрический метод контроля смеси по плотности, однако его отличает значительная дороговизна.

Авторами разработан импедансометрический метод измерений физико-химического состава жидких сред, основанный на синтезе методов кондуктометрии и диэлькометрии. Исследования показали, что объединение измеряемых в этих методах параметров (активного и реактивного сопротивлений) дает наиболее полную и объективную картину о физико-химическом составе смеси нефтепродуктов.

Метод основан на измерении модуля импеданса датчика с исследуемым раствором на индикаторных частотах, электроды которого находятся в анализируемой жидкости. При этом с изменением концентрации или

состава анализируемой жидкости изменяется и импеданс датчика [2]. Отличительной особенностью разработанного метода является то, что устройство его технической реализации базируется на основе серийного измерителя RLC, эксплуатируемого в метрологических воинских частях и подразделениях.

Применение разработанного экспресс-метода определения состава светлых нефтепродуктов позволит повысить оперативность их контроля при последовательной перекачке разнотипных нефтепродуктов.

#### **Библиографический список**

1. Учебник сержанта танковых войск. Москва, Воениздат, 2004. – с. 242.
2. Албутов, А. Г. Метод измерений состава светлых нефтепродуктов при эксплуатации метрологического комплекса для поверки средств измерений службы горючего / А. Г. Албутов, А. С. Албутова, М. А. Конюхов, Ю. И. Попов, Н.П. Писклова // Сборник трудов ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России. – 2020. – № 43. – С. 138–140.

*И. В. Бороденкова\**

научный сотрудник

*С. В. Кааль\**

научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ТЕПЛОВЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ**

Рассмотрен метод определения пространственной частоты тепловых тест-объектов.

**Ключевые слова:** тепловизионные приборы, пространственная частота.*I. V. Borodenkova\**

Research associate

*S. V. Kaal\**

Research associate

\*FSBI «GSMC» of Ministry of Defence of Russia

**A METHOD FOR DETERMINING THE SPATIAL FREQUENCY OF THERMAL TEST OBJECTS**

A method for determining the spatial frequency of thermal test objects is considered.

**Keywords:** thermal imaging devices, spatial frequency.

Для оценки технических характеристик тепловизионных приборов (ТВП) в процессе функционирования или при имитации условий эксплуатации проводятся различные испытания [1]. В тех случаях, когда в результате испытаний должен быть получен ответ о степени соответствия ТВП заявляемым точностным параметрам, используются средства воспроизведения разности радиационных температур (РРТ), представляющие собой инфракрасные коллиматорные стенды (ИКС) [2]. Так как ТВП является аппаратурой дистанционного действия, то необходимыми элементами ИКС являются: коллиматор, источник излучения в виде модели черного тела (МЧТ), набор тепловых тест-объектов (ТТО), система управления. В качестве эталонного тест-объекта излучателя используются ТТО – устройства, содержащие теплоизлучающие элементы, которые размещены с заданной пространственной частотой (ПЧ) и обеспечивают температурный контраст на равномерно излучающем фоне [1]. Набор ТТО размещается на турели, которая устанавливается в фокальной плоскости коллиматора с возможностью задания им требуемых значений разности температур с помощью МЧТ. Данные о ТТО отображаются в системе управления. Для точного отслеживания температуры окружающей среды непосредственно рядом с турелью расположены температурные датчики. Основной метрологической характеристикой ТТО является ПЧ. Значение которой возможно определять с использованием автоколлимационного теодолита типа ЗТ2КА. Для этого подготавливают к работе ИКС, не включая его, отодвигают МЧТ от диска с ТТО. Между МЧТ и диском с ТТО устанавливается белый экран и подсвечивается лампой накаливания. Подвижками по азимуту, углу места и высоте совмещают оси визирования теодолита с оптической осью ТТО. Теодолитом измеряют угловой размер трех полных штрихов на ТТО, записывается отсчет угла по теодолиту, после чего данные измерения проводятся для всех ТТО. Обработка результатов измерений при определении ПЧ ТТО. Искомое значение пространственной частоты тепловых тест-объектов определяется по формуле (1):

$$\eta = \frac{3}{1000 \cdot \alpha}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – ПЧ ТТО, 1/мрад;  $\alpha$  – угловой размер трех полных штрихов ТТО, рад.

В качестве достигнутых значений ПЧ ТТО, принимается значения, рассчитанные по формуле (1). Отклонение достигнутого значения ПЧ ТТО от требуемого определяют следующим образом:

$$\delta = \frac{\eta_i - \eta_n}{\eta_n} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $\delta$  – отклонение достигнутого значения пространственных частот ТТО, %;  $\eta_i$  – измеренная пространственная частота ТТО, 1/мрад;  $\eta_n$  – номинальная пространственная частота ТТО, 1/мрад.

Результаты считаются положительными, если достигнутые значения ПЧ ТТО соответствуют значениям, указанным в эксплуатационной документации. В системе стандартизации НАТО требования к ТТО описаны в MIL-STD-1859 и Tri-Service Guide for thermal imager testing. В нашей стране аналогичные документы пока не разработаны. В связи с этим, актуальным является вопрос подтверждения их метрологических характеристик.

**Библиографический список**

1. Клейменов Ю. А., Шарганов К. А. Метрологические аспекты испытаний тепловизионных наблюдательных приборов // Известия инженерной физики. 2017. С. 15.
2. Осина А. А., Шарганов К. А., Воейко О. А. Метод комплексной передачи единиц фотометрических величин оптико-электронных систем // Вестник метролога. 2023 г. С. 27–30.

*Д. С. Губа\**

студент

*А. А. Керн\*\**

кандидат технических наук

*А. Н. Алексеева\**

студент

*Н. Н. Скориантов\**

доцент, кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

\*\*НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ СУДОВЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В статье предложен новый подход к совершенствованию системы управления обратноосмотических опреснительных установок для судов ВМФ. Рассмотрены основные способы управления в развитии опреснительных установок. В ходе рассмотрения был предложен способ применения нейронных сетей.

**Ключевые слова:** Системы управления, обратноосмотические опреснительные установки, нейронные сети.

*D. S. Guba\**

Student

*A. A. Kern\*\**

PhD, Tech.

*A. N. Alekseeva\**

Student

*N. N. Skoriantov\**

PhD, Tech., Associate Professor

\*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

\*\*Research Institute of Shipbuilding and Armament of the Navy VUNTS Navy "Naval Academy"

## IMPROVEMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF REVERSE OSMOSIS MARINE DESALINATION PLANTS

The article proposes a new approach to improving the control system of reverse osmotic desalination plants for Navy vessels. The main management methods in the development of desalination plants are considered. During the review, a method for using neural networks was proposed.

**Keywords:** Control systems, reverse osmosis desalination plants, neural networks

Основными задачами совершенствования обратноосмотических опреснительных установок являются:

оценка полноты и обоснованности требований для обратноосмотических опреснительных установок в ТТЗ на ОКР, выдаваемых МО РФ, а также их соответствие требованиям нормативных документов оборонной продукции;

оценка обоснованности и достаточности выбора опреснительных установок с увеличением их автономности (для обеспечения жизненного цикла судов);

оценка возможности контроля параметров обратноосмотических опреснительных установок в процессе испытаний и эксплуатации с помощью заданных СИ ВН и контроля (контролепригодность ВВТ);

оценка правильности выбора и эксплуатации обратноосмотических опреснительных установок для заданных условий с учетом:

а) обеспечения требований к опреснительным установкам, заданных в ТТЗ на ОКР;

б) оценки надежности в ходе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта опреснительных установок;

в) требований по унификации и стандартизации;

г) оценки эффективности системы управления обратноосмотической опреснительной установки

разработка усовершенствованной системы управления опреснительной техники с учетом факторов функционирования и внешней среды;

разработка системы управления с применением алгоритмов искусственных нейронных сетей по следующим причинам:

– гибкость модели для нелинейной аппроксимации многомерных функций;

– средство прогнозирования во времени для процессов, зависящих от многих переменных;

– возможность поиска закономерностей в массивах данных;

разработка возможности применения рекуррентной сети в системе управления обратноосмотических опреснительных установок на основе сети долгой и кратковременной памяти (ДИКП);  
оценка эффективности работы системы управления опреснительных установок на основе сети ДИКП.

#### Библиографический список

1. *Дивас Кариманзира, Томас Раушенбах.* Модель прогнозирующего управления для обратноосмотической опреснительной установки, основанная на глубоком обучении – Журнал прикладной математики и физики, 2020, 8, 2713-2731 – 19 с.
2. *Карпов А. Г.* Теория автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – 212 с.
3. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.
4. *И. В. Заенцев* Нейронные сети: основные модели. Учебное пособие – Воронеж: Воронежский Государственный университет, 1999. – 76 с.
5. *Демидова Г. Л., Лукичев Д.В.* Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 81 с.

*А. А. Закутин\**

к. т. н., начальник лаборатории

*А. В. Беляков\**

младший научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## НОВЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ВЫХОДА ВАТТМЕТРОВ ПРОХОДЯЩЕЙ МОЩНОСТИ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Рассмотрена возможность измерения эффективного коэффициента отражения выхода ваттметров проходящей мощности в миллиметровом диапазоне частот с использованием измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения.

**Ключевые слова:** ваттметр проходящей мощности, направленный ответвитель, комплексный коэффициент отражения, поверка.

*A. A. Zakutin\**

Ph.D. Tech., head of laboratory

*A. V. Belyakov\**

junior researcher

\*FSBI «MSMC» of Ministry of Defense of the Russian Federation

## NEW APPROACH TO THE EFFECTIVE REFLECTION COEFFICIENT OF THE PASSING POWER METERS DETERMINING IN THE MILLIMETER WAVE FREQUENCY

The possibility of measuring the effective reflection coefficient of the output of passing wattmeter in the millimeter wave range using a vector network analyzer is considered.

**Keywords:** wattmeter of passing power, direction coupler, complex reflection coefficient, verification.

Модуль эффективного коэффициента отражения (КО) выхода  $|Γ_э|$  является одной из важнейших характеристик ваттметров проходящей мощности. Он характеризует выход ваттметра на данной частоте и определяет зависимость его показаний от фазы КО нагрузки, подключенной к нему.

Существуют различные методы измерений проходящей мощности: метод поглощающей стенки, зондовый, пondeмоторный и метод, использующий эффект Холла. Также можно измерять проходящую мощность с помощью ваттметров поглощаемой мощности совместно с резистивными делителями или направленными ответвителями. В миллиметровом диапазоне частот при построении ваттметров проходящей мощности в качестве делителя наибольшее распространение получили направленные ответвители.

Максимальное возможное значение  $|Γ_э|$  определяется из коэффициентов матрицы рассеяния направленного ответвителя по формуле (1), однако в диапазоне частот свыше 37,5 ГГц выполнить прямые измерения матрицы рассеяния направленного ответвителя затруднительно ввиду отсутствия измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения (ИККПО) с тремя выходами.

$$|Γ_э|_{MAX} = |S_{22}| + \left| S_{21} \cdot \frac{S_{32}}{S_{31}} \right|. \quad (1)$$

В докладе показано, что если задать предварительные требования к параметрам направленного ответвителя: КО основного канала ( $|S_{22}|$ ) не более 0,02; направленность ( $D$ ) не менее 40 дБ, то можно свести измерение  $|Γ_э|$  к измерению  $|S_{22}|$ , так как второе слагаемое в (1) мало. Обеспечить такие параметры направленности можно при переходе на ослаблении не менее 6–10 дБ, что для волноводных трактов не составляет особого труда.

При этом направленность ответвителя  $D$  определяется по формуле:

$$D = 20 \log_{10} |S_{32} / S_{31}|. \quad (2)$$

Важно, что такой подход дает возможность косвенных измерений  $|Γ_э|_{max}$  через прямые измерения  $|S_{22}|$  и  $D = |S_{32}|$  по ГОСТ 20271.1. Погрешность измерений при этом:

$$\delta_{Γ_э} = \sqrt{\delta_{S_{22}}^2 + \delta_{S_{31}}^2} \quad (3)$$

где  $|\delta S_{22}|$ ,  $|\delta S_{31}|$  – погрешности измерений КО и ослабления соответственно.

Таким образом, при наличии доступа ко всем трем входам (выходам) направленного ответвителя, применяя существующие ИККПО с двумя выходами, возможно определить  $|Γ_э|$  выхода ваттметров проходящей мощности в миллиметровом диапазоне частот.

### Библиографический список

1. Билько М.И., Томашевский А.К. Измерение мощности на СВЧ. [Текст] // – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 168 с.
2. Хибель М. Основы векторного анализа цепей [Текст] / Перевод с английского Смольный С.М. // М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 502 с.

А. А. Закутин\*

к.т.н., начальник лаборатории

И. А. Савчук\*

научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ СВЧ ПУТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВАТТМЕТРА СВЧ НА ОСНОВЕ БОЛОМЕТРА

Рассматривается метод уменьшения погрешности измерений мощности СВЧ за счет улучшения согласования измерительного тракта, реализуемого электрической подстройкой сопротивления болометра.

**Ключевые слова:** ваттметр поглощаемой мощности, электрическая подстройка, коэффициент отражения, болометр.

A. A. Zakutin\*

Ph.D. Tech., head of laboratory

I. A. Savchak\*

researcher

\*FSBI «MSMC» of Ministry of Defense of the Russian Federation

## METHOD FOR REDUCING THE MEASUREMENT ERROR OF RF POWER BY ELECTRICALLY ADJUSTING THE REFLECTION COEFFICIENT OF A POWER METER BASED ON A BOLOMETER

Method for reducing the measurement error of RF power by improving the measuring path matching via changing the bolometer resistance is investigated.

**Keywords:** power meter, electrical adjustment, reflection coefficient, bolometer.

Среди большого разнообразия радиоизмерений в области СВЧ измерение мощности занимает одно из ведущих мест. СВЧ ваттметры применяются при разработке, регулировке, проверке источников СВЧ сигналов и других СВЧ приборов.

В случае, если неизвестны фазы коэффициентов отражения генератора ( $\Gamma_r$ ) и ваттметра ( $\Gamma_b$ ), максимальное значение погрешности [1] составит:

$$\delta_{\text{нсмкс}\pm} = -\frac{|\Gamma_b|^2}{(1 \pm |\Gamma_r| \times |\Gamma_b|)^2} + \frac{1}{(1 \pm |\Gamma_r| \times |\Gamma_b|)^2} - 1 \approx -|\Gamma_b|^2 \pm 2 \times |\Gamma_b| \times |\Gamma_r|. \quad (1)$$

Первая составляющая погрешности является систематической и характеризует отраженную мощность. Ее учитывают, внося в результат измерений поправку, равную  $|\Gamma_b|^2$ .

Вторую составляющую (1) принято называть погрешностью рассогласования, максимальное значение которой определяется формулой (2).

$$\delta_{\text{расс}} = \frac{1}{(1 \pm |\Gamma_r| \times |\Gamma_b|)^2} - 1 \approx 2 \times |\Gamma_r| \times |\Gamma_b|. \quad (2)$$

Один из возможных способов уменьшения погрешности измерений мощности является уменьшение погрешности рассогласования путем подстройки сопротивления чувствительных элементов ваттметров – болометров. Конкретные значения достижимого минимума коэффициентом отражения, зависят от частотного диапазона преобразователя и используемых болометров.

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований коэффициентов отражения различных типов первичных преобразователей мощности в их диапазонах частот при изменении согласования измерительного тракта путем изменения сопротивления болометра.

При подстройке КСВН преобразователя важное значение имеет определение пользователем режимов дальнейшего использования преобразователя. Рассмотрены несколько вариантов настройки преобразователей, различающихся по назначению. Первый – настройка преобразователя по минимальному значению КСВН на частотных точках по ГОСТ 8.569-2000. Другой вариант – настройка преобразователя по минимальному КСВН и минимальной неравномерности КСВН в требуемом диапазоне частот.

Таким образом, показана возможность уменьшения погрешности измерений мощности путем электрической подстройки коэффициента отражения первичного преобразователя ваттметра СВЧ и приведены варианты такой подстройки.

### Библиографический список

1. Билько М.И., Томашевский А.К. Измерение мощности на СВЧ. [Текст] // – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 168 с.
2. Хибель М. Основы векторного анализа цепей [Текст] / Перевод с английского Смольный С.М. // М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 502 с.

*А. С. Киселева\**

младший научный сотрудник

\*Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации

## О ПОРЯДКЕ ПЛАНИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК (МЕТОДОВ) ИЗМЕРЕНИЙ

Описаны основные положения при планировании и разработки методик (методов) измерений.

**Ключевые слова:** аттестация (методик) методов измерений, метрологические требования.

*A. S. Kiseleva\**

Junior researcher

\* Main Scientific Metrology Center

## OF PLANNING PROCEDURE AND DEVELOPMENT OF MEASURING TECHNIQUES

The article describes basic provisions of planning and development of measuring techniques.

**Keywords:** certification of measuring techniques, metrological requirements.

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в том числе в области обороны и безопасности государства, к применению допускаются методики (методы) измерений, прошедшие аттестацию, а также обеспечивающие соблюдение установленных законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений обязательных требований.

Заявители до 1 октября года, предшествующего планируемому, высылают в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России заявки на включение в план проведения аттестации методик (методов) измерений. На основании поступивших заявок разрабатывается проект плана, который представляется на утверждение в Управление метрологии ВС РФ. План до 30 ноября года, предшествующего планируемому, утверждается и высылается в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России для организации рассылки выписок Заявителям в части касающейся. Выписки из плана рассылаются в течение 15 рабочих дней после его получения.

Порядок проведения аттестации методик (методов) измерений установлен приказом Минпромторга РФ от 15 декабря 2015 г. № 4091, разработка методик (методов) измерений установлены ГОСТ Р 8.563-2009.

Разработка методик (методов) измерений осуществляется при одновременном выполнении следующих условий и включает в себя:

- формулирование измерительной задачи и описание измеряемой величины, предварительный отбор возможных методов решения измерительной задачи;
- выбор метода и средств измерений (в том числе стандартных образцов), вспомогательных устройств;
- установление последовательности и содержания операций при подготовке и выполнении измерений;
- организацию и проведение теоретических и экспериментальных исследований по оценке показателей точности разработанной методики измерений;
- обработку промежуточных результатов измерений и вычисление окончательных результатов, полученных с помощью данной методики измерений;
- разработку проекта документа на методику измерений;
- аттестацию методик измерений;
- утверждение и регистрацию документа на методику измерений, оформление свидетельства об аттестации;
- передачу сведений об аттестованных методиках измерений в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Аттестацию методик (методов) измерений проводит ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России.

### Библиографический список

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Приказ Министра обороны РФ от 30 декабря 2018 г. № 777.
3. Приказ Минпромторга России от 15 декабря 2015 г. № 4091 «Об утверждении Порядка аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений и их применения»
4. ГОСТ Р 8.563-2009 «Методики (методы) измерений».

*Т. А. Кленова\**

научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА, РЕГУЛИРУЮЩЕГО ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПО ВОПРОСАМ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Проведен анализ изменений нормативных правовых актов по вопросам утверждения типа средств измерений. Предложены пути совершенствования государственного регулирования по утверждению типов средств измерений.

**Ключевые слова:** обеспечение единства измерений, утверждение типа средств измерений.

*Т. А. Klenova\**

research associate

\*FSBI «MSMC» of Ministry of Defense of the Russian Federation

## ANALYSIS OF LEGISLATION REGULATING THE PROCESS OF ENSURING THE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS ON THE APPROVAL OF THE TYPE OF MEASURING INSTRUMENTS, RECOMMENDATIONS AND SUGGESTIONS FOR ITS IMPROVEMENT

The analysis of changes in regulatory legal acts on the approval of the type of measuring instruments has been carried out. The ways of improving state regulation on the approval of types of measurement units are proposed.

**Keywords:** ensuring the uniformity of measurements, approval of the type of measuring instruments.

Форма государственного регулирования обеспечения единства измерений «Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений» впервые введена [1] в 2008 году. С момента введения указанной формы государственного регулирования норма законодательства, устанавливающая ее, не изменялась.

Вопросы утверждения типа (УТ) средств измерений (СИ) регламентируются статьей 12 [1], которая дважды подвергалась незначительным изменениям нормативно-правового регулирования.

Проведенный анализ нормативных правовых актов Минпромторга России, определяющих порядок УТ показал, что изменения касались в основном юридических и технических аспектов и уточнения содержания отдельных этапов УТ СИ.

Таким образом, форма государственного регулирования обеспечения единства измерений «Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений» с 2009 года по существу остается неизменной, совершенствование механизмов государственного регулирования в этом направлении не проводится, ее влияние на обеспечение единства измерений в стране остается неизменным.

На фоне совершенствования государственного регулирования в различных видах деятельности совершенствование законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений идет более низкими темпами, а в определенных формах государственного регулирования развитие практически отсутствует.

В связи с тем, что обеспечение единства измерений важно во всех отраслях деятельности государства, такое значительное несоответствие темпов совершенствования его регулирования и регулирования других сфер деятельности возможно свидетельствует о недостаточности синхронизации законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений с потребностями общества.

Предлагаются следующие пути совершенствования порядка утверждения типа средств измерений:

1. Корректировка порядка утверждения типа средств измерений, позволяющая уменьшить нагрузку сотрудников Росстандарта, упростить пересылку документов, упростить внесение сведений в Федеральный информационный фонд.

2. Разработка механизма установления нескольких значений интервалов между поверками (ИМП) при УТ СИ, позволяющего разработчику продукции при выборе СИ самостоятельно выбирать его ИМП с учетом требуемой надежности.

Указанные предложения по совершенствованию законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений по вопросам УТ СИ целесообразно реализовывать поэтапно на всех уровнях нормативных правовых актов с обязательным указанием переходных положений от старого порядка УТ к новому.

### Библиографический список

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

*А. Д. Колясникова\**

начальник бюро метрологической экспертизы

*Д. В. Жаркова\**

инженер

*Е. Г. Сапожникова\**

инженер

\*АО «Уральский завод гражданской авиации»

## РОЛЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВТ

Показана роль метрологической экспертизы, как инструмента оценки полноты и правильности метрологической проработки изделий военной техники, в эффективности эксплуатации готовых образцов.

**Ключевые слова:** метрологическая экспертиза, метрологическое обеспечение, эксплуатация изделий

*A. D. Kolyasnikova\**

chief of metrological expertise bureau

*D. V. Zharkova\**

engineer

*E. G. Sapozhnikova\**

engineer

\* The Ural Works of Civil Aviation

## THE ROLE OF METROLOGICAL EXPERTISE IN ENSURING THE EFFICIENCY OF MAINTENANCE OF MILITARY TECHNICS

The role of metrological expertise as a tool for assessing the completeness and correctness of metrological study of military equipment products in the efficiency of operation of finished samples is shown.

**Keywords:** metrological expertise, metrological support, product operation.

В настоящей день особенно остро стоит проблема выпуска надежных изделий для обеспечения безопасности и обороноспособности страны, отвечающих требованиям нормативно-технической документации. Эффективность применения изделий ВТ во многом зависит от уровня качества проектной и рабочей документации, управление которым требует специализированных процедур на каждом этапе жизненного цикла продукции.

Качество – это комплексное многоаспектное понятие, включающее в себя функциональность, безопасность, живучесть и надежность изделий. Считается, что причиной от 60 % до 90 % брака серийно выпускаемой продукции становятся ошибки разработчика и изготовителя, большая часть которых обнаруживается уже на испытаниях и в эксплуатации [2]. Это связано с особенностями процесса проектирования и требует детального анализа принятых технических решений на каждом этапе разработки и производства. Весомая часть подобных ошибок связана, в том числе, и с недостаточностью метрологической проработки изделия. При этом, в нормативно-технической документации и литературе приводят данные, что стоимость исправления ошибки увеличивается десятикратно с каждым последующим этапом разработки и, в конце концов, приводит к серьезным метрологическим рискам и потерям, связанным с низким качеством измерительной информации о техническом состоянии изделия ВТ, что крайне важно для обеспечения его боевой готовности [1, 2]. Становится очевидно, что полнота и правильность метрологического обеспечения на каждом этапе жизненного цикла разработки, производства и эксплуатации изделий ВТ неуклонно влияет на конечное качество, надежность и боевую эффективность готовых образцов.

Одним из важнейших инструментов управления качеством и уровнем метрологической проработки изделий является метрологическая экспертиза, под которой понимается анализ и оценка правильности принятых технических решений, обеспечивающих единство измерений, с целью уменьшения возникновения метрологических рисков и связанных с ними потерь, а также выработку рекомендаций и предложений с целью достижения требуемого уровня качества измерительной информации. В зависимости от этапа разработки, метрологическая экспертиза решает ряд задач, уровень и качество проработки которых, в конечном счете, сказывается на эффективности эксплуатации изделий в части достоверности измерительной информации, полученной в ходе оценки технического состояния и обслуживания образца ВТ. Вклад задач, решаемых в ходе метрологической экспертизы, в эффективность эксплуатации изделий ВТ обобщенно приведен на рис. 1.

Таким образом, метрологическая экспертиза является неотъемлемой частью комплекса работ по метрологическому обеспечению на всех стадиях жизненного цикла продукции в целях наиболее эффективного и рационального обслуживания изделий ВТ в процессе эксплуатации.

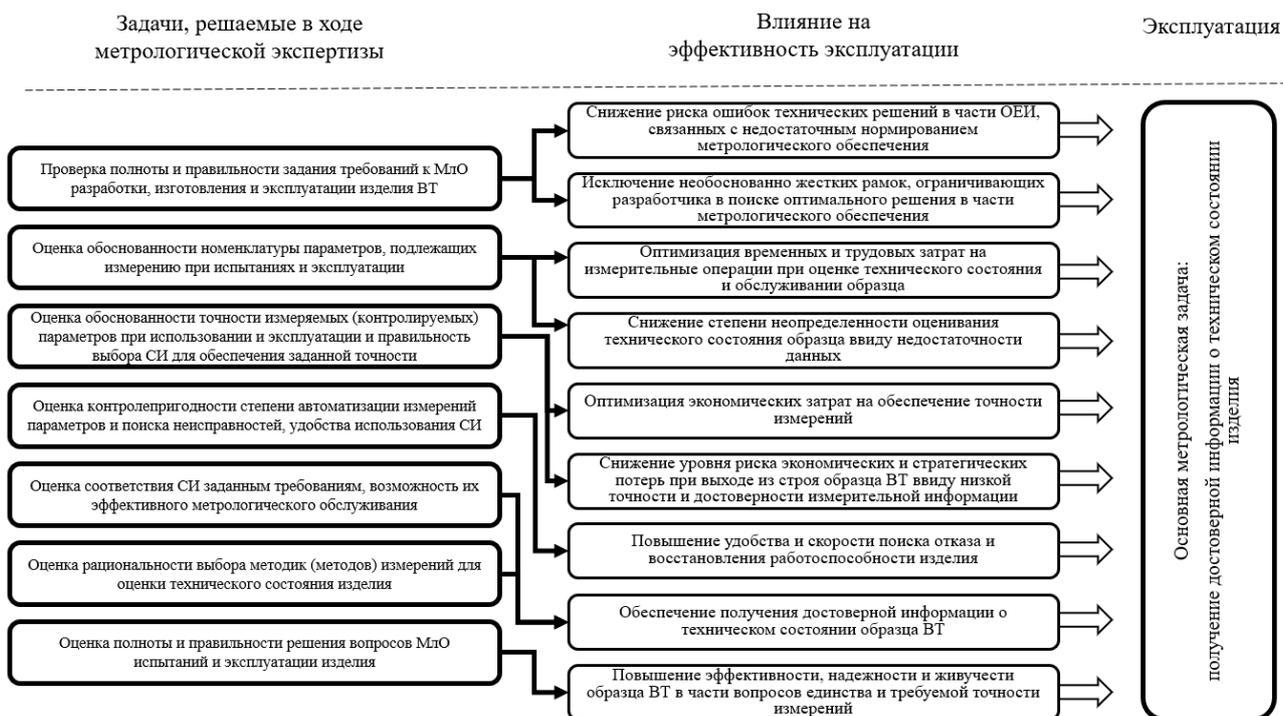


Рис. 1. Модель взаимосвязи решения задач метрологической экспертизы и эффективности эксплуатации изделий ВТ

Однако разработчики документации не всегда могут обладать требуемыми компетенциями для решения вопросов обеспечения единства и требуемой точности измерений, поэтому, как показывает практика, неверно оценивают вклад метрологической экспертизы в эффективность технического обслуживания и эксплуатации изделий ВТ. Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что необходимо повышать метрологическую грамотность всех специалистов, задействованных в разработке и постановке на производство изделий ВТ, не ограничиваясь формальным выполнением метрологической экспертизы при создании оборонной продукции, а в качестве экспертов привлекать специалистов с профильным образованием или прошедших профессиональную переподготовку на специалиста по метрологии с наивысшим уровнем квалификации.

#### Библиографический список

1. Зими́на, Е. В. Роль метрологической экспертизы технической документации в повышении проектного качества продукции / Е. В. Зими́на, В. Н. Кайнова // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексе́ева. – 2015. – № 4(111). – С. 186–192.
2. Сычев, И. Ю., Храменков, В. Н., Шкитин А. Д. Основы метрологии военной техники. – М.: Военное издательство, 1993.

*Н. Е. Кочугуров\**

начальника отдела

*К. А. Пылаев\*\**

магистр

*В. А. Тимофеев\*\**

студент

*А. Н. Алексеева\*\**

студент

\*АО "Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз»

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛЕЙ СУДОВ

В докладе представлен способ передачи измерительной информации (данных) полученной в результате проведения испытаний моделей судов на открытом водоёме.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение; измерительный комплекс, передача информации; средства измерений.

*N. E. Kochugurov\**

Head of the Department

*K. A. Pylaev\*\**

master

*V. A. Timofeev\*\**

student

*A. N. Alekseeva\*\**

student

\*Joint Stock Company "Central Marine Design Bureau "Almaz"

\*\*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## MEASURING SYSTEM WITH REMOTE TRANSMISSION OF MEASUREMENT DATA FOR TESTING SHIP MODELS

The report presents a method for transmitting measurement information (data) obtained as a result of testing ship models in an open body of water.

**Keywords:** metrological support; measuring complex, information transmission; measuring instruments.

При проведении испытаний моделей судов на открытых водоёмах, дистанционная передача экспериментальных данных позволяет исключить использование кабелей, которые имеют ограничения по длине.

Чтобы определить характер поведения моделей судов, в том числе характеристик управляемости и мореходности, параметров движения при испытаниях на открытой воде применяются измерительные системы с дистанционной передачей измерительных данных [1].

1. Благодаря измерительной системе с дистанционной передачи данных, появляется возможность проводить испытания моделей на большем расстоянии от оператора, а также работать автономно (радиоуправление), без катера буксировщика (систем тросов, кареток и т.д.), получая более «чистый» результат испытаний [2].

2. Беспроводные системы передачи данных – это устройства передачи по Wi-Fi.

Wi-Fi передатчики имеют большую пропускную способность по сравнению с радиомодемами и могут быть использованы для передачи большего объема измерительной информации (экспериментальных данных). Также, с помощью Wi-Fi можно организовать локальную сеть, соединяющую модель и береговой компьютер. В случае, если связь по какой-либо причине будет утеряна на непродолжительное время, запись всей измерительной информации будет дублироваться на Flash-накопитель, установленный на борту модели.

3. Для защиты достоверности данных, несанкционированной настройки или вмешательства в ПО обеспечивается постоянный надзор и автоматическая проверка контрольной суммы.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 59987-2022 «Оборудование навигационное судовое. Системы бесплатформенные инерциальные навигационные морского применения».

2. Кочугуров, Н.Е. ПОК расширяют концепцию новых типов испытаний / Н. Е. Кочугуров, Р. Н. Целмс, Н. Н. Скоринтов. – Текст: непосредственный // Мир измерений. – 2023. - №4 (202). – С. 51–54.

*Красавина А. А.*

старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЕДОМСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Рассмотрены актуальные вопросы, проблемы и состояние деятельности ведомственной метрологической службы в потоке цифровизации и цифровой трансформации.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, целевое управления, эффективность, цифровизация, цифровая трансформация, математическое моделирование.

*Krasavina A. A.*

senior researcher

Federal state budgetary institution «Main scientific metrological center» Ministry of defense of Russian Federation

## INTELLECTUALIZATION AND DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ACTIVITIES OF THE DEPARTMENTAL METROLOGICAL SERVICE

**Abstract:** the current issues, problems and the state of activity of the departmental metrological service in the flow of digitalization and digital transformation are considered.

**Keywords:** metrological support, target management, efficiency, digitalization, digital transformation, mathematical modeling.

Внешние и внутренние факторы, определяющие содержание метрологического обеспечения (МЛО) ведомственных служб, существенно изменились за последние 15 лет. Произошла структурная реформа и переоснащение ведомств Российской Федерации современными образцами и комплексами образцов специальной техники, происходят существенные изменения и в информационном поле. Качество информационного обеспечения должностных лиц определяется актуальностью и достоверностью информации, а также оперативностью ее получения, обработки и рядом других показателей, требования к которым в настоящее время, в условиях политической обстановки, значительно возросли. Действительное состояние информационного поля ведомственных метрологических служб (МлС) находится в тренде цифровизации и формирования структурированного банка знаний о состоянии измерительной техники (ИТ). Однако, «цифра» — это не «цифровая трансформация».

**Цель:** выбор и обоснование инструментов и методов обеспечения процесса цифровой трансформации ведомственной метрологической службы.

**Гипотеза:** для комплексного применения современных информационных и интеллектуальных технологий в интересах цифровой трансформации МЛО в настоящее время существуют развитые системы формализации знаний и данных в области военной метрологии.

**Проблема:** неструктурированные информационные потоки, слабо формализованные данные, неидентифицированные описания метрологических свойств ИТ, дефицитный уровень автоматизации и информатизации.

**Задача:** разработка концептуального каркаса цифровизации МЛО ведомственной службы как когнитивной технологии управления.

**Математическая постановка задачи:**

$$x = \operatorname{argmax} \{K_r = P[x, z, h, \varepsilon] | x \in X, z \in Z\};$$

где  $K_r$  — показатель готовности парка средств измерений (СИ);  $x = [l, r, u]$  — управляемые переменные;  $l$  — силы МЛО;  $r$  — средства МЛО;  $u$  — рациональное управление поверочно-ремонтными работами;  $X$  — область допустимых решений по изменению управляемых переменных.  $z = [w, v, G, e]$  — неуправляемые переменные:  $w = [m, \sigma, f_i(t), n, M, T]$  — поток СИ в соответствии с параметрами математического ожидания ( $m$ ), среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ), функции распределения потока ( $F$ ) номенклатуры ( $n$ ) и количества ( $M$ ) СИ во времени ( $T$ );  $v = [t_{нов}, t_{рем}, n]$  — производственные возможности с параметрами норм времени на поверку ( $t_{нов}$ ), норм времени на ремонт ( $t_{рем}$ ) и номенклатуры СИ ( $n$ );  $G = [D, Q]$  — нормативный регламент технологического процесса поверочно-ремонтных работ, связывающих технологические состояния СИ ( $D$ ) с событиями изменения технического и метрологического состояния СИ ( $Q$ );  $e = [m, \sigma, n, M, T]$  — поток событий изменения технического

и метрологического состояния СИ с математическим ожидания (  $m$  ), среднеквадратичным отклонением (  $\sigma$  ), известном количестве СИ (  $M$  ) во времени (  $T$  );  $f_i(t)$  – функция распределения входного потока СИ;  $Z$  – область допустимых (адекватных реальным процессам поверочно-ремонтных работ) изменений неуправляемых переменных;  $P$  – функция, полученная имитационным моделированием процесса поверочно-ремонтных работ, которая связывает показатель готовности  $K_r$  с управляемыми переменными, количеством репликаций (  $h$  ) и заданной тонностью моделирования (  $\varepsilon$  ).

*Интерпретация результатов решения математической задачи:*

1. Предложения по увеличению (уменьшению) состава сил МЛО:

$$\pm \Delta_l = l_{opt} - l_{real} \rightarrow +\Delta_{K_z} = K_{z_{opt}} - K_{z_{real}} \mid l_{opt} \in L.$$

2. Предложения по увеличению или уменьшению средств МЛО:

$$\pm \Delta_r = r_{opt} - r_{real} \rightarrow +\Delta_{K_z} = K_{z_{opt}} - K_{z_{real}} \mid r_{opt} \in R.$$

Полученные результаты представляют собой предложения:

1. стратегические – в форме предложений по перспективному изменению состава сил и средств метрологических подразделений;
2. среднесрочные – в форме рекомендаций по перераспределению поверочно-ремонтных работ между метрологическими подразделениями;
3. оперативные – рекомендации по изменению состава сил и средств МЛО для выполнения конкретных поверочно-ремонтных работ «на выезде».

Цифровая трансформация деятельности ведомственной МЛС, должна быть направлена, прежде всего, на эффективное управление МЛО, а именно, на повышение экономической и целевой эффективности (готовность парка СИ) за счет информационного и математического обеспечения, оптимизацию процессов поверочно-ремонтных работ ИТ, получение заданных и перспективных характеристик состояния системы МЛО за счет низко абстрагированного моделирования процессов МЛО на основе перспективных информационных технологий.

#### **Библиографических список**

1. Красавина А. А. Система поддержки принятия решений по метрологическому обеспечению войск (сил) с применением агентно-ориентированной среды моделирования. Сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития науки и техники по направлению «АСУ, информационно-телекоммуникационные системы». – А., ВИТ «Эра» 2021 г., Том 2, стр.120-134.

*Е. А. Лесников\**

заместитель командира войсковой части

*А. С. Кучер\**

начальник метрологической службы войсковой части

*А. С. Хатеев\*\**

начальник лаборатории

Войсковая часть 20096\*

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России\*\*

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕСТАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Предложен метод передачи единицы энергии лазерного излучения средствам измерений в местах их эксплуатации с применением лазеров из состава комплексов контроля космического пространства.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, лазерное излучение, среднее квадратическое отклонение

*E. A. Lesnikov\**

Deputy commander of the military unit

*A. S. Kucher\**

Head of the metrological service of the military unit

*A. S. Khateev\*\**

Head of the laboratory

Military unit 20096\*

FSBI «GSMC» of Ministry of Defence of Russia\*\*

## METROLOGICAL SUPPORT OF MEASURING INSTRUMENTS FOR HIGH LEVELS OF LASER RADIATION ENERGY IN THE FIELD OF OPERATION OF SPACE CONTROL COMPLEXES

A method is proposed for transferring a unit of laser radiation energy to measuring instruments in their places of operation using lasers from space control complexes.

**Keywords:** metrological support, laser radiation, mean square deviation.

Уникальные свойства лазерного излучения (ЛИ), такие как, направленность, монохроматичность, когерентность, возможность генерации ультракоротких импульсов, высокая концентрация энергии обусловили применение лазеров для различных систем вооружения.

Измерения энергии ЛИ высоких уровней энергии (свыше 10 Дж) осуществляются в процессе эксплуатации комплексов контроля космического пространства (КККП), например, радиооптического комплекса распознавания космических объектов «Крона» [1].

Метрологическое обеспечение СИ высоких уровней энергии в местах эксплуатации КККП затруднено или невозможно ввиду отсутствия эталонной базы (не выше 1 Дж). Поэтому для решения данной проблемы предлагается метод передачи единицы энергии ЛИ СИ в местах их эксплуатации с применением лазера из состава КККП.

В предложенном методе для приведения уровня энергии ЛИ к значению, измеряемому с помощью эталонных приемников ЛИ, используется светоделительная пластина с измеренным коэффициентом деления. Для измерений коэффициента деления применяется схема, приведенная на рисунке 1.

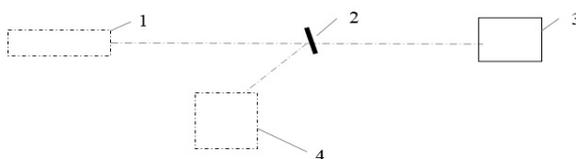


Рис. 1. Предлагаемая структурная схема для определения коэффициента деления светоделительной пластины:  
1 – лазер из состава КККП; 2 – светоделительная пластина; 3, 4 – эталонный приемник ЛИ

Коэффициент деления светоделительной пластины  $k$  определяется по формуле

$$k = \frac{E_1}{E_2}, \quad (1)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – значения энергии ЛИ, измеренные эталонными приемниками 3 и 4 соответственно, Дж.

При проведении поверки СИ энергии ЛИ из состава КККП оно устанавливается на место эталонного приемника 3 (рисунок 1). Подается импульс ЛИ, энергия которого находится в диапазоне измерений эталонного приемника. Вычисляется значение коэффициента преобразования по формуле

$$A_i = k \cdot \frac{E_j}{E_i}, \quad (2)$$

где  $E_j$  – значение энергии, измеренное поверяемым СИ, Дж;  $E_i$  – значение энергии, измеренное эталонным приемником, Дж.

Оценка относительного среднего квадратического отклонения результата измерений коэффициента преобразования  $S_A$  осуществляется по формуле

$$S_A = \frac{1}{\bar{A}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Результаты поверки считать положительными, если значение относительного среднего квадратического отклонения результата измерений коэффициента преобразования  $S_A$  не превышает значений, указанных в эксплуатационной документации на СИ ЛИ. Апробация предлагаемого метода проведена в месте эксплуатации КККП «Крона» и показала свою применимость на практике.

#### Библиографический список

1. Хатеев А.С., Мосолков Г.Ю. Состояние и перспективы развития парка средств измерений параметров лазерного излучения в области обороны и безопасности Российской Федерации // Материалы 14 Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации» / г. Кубинка, Московской области, 2022. – С. 272 – 273.

С. В. Луговский\*

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела

О. В. Гречкина\*

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела

\*ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛОГА ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Представлен новый алгоритм определения аналога объекта на основе анализа проектной документации. Алгоритм базируется на методах автоматической обработки текстовой информации, измерении информационной энтропии, критерии стохастического подобия.

**Ключевые слова:** объект испытаний, энтропийный анализ, аналог, стохастическое подобие, автоматическая обработка текстов, проектная документация.

S. V. Lugovskiy\*

Junior researcher of Research Department

O. V. Grechkina\*

Junior researcher of Research Department

\*FSAI «Military Innovation Technopolis «ERA»

## DETERMINATION OF AN OBJECT ANALOG BASED ON MEASURING THE INFORMATION ENTROPY OF THE PROJECT DOCUMENTATION

A new algorithm for determining the analogue of an object based on the analysis of project documentation is presented. The algorithm is based on methods of automatic processing of textual information, measurement of information entropy, criteria of stochastic similarity.

**Keywords:** test object, entropy analysis, analogue, stochastic similarity, automatic text processing, project documentation.

В настоящее время испытания требуют для их проведения значительных затрат временных и финансовых ресурсов. Например, стоимость проведения испытаний ракетно-космической техники составляют от 50 до 80 % общих затрат на ее разработку [1]. Поэтому в настоящее время наблюдается тенденция к сокращению продолжительности испытаний.

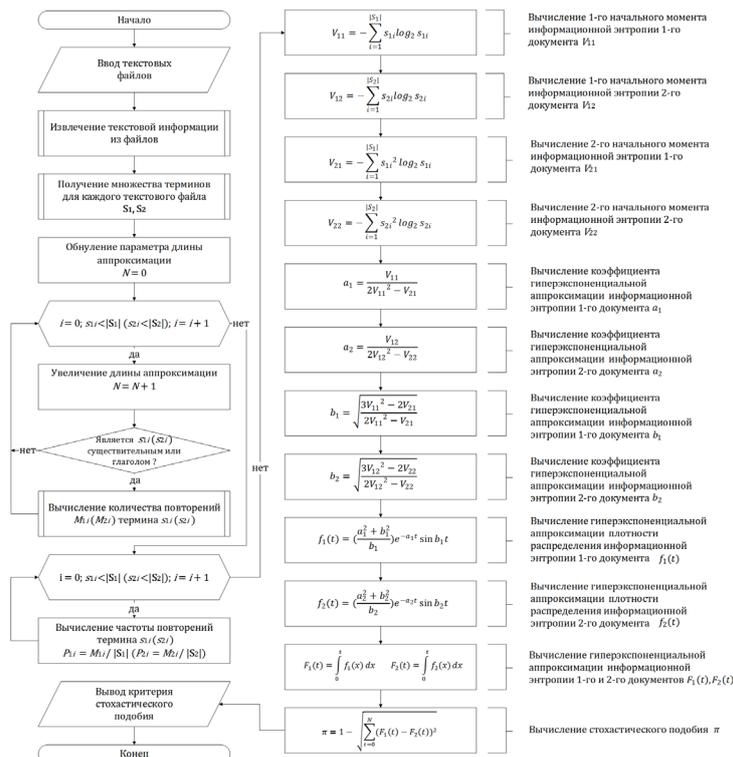


Рис. 1. Схема алгоритма определения аналога объекта

В сложившихся условиях для проведения испытаний актуальным становится использование методов и методик, основанных на теории подобия и моделирования [2]. Эти методы и методики позволяют определить аналог (физическую модель) исследуемого объекта для проведения над ним испытаний и переносом их результатов с учетом критериев подобия на оригинал.

Для сложных систем определить геометрическое, кинематическое и динамическое подобие не представляется возможным, поэтому в работе [3] предлагается метод, позволяющий установить стохастическое подобие на основе измерения информационной энтропии.

На основе указанного выше метода разработан новый алгоритм (рис. 1) определения аналога объекта на основе анализа проектной документации [4].

Данный алгоритм основан на методах автоматической обработки текстовой информации, энтропийного анализа, критерии стохастического подобия, и, в отличие от существующих, позволяет с наименьшей трудоемкостью определять степень соответствия объектов, что особенно критично при проверке соответствия сложных систем при ограниченном объеме испытаний.

#### **Библиографический список**

1. Лисейкин В. А. и др. Основы теории испытаний. Экспериментальная отработка ракетно-космической техники / под ред. В. К. Чванова. – М.: Машиностроение – Полет / Виарт Плюс, 2015. – 260 с.
2. Веников В. А., Веников Г. В. Теория подобия и моделирования: применительно к задачам электроэнергетики: учебник. Изд. 4-е. – М.: ЛИБРОКОМ, 2014. – 439 с.
3. Гусеница Я. Н. Метод оценивания стохастического подобия систем на основе энтропийного анализа // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – № 9–10 (111-112). – С. 13–17.
4. Бухарина О. В., Гусеница Я. Н., Луговский С. В. Алгоритм определения аналога объекта на основе анализа проектной документации // Информационные системы и технологии. 2023. № 1 (135). С. 13–19.

С. В. Луговский\*

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела

\*ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА, ЭМУЛИРУЮЩЕГО АДАПТИВНЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ФИЛЬТР

Рассматривается устройство подавления помех, разработанное на базе модели компьютерного эмулятора, которое обладает способностью разделять в сигнале периодические и случайные составляющие, когда их уровни сопоставимы. Исследованы особенности настройки и свойства данного устройства. Для оценки качества работы устройства написано программное приложение, эмулирующее адаптивный следящий фильтр.

**Ключевые слова:** адаптивная обработка сигналов, среднееквадратичное значение ошибки, LMS, периодические составляющие входного сигнала, широкополосный шум.

S. V. Lugovskiy\*

Junior researcher of Research Department

\*FSAI «Military Innovation Technopolis «ERA»

### EVALUATION OF THE QUALITY OF THE DEVICE EMULATING AN ADAPTIVE TRACKING FILTER

An interference suppression device is considered, developed on the basis of a computer emulator model, which has the ability to separate periodic and random components in a signal when their levels are comparable. The features of the configuration and properties of this device are investigated. To assess the quality of the device, a software application has been written that emulates an adaptive tracking filter.

**Keywords:** adaptive signal processing, RMS error, LMS, periodic components of the input signal, broadband noise.

Одной из актуальных задач цифровой обработки информации является обнаружение периодического сигнала низкого уровня на фоне случайных широкополосных помех. Компьютерная реализация адаптивных фильтров является весьма перспективным направлением цифровой обработки сигналов [1], однако их разработка требует методов, во многом отличных от метода проектирования фильтров с постоянными параметрами. В связи с этим был разработан эмулятор адаптивного устройства фильтрации шумовых помех. Для исследования качества адаптивного следящего фильтра и проверки работы эмулятора был проведен ряд экспериментов.

Моделирование проводилось с различными длинами адаптивного трансверсального фильтра (АТФ), а также со статически и динамически меняющимся параметром сходимости алгоритма адаптации. В случае с динамически меняющимся параметром сходимости алгоритма адаптации задавалась погрешность адаптации.

При программной реализации адаптивного следящего фильтра следует учитывать некоторые теоретические аспекты, касающиеся особенности настройки АТФ [2]. Сюда можно отнести ограничения, касающиеся параметра сходимости вектора весовых коэффициентов, а также точности алгоритма адаптации. Поэтому максимальная длина фильтра, использованная при анализе, была равна 500.

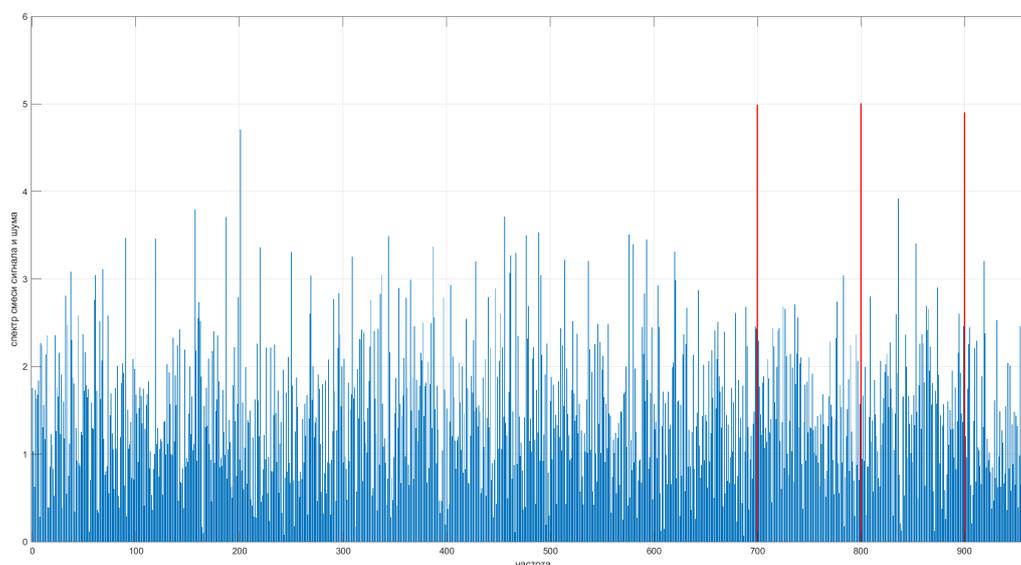


Рис. 1. Спектр суммы периодической составляющей и широкополосной помехи

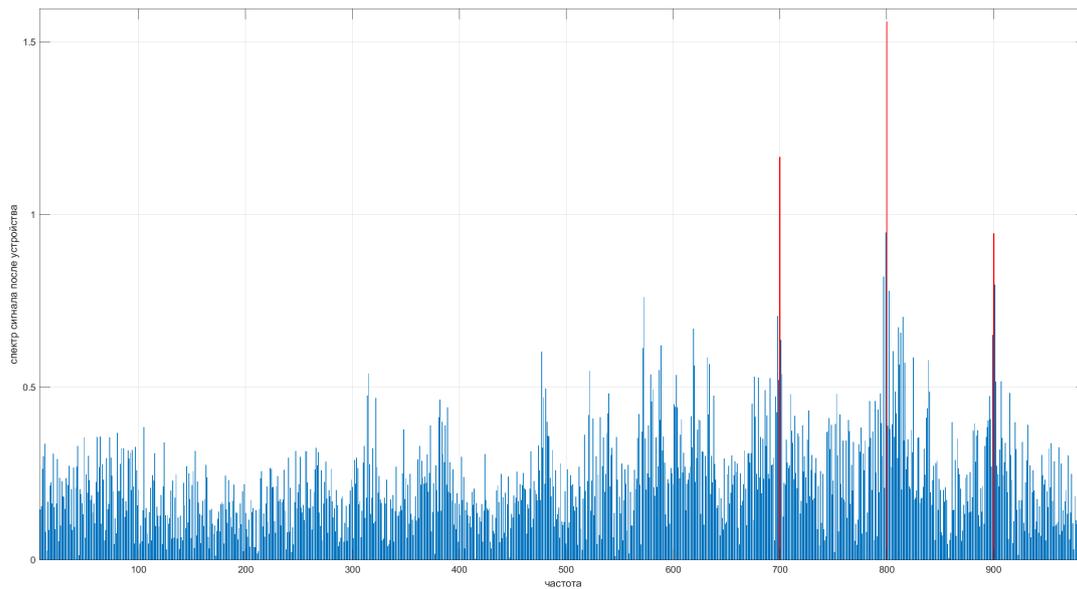


Рис. 2. Спектр сигнала после адаптивной фильтрации

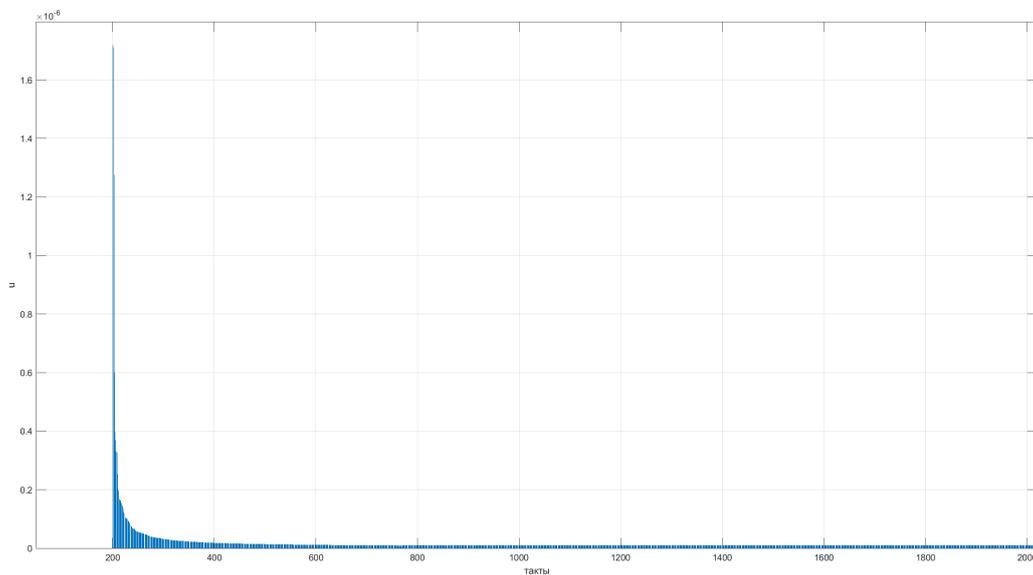


Рис. 3 Изменение параметра сходимости алгоритма адаптации

Эксперименты с компьютерным эмулятором показывают хорошие результаты шумоподавления, при этом глубина подавления шума с использованием адаптивного алгоритма фильтрации составляла от 0 до 24 дБ.

#### Библиографический список

1. Титков Б. В., Ткаченко В. В., Гусеница Я. Н., Луговский С. В. Адаптивное подавление помех в сигналах с измерительной информацией объектов контроля // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 11. С. 45–56.
2. Джиган В. И. Адаптивные фильтры и их приложения в радиотехнике и связи // Современная электроника. Часть 1. 2009. № 9. С. 56-63; Часть 2. 2010. № 1. С. 72-77. Часть 3. 2010. № 2. С. 70-74.
3. Гудкова Н. В. Цифровой прецизионный узкополосный фильтр // Современная электроника. 2010. № 7. С. 76–79.

*А. В. Мазур\**

начальник отдела, к. т. н.

*А. С. Вендин\*\**

инженер-конструктор

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

\*\*АО «Авиаавтоматика» им. В. В. Тарасова»

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКООМНЫХ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ ЛИТОГО МИКРОПРОВОДА

Рассмотрены результаты выполнения НИОКР по разработке высокоомных мер электрического сопротивления (ЭС). В качестве основных резисторов мер ЭС использованы резисторы на базе технологии отливки литого микропровода специального сплава.

**Ключевые слова:** меры ЭС, микропровод, температурный коэффициент сопротивления (ТКС), класс точности, метрологическая характеристика (МХ).

*А. V. Mazur\**

Head of Department, Ph.D. of Engineering sciences

*A. S. Vendin\*\**

Design Engineer

\*FSBI «MShC» of Russia Federation Ministry of Defense,

\*\*«Aviaavtomatika» named after V. Tarasov» JSC

## TECHNOLOGY FOR CREATING HIGH-RESISTANCE DC ELECTRICAL RESISTANCE MEASURES BASED ON CAST MICROWIRE

The considered results of the development of high-resistance measures DC resistance in the range of nominal values  $10^4$  to  $10^{10}$  Ohm. As the main resistors of the world resistance, resistors based on the technology of casting cast micro wires are used a special alloy with manganese silicon.

**Keywords:** high-resistance dc electrical resistance measures, micro wire, accuracy class.

В настоящее время повсеместно в нашей жизни используются электрические автономные системы и комплексы [1], обеспечивающие безопасность как при самом непосредственном производстве высокотехнологичного оборудования, так и для обеспечения требуемых условий производства.

Все эти системы и комплексы должны быть обеспечены соответствующими параметрами ЭС изоляции, которые контролируются при эксплуатации или при проведении технического обслуживания. Значения ЭС должны находиться в заданных диапазонах с требуемыми допусками отклонений значений ЭС. Для измерений ЭС изоляции используются СИ, такие как: мегаомметры, измерители ЭС изоляции, измерители RLC и др.

Парк эталонов, метрологически обеспечивающий вышеперечисленные СИ, существующих мер ЭС разработан в 70-90-х годах прошлого столетия, но в данный момент обладают МХ, соответствующими требованиям современных измерительных задач, так как были изготовлены с большим запасом по точности. Выпуск их отечественными производителями в настоящее время прекращен.

Сравнительный анализ МХ и технических характеристик существующих эталонов ЭС с иностранными аналогами показал, что они соответствуют современным требованиям измерительной техники (ИТ). При анализе и сравнении высокоомных мер ЭС использовались следующие МХ: класс точности, номинальное значение ЭС, номинальное напряжение, максимальное напряжение, ТКС [2], годовая нестабильность ЭС, погрешность передачи.

По результатам анализа были определены основные причины необходимости разработки высокоомных мер ЭС в диапазоне номинальных значений от  $10^4$  до  $10^{10}$  Ом.

В результате выполненных работ создана технология выпуска высокоомных мер ЭС на базе литого микропровода, но с отличающимися от существующих эталонов ЭС предыдущего поколения схемами построения высокоомных эталонов ЭС и сплавом микропровода. Создание мер ЭС основывалось на применении сплавов, имеющих следующие ТХ: большое удельное ЭС ( $0,43 - 0,48 \times 10^{-6}$  Ом·м), низкий ТКС (менее  $1 \times 10^{-5}$  K<sup>-1</sup>), малая термическая ЭДС. Разработанные меры ЭС положительно прошли государственные испытания в соответствии с программой и методиками испытаний. Утвержден тип СИ.

Таким образом, разработанные меры ЭС позволят метрологически обеспечить современные и перспективные образцы ИТ в части передачи единицы ЭС.

### Библиографический список

1. Мазур А. В. Основные проблемы передачи единицы электрического сопротивления от вторичного эталона рабочим эталонам в области обороны и безопасности и возможные пути их решения // Актуальные задачи военной метрологии: мат. XLIII научно-технической конференции молодых ученых – военных метрологов / Мытищи, 19.04.2018 – С. 88–91.
2. Мазур А. В. Метод повышения точности передачи единицы электрического сопротивления эталонам на основе переопределения температурных коэффициентов сопротивления в рабочем диапазоне температур // Вестник метролога. – 2022. – № 2. – С. 9–12.

*В. А. Матвеев\**

аспирант,

*А. М. Гареев\**

д.т.н., доцент

\*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

## О КАЧЕСТВЕ ПЕРЕВОЗКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Рассмотрены вопросы обеспечения качества транспортирования составных частей ракет-носителей (без классов опасности). С учётом основных показателей качества определены приоритетные направления исследований для оптимизации процессов перевозки.

**Ключевые слова:** качество, транспортировка ракет-носителей, условия перевозки, транспортировочные воздействия.

*V. A. Matveev\**

graduate student,

*A. M. Gareev\**

Dr. Sci. Tech., Associated Prof

\*Samara National Research University

## ABOUT LAUNCH VEHICLES TRANSPORTATION QUALITY

The issues of ensuring the quality of transportation of components of launch vehicles (without hazard classes) are considered. Taking into account the main quality indicators, priority areas of research for optimizing transportation processes have been identified.

**Keywords:** quality, transportation of launch vehicles, transportation conditions, transportation impacts

Транспортные системы всегда работают в контексте внутренней и внешней неопределенности, обусловленной большим числом параллельно взаимодействующих объектов и человеческим фактором. При организации перевозок ракет-носителей особенности условий транспортировочного процесса и перевозимых грузов в обязательном порядке должны учитываться для обеспечения необходимого уровня качества доставки. При этом перевозка ракет-носителей является неотъемлемым процессом любой космической пусковой кампании из-за отдалённости расположения стартовых комплексов космодромов от производственных площадок заводов-изготовителей [1].

Документ [2] определяет для всех видов транспорта три группы показателей качества: своевременность перевозки, сохранность груза и экономические показатели (в том числе и для проведения научно-исследовательских работ, направленных на повышение качества транспортных услуг и эффективности перевозочного процесса). Если рассматривать группы показателей качества перевозки применительно к ракетно-космической технике, то с учётом уникальности и высокой стоимости изделий при поиске компромиссного варианта ранжирование по приоритету будет следующее (начиная с самой важной): первое – сохранность груза (другими словами – сохранность работоспособности), второе – своевременность перевозки (доставка в требуемый срок), третье – экономические показатели (стоимость перевозки).

По причине невысоких значений по жёсткости корпусных элементов при перевозке блоков ракет-носителей необходимо обеспечивать неперевышение уровня транспортировочных перегрузок и надёжное закрепление груза к транспортному средству, одновременно исключая появление недопустимых напряжений в конструкции груза и обеспечивающее свободу термических расширений корпуса [3].

Для подтверждения качества процесса транспортирования выполняется регистрация условий перевозки ракет-носителей в составе транспортировочного оборудования специальными автономными системами, записывающими данные по температуре, влажности, давлению и ударным воздействиям (перегрузкам). Однако вопрос контроля выполнения требований по надёжной фиксации груза с исключением повреждения от крепления и возможностью термических перемещений корпуса такими системами не охватывается. Проверки узлов крепления, как например в [4], проводятся вручную специалистами.

В связи с этим, задача автоматизации управления и контроля средств крепления является актуальной, что позволит улучшить все три показателя качества: сохранность за счёт своевременного реагирования, своевременность путём исключения остановок для проверок и снижение затрат на привлечение сопровождающих специалистов. С целью повышения качества и оптимизации транспортных процессов при перевозках ракетно-космической техники целесообразно проведение дальнейших исследований в направлении работ для моделирования автоматической системы управления средствами крепления.

### Библиографический список

1. Белоусова, Е. А. Управление транспортным обеспечением объектов ракетно-космического назначения : автореферат диссертации Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.05 -Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами – транспорт) / Е. А. Белоусова . – Москва : 2014. – 22 с.
2. ГОСТ Р 51005-96 Услуги транспортные. Перевозки грузов. Номенклатура показателей качества [Эл. ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006075>.
3. Бирюков Г.П., Манаенков Е.Н., Левин Б.К. Технологическое оборудование отечественных ракетно-космических комплексов: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.С. Фадеева, А.В. Торпачева. – М.: Рестарт, 2012. – 600 с.
4. Загидуллин, Р. С. Анализ и повышение качества технологии автомобильной транспортировки изделий ракетно-космической техники / Р. С. Загидуллин // Исследования и перспективные разработки в машиностроении : Матер. VII науч.-прак. конф. мол. уч. и спец., Комсомольск-на-Амуре, 22–23 сентября 2022 года / Отв. редактор Р.А. Физулаков. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 33–42.

*П. А. Мотлич\**

к. т. н., начальник лаборатории

*А. И. Печатнова\**

младший научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Предложен основанный на использовании уравнений динамики полета метод восстановления перегрузки беспилотного летательного аппарата в условиях ограничения разрядной сетки.

**Ключевые слова:** комплексная обработка информации, погрешности измерений.

*P. A. Motlich\**

Ph.D. Tech., head of laboratory

*A. I. Pechatnova\**

junior researcher

\*FSBI «MSMC» of Ministry of Defense of the Russian Federation

## DRONE OVERLOAD RECOVERY METHOD

It is proposed drone overload recovery method based on the use of flight equations under conditions of limiting a discharge grid.

**Keywords:** complex information processing, measurement errors.

При измерениях проекций перегрузки беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в ряде случаев появляются погрешности, обусловленные, например, ограниченностью разрядной сетки.

Предлагается подход, позволяющий с высокой точностью получить оценки значений проекций перегрузки используя результаты измерений углов ориентации БПЛА (из навигационной системы) и проекций скорости в земной системе координат, выполняемые навигационной системой (спутниковой или инерциальной). С помощью комплексной обработки бортовой измерительной информации возможно получить значения перегрузок, искаженных указанными погрешностями. При этом, подход универсален и применим даже в случаях отказов датчиков перегрузок, так как результаты измерений перегрузок, а также тип погрешности в нем не используются.

Суть метода состоит в последовательном выполнении ряда операций:

численного дифференцирования измеряемых навигационной системой скоростей с последующим определением проекций ускорений в земной нормальной системе координат;

умножения рассчитанных проекций ускорений на матрицу перехода от земной нормальной к связанной системе (в функции от углов Эйлера), расчета проекций ускорений на оси связанной системы координат;

вычитания из полученных проекций ускорений проекций силы тяжести, учитывая ускорения силы тяжести, вычисления оценок проекций перегрузок в связанной системе (рассчитанных по углам ориентации и скоростям, полученным от навигационной системы).

В результате получим восстановленные сигналы перегрузок.

Следует отметить, что при применении операции численного дифференцирования возникают шумы. Кроме того, имеют место погрешности измерений угла рыскания, а также других углов ориентации. Для их исключения необходимо дополнительно использовать модель измерений. В этом случае в качестве измерений предлагается использовать искаженные шумами результаты измерений перегрузок. С помощью методов параметрической идентификации определяются оценки погрешностей [1].

С целью автоматизированного восстановления перегрузок, оценки погрешностей измерений и графического представления данных разработан комплекс программного обеспечения, реализующий предлагаемый метод. Работоспособность метода и комплекса программного обеспечения подтверждена обработкой большого объема экспериментальных данных.

Таким образом, метод, заключающийся в применении математической модели движения БПЛА, позволяет осуществлять восстановление перегрузки и рассчитывать соответствующие погрешности измерений при искажениях, обусловленных ограниченностью разрядной сетки.

### Библиографический список

1. Morelli E. A., Klein V. Aircraft System Identification. Theory and Practice. – Lulu.com, 2016. – 605 p.

*И. А. Никитина\**

К. Т. Н., С. Н. С.

*И. А. Талалай\**

Н. С.

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В МЕТРОЛОГИИ

Представлены результаты анализа плана импортозамещения средств измерений.

**Ключевые слова:** средства измерений, импортозамещение, план, виды измерений.

*I. A. Nikitina\**

Cand. Sc.

*I. A. Talalay\**

\*FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation

## IMPORT SUBSTITUTION IN METROLOGICAL

The results of analysis of plan for import substitution of measuring instruments are presented.

**Keywords:** measuring instruments, import substitution, action plan, types of changes.

После очередной и самой мощной волны санкций 2022 года, в России изменилась мотивация для проведения политики импортозамещения. В настоящее время она ориентирована на устойчивость экономики и технологический суверенитет, что предполагает разработку индивидуальной политики импортозамещения для каждой отрасли с учетом имеющихся ресурсов и на основании оценки зависимости от импорта.

Планирование импортозамещения средств измерений (СИ) начинается с оценки зависимости от импорта области государственного регулирования обеспечения единства измерений, в которую входят 19 видов деятельности, в том числе, при определенных условиях [1], область обороны и безопасности государства.

В 2022 году впервые утвержден План по импортозамещению СИ на период до 2024 года [2] (далее – План импортозамещения), сформированный на основе оценки зависимости гражданских отраслей промышленности от импортных СИ и с использованием данных перечня СИ отечественного производства, аналогичных СИ импортного производства (далее – перечень Минпромторга России) [3]. В перечне включались СИ утвержденного типа, сведения о которых содержатся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ).

По завершению срока реализации мероприятий, предусмотренных документом [2], был проведен анализ номенклатуры СИ, включенных в План импортозамещения по видам измерений, анализ планируемой доли отечественных СИ по видам измерений. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Зависимость от импорта оценена весьма приблизительно (по объективным причинам обусловленным, в том числе, широкой областью применения СИ и многообразием измерительных задач), детализация ограничена наименованием СИ, что уменьшает вероятность разработки отечественных СИ с требуемыми характеристиками, способных заменить импортные. Например, в План импортозамещения не включены дальнометры лазерные при полном отсутствии отечественных аналогов и при наличии потребности в СИ. Потребность определена на основании данных ФИФ и методом отбора СИ близких по назначению и имеющих актуальные сроки действия утверждения типа. Так дальнометры лазерные в ФИФ представлены 22 типами СИ иностранного производства с действующими сроками утверждения типа. В отличие от анализаторов кремния, включенных в План импортозамещения и представленных в ФИФ, на момент формирования плана, 1 типом СИ иностранного производства (регистрационный номер 22388-01) со сроком действия утвержденного типа до 01.01.2007. Существенное уменьшение доли импорта, при анализе Плана импортозамещения по видам измерений, планируется в области радиотехнических и радиоэлектронных измерений (17,8%), измерений геометрических величин (16%), измерений электрических и магнитных величин (13,3%), что соотносится с высокой потребностью в замещении иностранных СИ данных видов измерений.

### Библиографический список

1. Храменков В. Н., Щеглов В. А. Нормативные правовые основы отнесения измерений в область обороны и безопасности государства и при выполнении государственного оборонного заказа к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений // Вестник метролога, №1, 2023. С. 3–4.
2. Приказ Минпромторга России от 01.04.2022 № 1189 (ред. от 09.08.2022) «Об утверждении Плана мероприятий по импортозамещению измерительного, в том числе метрологического, оборудования на период до 2024 года». М., 2022.
3. «Перечень средств измерений отечественного производства, аналогичных средствам измерений импортного производства», № 10-316 от 31.05.2019, № АБ-46 от 03.09.2020.

*А. А. Осина\**

старший научный сотрудник

*А. А. Решетников\**

старший научный сотрудник, к.т.н.

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## ВТОРИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ СВЕРХМАЛЫХ УРОВНЕЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрены составные части вторичного эталона единиц средней мощности и энергии сверхмалых уровней лазерного излучения и его роль в метрологическом обеспечении средств измерений низкоуровневого лазерного излучения

**Ключевые слова:** эталон, лазерное излучение, мощность, энергия.

*A. A. Osina\**

senior researcher

*A. A. Reshetnikov\**

senior researcher, Ph.D. of Engineering sciences

\*FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry of Defense

## SECONDARY STANDARD OF AVERAGE POWER UNITS AND ENERGY ULTRA-LOW LEVELS OF LASER RADIATION

The composition and principles of the secondary standard of average power units and energy ultra-low levels of laser radiation are considered, and the tasks it solves are also listed

**Keywords:** standard, laser radiation, power, energy.

В настоящее время в медицине, навигации, связи, при проведении научных исследований находят применение лазеры с нижним диапазоном воспроизводимых значений мощности и энергии лазерного излучения от  $10^{-10}$  Вт и от  $10^{-10}$  Дж соответственно [1]. Для контроля параметров данных лазеров применяются средства измерений метрологическое обеспечение которых базируется на вторичном эталоне единиц средней мощности и энергии сверхмалых уровней лазерного излучения (далее по тексту – вторичном эталоне).

В состав вторичного эталона входят стационарные и транспортируемые комплекты сверхмалых уровней мощности и энергии лазерного излучения. Стационарные комплекты вторичного эталона состоят: из аппаратуры для получения и хранения единицы средней мощности сверхмалых уровней лазерного излучения или энергии сверхмалых уровней лазерного излучения, соответственно, аппаратуры передачи лазерного излучения, комплекта источников излучения, устройства управления и обработки измерительной информации. Транспортируемые комплекты включают в себя аналогичные части за исключением источников излучения.

Номенклатура средств измерений, поверяемых на вторичном эталоне: ваттметры оптические Max-TOP с сенсорами LM-2 VIS (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – рег. №) 51749-12); преобразователи лазерного излучения измерительные пироэлектрические серии PE (рег. № 69171-17); преобразователи измерительные фотоэлектрические лазерного излучения PD10, PD10-pJ и PD10-IR-pJ (рег. № 48395-11); преобразователи измерительные фотоэлектрические ЛИ PD300, PD300-R, PD300-1W, PD300-3W, PD300-R-3W, PD300-UV, PD300-R-UV, PD300-TP, PD300-IR, PD300-R-IR, PD300-IRG, PD300-BB (рег. № 48394-11); преобразователи измерительные термоэлектрические лазерного излучения 3A, 3A-P, 3A-FS, 3A-P-FS-12 (№ 48393-11); фотометры лазерные наносекундные ФН-М (рег. № 10024-85) [2].

Таким образом, вторичный эталон совместно с Государственным первичным специальным эталоном ГЭТ 187-2016 ФГБУ «ВНИИОФИ» осуществить метрологическое обеспечение средств измерений низкоинтенсивного лазерного излучения.

### Библиографический список

1. Вышлов В. А., Плотников А. В., Надеин В. В. Вопросы развития и совершенствования технологических процессов в области лазерной, оптической и оптоэлектронной техники ведущих предприятий России // Вестник метролога – 2019. № 1. С. 29–31.
2. Хатеев А. С., Мосолков Г. Ю. Состояние и перспективы развития парка средств измерений и параметров лазерного излучения в области обороны и безопасности в Российской Федерации. // Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации – 2022. С. 272–273.

*О. Н. Панамарева\**

кандидат экономических наук, доцент  
ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа  
e-mail: [era\\_1@mil.ru](mailto:era_1@mil.ru)

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИННОВАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Обозначена роль цифрового двойника системы систем мезоэкономического уровня как одной из трех составляющих базиса механизма цифровой трансформации экономики. Предложен алгоритм оценки качества профессионального тезауруса, рассматриваемого в качестве инструмента интеллектуализации цифрового двойника сложной организационно-технической системы.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, оценка качества, профессиональный тезаурус, национальная экономическая безопасность.

*O. N. Panamareva\**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor  
Military Innovativ Technopolis «ERA», c. Анапа  
e-mail: [era\\_1@mil.ru](mailto:era_1@mil.ru)

## ESTIMATION OF THE QUALITY OF AN INNOVATIVE TOOL FOR INTELLECTUALIZING THE DIGITAL TWIN OF A COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM

The role of the digital twin of the system of systems at the mesoeconomic level is outlined as one of the three components of the basis of the mechanism of digital transformation of the economy. An algorithm for assessing the quality of a professional thesaurus, considered as a tool for intellectualizing the digital twin of a complex organizational and technical system, is proposed.

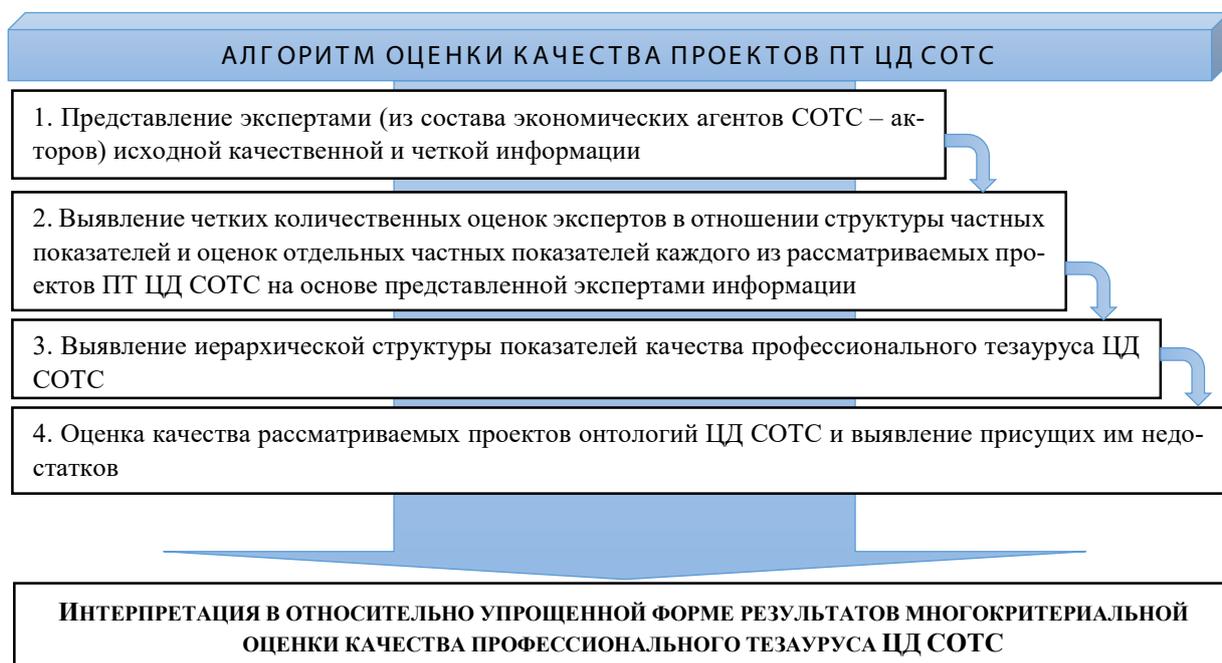
**Keywords:** digital transformation, quality assessment, professional thesaurus, national economic security.

Цифровая трансформация (ЦТ) сложных организационных систем (СОТС), исследование ее сущности и разработка действенных механизмов ее реализации – достаточно злободневные и дискуссионные вопросы [1 – 9]. В докладе [8] и более ранних работах автора раскрыты основные проблемы ЦТ в России, предлагается осуществлять их решение, отталкиваясь от уровня динамичных гетерогенных организационно-технических систем – мезоэкономического уровня. Это обеспечит реализацию сквозного (пронизывающего социально-экономические отношения нано-, микро-, макро- и мега- экономических уровней) адаптивного, построенного на постоянно обновляющейся инновационной основе, механизма ЦТ, обеспечивающего национальную экономическую безопасность, ускорение территориального развития и устойчивое социально-экономическое развитие государства, в целом. Ввиду усложняющихся межакторных отношений, действия гибридных экзогенных и эндогенных угроз, развития технологий 5-ого и 6-ого технологических укладов, утраты жизнеспособности принципов и инструментов рыночной экономики, неэффективности программно-целевой модели управления развитием экономикой, роста значимости знаний и человеческого потенциала, необходимости защиты технологического суверенитета и обеспечения в условиях гибридных угроз и рисков национальной экономической безопасности на долгосрочную перспективу и ряда других факторов, в качестве системообразующих составляющих механизма ЦТ целесообразно рассматривать: 1) цифровые двойники стейкхолдеров, интегрированные в единый интеллектуальный цифровой двойник СОТС регионального уровня; 2) платформу-интегратор – распределенные геоинформационные системы ГИС; 3) технологии искусственного интеллекта (ИИ) как аналитический и системосовершенствующий инструмент, являющийся ядром единой аналитико-инфокоммуникационной среды СОТС.

Важным аспектом, определяющим действенность обозначенного механизма, является первостепенное решение вопроса о его интеллектуализации. Интеллектуализацию ЦД СОТС можно осуществить с помощью механизмов двух основных типов: первый тип основан на применении известных технологий искусственного интеллекта (ИИ) (в т. ч.: технологий экспертных систем, агентно-ориентированных систем (многоагентных систем), распознавания и синтеза речи, технического зрения, инженерии знаний); второй тип – на формировании интеллектуальных систем, позволяющих решать комплексные задачи. В исследовании сделан упор на развитии механизмов интеллектуализации управления СОТС второго типа. В качестве инструмента интеллектуализации предлагается использование профессионального тезауруса (ПТ) ЦД СОТС. В этом случае ключевым становится оценка качества разрабатываемого ПТ ЦД. Единых стандартов как разработок, самой структуры, так и его оценки на сегодня нет, поскольку вопросы промышленных ЦД только недавно получили некоторую регламентацию [10], а в области ЦД СОТС, ввиду сложностности и многофакторности вопроса, имеются лишь отдельные попытки формирования знания.

Под системой показателей оценки качества профессионального тезауруса ЦД СОТС следует понимать иерархическую структуру частных (элементарных и групповых) показателей, характеризующих отдельные свойства ПТ ЦД СОТС и обуславливающих ее пригодность в отношении целей мониторинга, анализа и управления

территориально-экономическими процессами СОТС мезоуровня. Качество ПТ ЦД СОТС целесообразно оценивать на основе комплексного показателя, являющегося единственным и наивысшим по уровню иерархии групповым показателем, не являющимся частным в отношении любого из рассматриваемых показателей. Процедуру оценки качества проектов ПТ ЦД СОТС необходимо проводить по алгоритму, представленному на рисунке ниже.



*Алгоритм оценки качества проектов пт цд сотс*

При оценке качества ПТ ЦД СОТС (представленного в работе [11] в виде комплекса конкретизированными ПТ, профессиональными тезаурусами исследуемых областей и единым обобщенным профессиональным тезаурусом ЦД системы систем (СС)) следует учитывать в первую очередь, что данный инновационный инструмент (в контексте сущности ЦТ) должен рассматриваться как адаптивное, динамично саморазвивающееся средство, позволяющее обеспечить интеллектуализацию ЦД СОТС мезоэкономического уровня для целей повышения эффективности автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений, позволяющей реализовать программно-прогностическую модель управления экономикой. Выбор оптимального проекта ПТ для ЦД СОТС – залог обеспечения действенности и эффективности интеллектуализации ЦД СС, а следовательно, и осуществления ЦТ экономики России. Реализация обозначенных мер позволит сформировать эффективную и безопасную единую аналитико-информационную среду, отвечающую унифицированным согласованным стандартам измерения и качества; что в последствии внесет существенный вклад в обеспечение информационной и экономической региональной и национальной безопасности, а также – конкурентного преимущества на арене многополярного мира. Разработка проблематики формирования и развития научно-методологического аппарата интеллектуализации ЦД сложных гетерогенных организационно-технических систем мезоуровня, функционирующих на стыке интересов экономических акторов (гражданских и силовых), а также – методики детальной оценки качества составляющих механизма ЦТ СОТС такого рода (включающей предложенный алгоритм оценки ПТ) – достаточно актуальная научно-практическая задача, требующая дальнейшей проработки.

#### **Библиографический список**

1. Барометр отрасли: цифровая трансформация экономики. URL: <https://transportforum.ru/index#program> (дата обращения: 12.12.2023).
2. Гао Ц. Цифровая трансформация экономики в Китае // Финансовый бизнес. – 2023. – № 8 (242). – С. 247–250.
3. Международный форум «Цифровая транспортация» 19 декабря 2023 г. Москва, Кластер «Ломоносов». URL: <https://transportforum.ru/index#program> (дата обращения: 12.12.2023).
4. Мурадова А. О., Серхенов М. Э., Рахманов М., Оразмаммедов М. Цифровая экономика: искусственный интеллект и будущее цифровой экономики // Матрица научного познания. – 2023. – № 9–1. – С. 251–253.
5. Назаров Д. М. Экономика 2.0: неоклассика, цифровая трансформация и эволюционная экономика // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2023. – № 4 (142). – С. 7–16.
6. ПНСТ 791-2022 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Качество модели (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 ноября 2022 г. N 105-пнст, введен в действие 01.01.2023 г.). – М.: Российский институт стандартизации. – 2022. – 10 с.

7. Сулимин В. В., Шведов В. В. Цифровая трансформация экономики: возможности, вызовы и перспективы в эпоху постпандемии // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8. – № 6.
8. Панамарева О. Н. Цифровая экономика или цифровая трансформация – ключевой фактор развития сложных организационно-технических систем? // Программа национальной научно-практической конференции «Механизмы обеспечения устойчивого функционирования транспортного комплекса Юга России» 16-17 ноября 2023 года. – 2023. – С. 21.
9. Панамарева О. Н. Обоснование необходимости нового механизма обеспечения национальной экономической безопасности в контексте гибридных угроз и цифровой трансформации // Вестник Московского финансово-юридического университета. – 2023. – № 4. – С. 9 – 24.
10. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТР 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Москва: Российский институт стандартизации. – 2021. – 15 с.
11. 11. Панамарева О. Н. Концепция профессионального тезауруса как инструмента интеллектуализации геоинформационной системы сложноорганизационного территориального объекта // Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции: Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Геоинформационные платформы военного назначения». – Анапа. – ВИТ «ЭРА». – 2021. – С. 152. – 166.

*А. А. Пармонов\**

к.т.н.,

*Е. А. Тараскин\**

старший оператор 1 научной роты

*И. С. Щетинин\**

старший оператор 1 научной роты

\*ФГАУ «ВИТ «ЭРА»

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Предлагается метод измерения разности фаз гармонических сигналов с применением линейной интерполяции выборок аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Рассмотрены погрешности данного метода, в частности, построены зависимости методической ошибки от отношения частоты дискретизации к частоте сигнала.

**Ключевые слова:** погрешность измерения, разность фаз, линейная интерполяция.

*A. A. Paramonov\**

Ph.D. of Engineering Sciences,

*E. A. Taraskin\**

senior operator of the 1st scientific company,

*I. S. Shetinin\**

senior operator of the 1st scientific company,

\*FSAI «Military Innovative Technopolis «ERA»»

## EVALUATION OF THE ERRORS OF MEASURING THE PHASE DIFFERENCE BY THE METHOD OF LINEAR INTERPOLATION

A method is proposed for measuring the phase difference of harmonic signals using linear interpolation of analog-to-digital conversion (ADC) samples. The choice of the error of this method, in particular, the construction of the dependence of the methodological error on the ratio of the sampling frequency to the signal frequency.

**Keywords:** measurement error, phase difference, linear interpolation.

В настоящее время измерение разности фаз остается важной задачей радиотехники и радиофизики [1, 2]. Известны различные способы ее решения – осциллографический метод [3], метод измерения разности фаз фазовыми детекторами [4], метод преобразования фазового сдвига в напряжение [4] и другие. Однако использование цифровой реализации большинства известных методов затруднительно для высокочастотных (ВЧ) сигналов.

При возникновении необходимости измерения разности фаз двух ВЧ гармонических сигналов использование в качестве фазового детектора логического элемента «исключающее ИЛИ» с предварительно включенным компаратором исключается, так как применение указанных элементов ограничено частотой сигналов. Применение балансного смесителя привело бы к необходимости реализации перемножения сигналов с последующей фильтрацией с помощью фильтра нижних частот, что также нецелесообразно.

Предлагается метод измерения разности фаз с помощью высокоскоростного двухканального АЦП, который заключается в следующем: сигналы оцифровываются и по выборкам с линейного участка, в качестве которого принят момент перехода гармонического сигнала из положительной области в отрицательную, строятся прямые, а затем находятся точки пересечения этих прямых с осью ОХ, расстояние между которыми ( $\Delta t$ ) и является фазовым сдвигом (рис. 1).

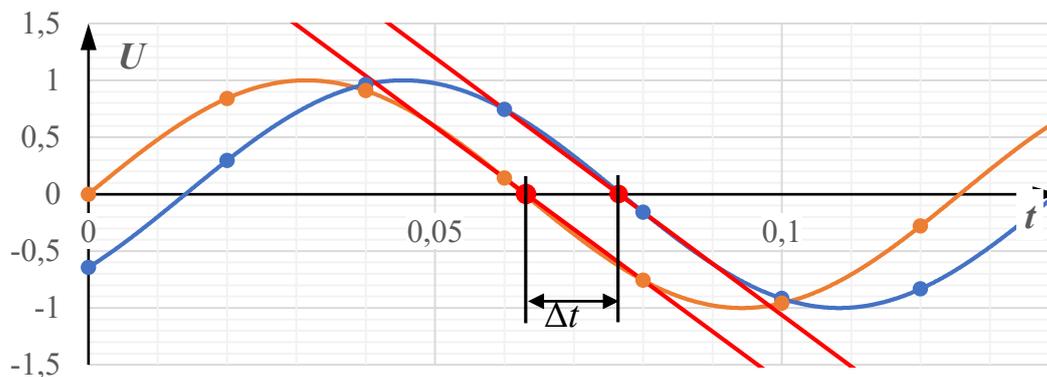


Рис. 1. Измерение разности фаз методом линейной интерполяции

Погрешность измерения разности фаз предложенным методом обусловлена обработкой дискретных значений (выборок), а не непрерывных сигналов. Она определяется числом выборок сигнала и разрядов АЦП и уменьшается с ростом этих параметров [5].

Большинство современных АЦП имеют разрядность 12 бит (что соответствует разрешающей способности 0,0244%) и выше, поэтому ошибка, обусловленная разрядностью, не является существенной и ее можно не учитывать.

Для определения погрешности, вызванной ограниченностью числа выборок, проведен эксперимент. Осуществлялась дискретизация двух синусоидальных сигналов одинаковой амплитуды и частоты, затем методом линейной интерполяции, описанным выше, определялись значения фазового сдвига для нескольких периодов сигнала. За результат принималось среднее арифметическое полученных значений, которое и сравнивалось с известным фазовым сдвигом. Зависимость максимальной ошибки от отношения частоты дискретизации к частоте сигнала представлены на рисунке 2.

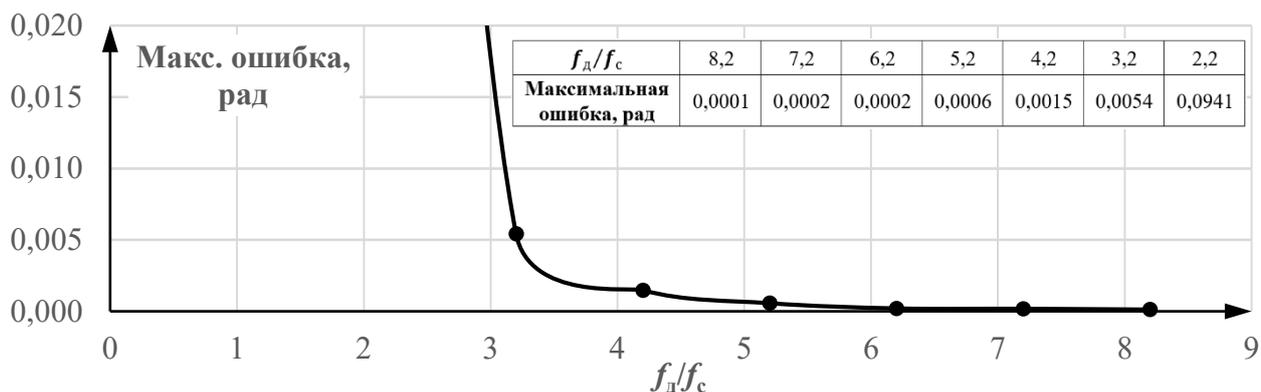


Рис. 2. Зависимость максимальной ошибки от отношения частоты дискретизации к частоте сигнала

Результаты проведенного эксперимента показали, что погрешность определения разности фаз, действительно, зависит от числа выборок сигнала (уменьшается с увеличением их количества) и для проведения измерений предложенным методом с высокой точностью необходимо, чтобы число выборок в периоде гармонического сигнала было не менее 4.

Следует отметить, что приведенные вычисления проводились для идеальных сигналов. При проведении реальных измерений будут присутствовать шумы, вносящие дополнительные погрешности.

#### Библиографический список

1. Гусеница Я. Н., Назаров А. В., Покотило С. А. Обзор исследований, проводимых в Технополисе «ЭРА» в области разработки фотонных технологий // Сборник статей I научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». – ВИТ «ЭРА», 2022, Т. 2, С. 296–303.
2. Дамдинова Д. Б., Полетаев А. С., Ченский А. Г. Сравнение точности методов вычисления разности фаз квазигармонических сигналов // Вестник СибГУТИ. 2017. №2 (38).
3. Данилин А. А. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА РАДИОИЗМЕРЕНИЙ» (электронный вариант). Измерение фазового сдвига. – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 2022. URL: <http://kepstr.eltech.ru/tor/mri/lab4.pdf> (дата обращения: 09.01.2023).
4. Лемберг К. В. Метрология и радиоизмерения. Лекция 10. Измерение фазовых сдвигов. – Сибирский федеральный университет, 2016. URL: [http://svch.sfu-kras.ru/files/lekciya\\_10\\_izmerenie\\_fazovyh\\_sdvigov.pdf](http://svch.sfu-kras.ru/files/lekciya_10_izmerenie_fazovyh_sdvigov.pdf) (дата обращения: 09.01.2023).
5. Аксененко В.Д., Аксененко Д.В. Цифровая обработка сигналов при определении разности фаз. – Доклады 4-й Международной Конференции DSPA-2002 (Том 2), № 25. – ЗАО АВТЭК Санкт-Петербург, 2002. URL: [http://www.autex.spb.su/download/dsp/dspa/dspa2002/tom2\\_25.pdf](http://www.autex.spb.su/download/dsp/dspa/dspa2002/tom2_25.pdf) (дата обращения: 09.01.2023).

*А. А. Пармонов\**

К. Т. Н.

*И. С. Щетинин\**

ст. оператор

\*Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ В СХЕМЕ РАДИОФОТОННОГО ПЕЛЕНГАТОРА

Математически описан способ измерения разности фаз высокочастотных синусоид, основанный на перемножении сигналов. Предложен способ повышения точности измерения разности фаз пеленгатором на оптических компонентах, описаны особенности функциональной схемы.

**Ключевые слова:** измерения, фаза, радиофотоника, электрооптический модулятор Маха-Цендера, КВЧ, СВЧ, фазовая радиопеленгация.

*A. A. Paramonov\**

Ph. D.

*I. S. Shchetinin\**

Sr. operator

\*Military innovative technopolis "ERA", Anapa

## ON THE ISSUE OF IMPROVING THE ACCURACY OF MEASURING THE PHASE DIFFERENCE IN THE SCHEME OF A RADIO-PHOTON DIRECTION FINDER

A method for measuring the phase difference of high-frequency sinusoids based on multiplication of signals is mathematically described. A method for increasing the accuracy of measuring the phase difference by a direction finder on optical components is proposed, and the features of the functional scheme are described.

**Keywords:** measurements, phase, radio photonics, Mach-Zehnder modulator, SHF, EHF, phase direction finding.

В настоящее время обработка крайне высоко частотных (КВЧ) и сверхвысоко частотных (СВЧ) сигналов является одной из актуальных задач. Увеличение применяемой частоты расширяет возможности передачи данных, уменьшение длины волны – разрешение радиолокационных изображений. Поскольку обработка СВЧ и КВЧ сигналов на полупроводниковых элементах ограничена их полосой пропускания, возникает необходимость применения фотонных технологий, которые позволяют обрабатывать сигналы, имеющие частоту сотни гигагерц. [1]. Одной из важных задач является нахождение разности фаз между сигналами, имеющими частоту в гигагерцовом диапазоне, например, при фазовой радиопеленгации. В работе [2] подробно описана функциональная схема и приведена ее техническая реализация. Ее особенностью является использование оптического источника лазерного излучения и электрооптических модуляторов Маха-Цендера (ЭОММЦ) вместо гетеродина и модуляторов.

Фазовый метод пеленгации основан на зависимости разности фаз сигналов, принимаемых антеннами, от направления прихода электромагнитных волн, излучаемых источником. То есть для определения этого направления необходимо измерить разность фаз между принимаемыми сигналами разных каналов. Сигнал на выходах последовательно соединенных ЭОММЦ состоит из двух одинаковых частот различных по фазе как и при гетеродинировании. Поскольку частоты перемножаемых сигналов одинаковые, то новые частоты, получаемые из разности и суммы, являются нулевой и удвоенной соответственно. Проведя преобразование произведения синусов двух углов, получим:

$$\sin(\omega t) \times \sin(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} [\cos(\varphi) - \cos(2\omega t + \varphi)]. \quad (1)$$

Таким образом, образованный сигнал содержит постоянную составляющую, являющуюся функцией от амплитуд входных синусоид и их разности фаз. Однако, существует неопределенность знака разности фаз, поскольку функция косинуса является четной. Поэтому однозначное определение пеленга возможно только в диапазоне  $180^\circ$ , что требует обязательного учета.

Для реализации математической операции (1) в рассматриваемой схеме обработки сигналов предлагается применение модулятора и фильтра низких частот (ФНЧ), который позволит избавиться от высокочастотных составляющих. Таким образом, на выходе ФНЧ формируется сигнал функционально зависящий от фазы, который далее можно обработать с помощью АЦП высокой разрядности. Оцифрованный сигнал доступен для компьютерной обработки и оценки искомой разности фаз между анализируемыми синусоидами. Поскольку результирующий сигнал после перемножения является зависимым от амплитуд, то для определения их значений требуется применение детекторов мощности.

Для реализации умножения сигналов амплитудный модулятор лазерного излучения с линейной характеристикой и два ЭОММЦ в режиме Q+ включены последовательно и обеспечивают нахождение рабочей точки на линейных участках передаточной функции, которая описывается выражением:

$$I_{out} = T_{mod} \frac{I_{in}}{2} \left[ 1 + \sin \left( \frac{\pi}{V_{\pi}} V(t) \right) \right]. \quad (2)$$

где  $I_{out}(t)$  – интенсивность выходного излучения;  $I_{in}(t)$  – интенсивность входного излучения;  $T_{mod}$  – коэффициент передачи модулятора;  $V_{\pi}$  – полуволновое напряжение модулятора.

Поскольку в схеме ЭОММЦ соединены последовательно [2], интенсивность дважды промодулированного оптического сигнала на выходе второго ЭОММЦ можно представить выражением:

$$I_{out2} = T_{mod}^2 \frac{I_{in}}{4} \left[ \underbrace{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{V_{\pi}} \right)^2 A_1 A_2 \cos(\varphi)}_{\Omega=0} + \underbrace{\frac{\pi}{V_{\pi}} (A_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(\omega t + \varphi))}_{\Omega=\omega} - \underbrace{\frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{V_{\pi}} \right)^2 A_1 A_2 \cos(2\omega t + \varphi)}_{\Omega=2\omega} \right], \quad (3)$$

где  $\Omega_i$  – частота слагаемых сигналов;  $A_1, A_2$  – амплитуды обрабатываемых сигналов.

Результирующий сигнал содержит также исходную частоту. Это связано с видом передаточной функции ЭОММЦ [3]. Однако, при достаточно низкой частоте среза ФНЧ она не оказывает существенного влияния на сигнал.

Дальнейшая обработка оптического сигнала производится фотоприемником, выходной ток которого пропорционален интенсивности лазерного излучения. Перед аналого-цифровым преобразованием напряжение на нагрузке фотоприемника подается на вход прецизионного усилителя.

Рабочий участок характеристики является линейным лишь с некоторым допущением. Более точно она описывается синусом, а линейная зона при этом является окрестностью нуля, которую можно только приближенно положить линейной. Но, в стремлении получить точную оценку, следует учитывать фактические передаточные функции модуляторов в математических алгоритмах цифровой обработки.

Приведенный в статье способ позволяет получить оценку разности фаз двух СВЧ или КВЧ сигналов. Применение фотонных технологий дает возможность проводить обработку высокочастотных сигналов, что не представляется возможным для устройств только на полупроводниковых элементах.

#### Библиографический список

1. Гусеница Я. Н., Назаров А. В., Покотило С. А. Обзор исследований, проводимых в Технополисе «ЭРА» в области разработки фотонных технологий // Сборник статей I научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». – ВИТ «ЭРА», 2022, Т. 2, С. 296–303.
2. Гусеница Я. Н., Морозов А. В., Покотило С. А., Снегирев А. Л. Методы определения разности фаз выходных сигналов приемных элементов фазированной антенной решетки в радиофотонной схеме с параллельным и последовательным попарным соединением электрооптических модуляторов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 6. С. 977–983. doi:10.17586/2226-1494-2021-21-6-977-983.
3. Афанасьев В. М. Электрооптический модулятор по схеме интерферометра Маха-Цендера // Прикладная фотоника. 2016. Т. 3. № 4. С. 341–369.

С. В. Псурцева\*

с. н. с

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЕРКИ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представленные средства измерений – поточные плотномеры и металлические пикнометры, предназначены для измерений плотности светлых нефтепродуктов в рабочих условиях, что допускает их использование в качестве рабочих эталонов для поверки средств измерений на месте эксплуатации.

**Ключевые слова:** плотность, поточные плотномеры, металлические пикнометры, светлые нефтепродукты, рабочие эталоны.

S. V. Psurtseva\*

Senior Researcher

\*FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DENSITY MEASURING INSTRUMENTS FOR CHECKING WORKING AT THE PLASE OF OPERATION

Presented measuring instruments – flow density meters and metal pycnometers designed for measurements with high accuracy the density of light oil products under working conditions, which allows their use as working standards for checking working measuring instruments at the plase of operation.

**Keywords:** density, flow density meters, metal pycnometers, light oil products, working standards.

Плотность является ключевым параметром для коммерческого учета нефтепродуктов и инженерных расчетов. Это не универсальный параметр, у каждого вида ГСМ он свой. Точное измерение плотности – путь к снижению потерь. Средства измерений плотности называются плотномерами.

Принцип действия поточного плотномера основан на измерении периода резонансной частоты механических колебаний чувствительного элемента в виде U-образной трубки и преобразовании его в электрический импульсный выходной сигнал, пропорциональный плотности потока жидкости, проходящего через чувствительный элемент. Коэффициенты зависимости индивидуальны для каждого датчика плотности и определяются при его заводской калибровке.

Пикнометры напорные металлические предназначены для измерений плотности жидкости при условиях транспортирования по технологическим трубопроводам, а также для проведения поверки и калибровки поточных плотномеров в условиях эксплуатации.

Конструктивно пикнометры выполнены в виде металлического сосуда сферической или цилиндрической формы, снабженного предохранительным клапаном и двумя вентилями для заполнения и слива пробы жидкости.

Предлагается способ определения плотности жидкости, реализуемый с помощью весов лабораторных II класса точности (НПВ 3 кг или 5 кг) и мерников металлических эталонных 1-го разряда, номинальной вместимости 1,0 дм<sup>3</sup> или 2,0 дм<sup>3</sup> соответственно. Размеры платформы весов должны соответствовать диаметру основания мерника.

Последовательность выполнения операций при определении плотности следующая:

Подготовленный пустой мерник устанавливается на весы (рис. 1) для определения его собственного веса,  $M_m$ , г;

Подготовить жидкость – дистиллированную воду, выдержанную в помещении до достижения температуры  $20 \pm 1$  °С;

Мерник наполняется водой до отметки на шкале 1,0 дм<sup>3</sup> или 2,0 дм<sup>3</sup>,  $V_m$ ;

Наполненный водой мерник взвешивается и определяется  $M_\Sigma$ , г;

Масса воды в мернике определяется по формуле (1):

$$M_v = M_\Sigma - M_m \quad (1)$$

Плотность воды рассчитывается по формуле (2):

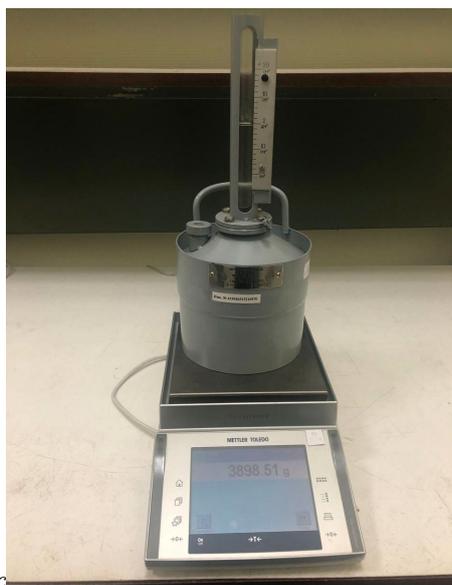
$$\rho = M / V \quad (2)$$

Значение основной относительной погрешности определения плотности дистиллированной воды определяется по формуле (3):

$$\delta_\rho = \frac{\rho - \rho_m}{\rho_m} \cdot 100 \%, \text{ м} \quad (3)$$

где  $\rho_t$  – плотность дистиллированной воды при температуре  $t$ , °С.

Например, при использовании весов лабораторных XP6002S, с наибольшим пределом взвешивания 6100 г и абсолютной погрешностью 0,031 г., и мерника эталонного M1p-2-01, действительная вместимость которого при температуре 20 °С составляет 2,0003 дм<sup>3</sup>,  $\delta_p$  определения плотности дистиллированной воды весовым методом не превышает 0,02 %



*Лабораторные весы XP600S и эталонный мерник M1p-2*

Внедрение весового метода определения плотности жидкости позволит обеспечить выполнение требуемых операций поверки мерников эталонных 2-го разряда, установок поверочных переносных, автотопливозаправщиков и автоцистерн.

#### **Библиографический список**

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. ГОСТ 3900-85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.

*В. А. Стяжкин*

кандидат технических наук, член-корреспондент Метрологической академии, заместитель председателя научно-технического комитета (Метрологической службы Вооружённых Сил РФ), доцент базовой кафедры Технологического университета

*И. Е. Стяжкина*

научный сотрудник ФГБУ «Главный научный метрологический центр» Минобороны России

## ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ УСЛОВИЙ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Показана актуальность вопросов обеспечения радиационной безопасности за счёт моделирования условий измерений характеристик ионизирующих излучений. Предложен подход к моделированию поля ионизирующих излучений в дозиметрических установках.

**Ключевые слова:** радиационная безопасность; дозиметрические установки; метрологическое обеспечение; моделирование; ионизирующие излучения.

*V. A. Styazhkin*

Kand. Sc. Tech., corresponding member of the Metrological academy, deputy chairman of the scientific and technical committee (Metrological service of the Armed Forces of the Russian Federation), associate professor of the basic department of the Technological University

*I. E. Styazhkina*

scientific worker of FSBI «Main scientific metrological center» of Ministry of defence of the Russia

## AN APPROACH TO MODELING THE CONDITIONS FOR MEASURING THE CHARACTERISTICS OF IONIZING RADIATION

The relevance of radiation safety issues is shown by modeling the conditions for measuring the characteristics of ionizing radiation. An approach to modeling the field of ionizing radiation in dosimetric installations is proposed.

**Keywords:** radiation safety; dosimetric installations; metrological support; modeling; ionizing radiation.

В настоящее время в метрологических подразделениях эксплуатируются эталонные дозиметрические установки типа УПД-ИНТЕР, УПД-ИНТЕР-М и УПД-ИНТЕР2М, общий принцип работы которых основан на применении одного источника, формирующего гамма-поле в закрытом защитном корпусе, и ослабляющих фильтров с постоянной величиной кратности ослабления излучения (далее – УПД-ИНТЕР).

Компактность конструкции придаёт УПД-ИНТЕР положительное свойство мобильности. Однако, в соответствии с ГОСТ 8.087-2000 [1] при использовании установок с направленным пучком фотонного излучения необходимо, чтобы расстояние от границ рабочего пучка излучения, а также от конца линейки до окружающих предметов (стен, пола, потолка) было не менее 1,5 м. В установках УПД-ИНТЕР, имеющих коллимированный пучок излучения, данное условие не выполняется. Поэтому из-за невозможности в целом обеспечить классические расчёты мощностей доз, основанные на выполнении закона обратных квадратов, для их периодической проверки требуется длительное измерение дозиметрических характеристик в более чем 30-ти точках в совокупности с вариацией из четырёх-пяти фильтров и их комбинаций. Повышенная трудоёмкость поверочных работ увеличивает дозиметрические нагрузки на поверителей и обслуживающий персонал (несмотря на оцинкованный корпус данных установок), что негативно сказывается на обеспечении требований радиационной безопасности.

Предлагаемый подход подразумевает моделирование поля ионизирующих излучений в УПД-ИНТЕР путём определения аппроксимирующей функциональной зависимости всех его статистически значимых параметров (выраженной в виде полинома  $n$ -го порядка), что позволит при проверке заменить большую часть натуральных измерений (с помощью эталонного дозиметра) на расчёты. Применение специализированного программного обеспечения позволит реализовать возможность моделирования объекта измерений, воздействие на него различных влияющих факторов и процесса измерений метрологических характеристик, тем самым минимизировать риски для здоровья человека.

Для получения эмпирической модели УПД-ИНТЕР выполнена статистическая обработка априорной информации, в качестве которой использовались ретроспективные результаты измерений мощности экспозиционной дозы девяти установок данного типа, эксплуатируемых в различных метрологических подразделениях. В качестве основных эталонных средств проверки применялись универсальные дозиметры ДКС-101 с полостными сферическими ионизационными камерами.

Выявленные свойства УПД-ИНТЕР позволили получить эмпирическую модель воспроизводимого на текущий момент времени поля ионизирующих излучений путём значительно меньшего числа измерений (3 вместо 18-25) и приведения их к первичным ретроспективным экспериментальным данным. Использование на практике

расчётных значений коэффициентов ослабления фильтров дополнительно обеспечивает повышение оперативности поверочных работ на 30–40 %.

Реализация предложенного подхода при организации периодической поверки на примере дозиметрических установок типа УПД-ИНТЕР позволит сформировать нормативно-методическую основу с элементами моделирования и автоматизации процессов измерений, что обеспечит существенное сокращение трудозатрат, и как следствие, уменьшение степени облучения поверителей.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 8.087-2000. Установки дозиметрические рентгеновского и гамма-излучений эталонные. Методика поверки по мощности экспозиционной дозы и мощности кермы в воздухе.

*А. В. Талалай\**

председатель научно-технического комитета

*А. С. Григорьев\*\**

старший научный сотрудник

*И. А. Талалай\*\**

научный сотрудник

\*Научно-технический комитет (Метрологической службы Вооруженных Сил Российской Федерации)

\*\*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации

## ПЕРЕДАЧА ЕДИНИЦЫ ИЗБЫТОЧНОГО СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОСТИ

Изложены подходы к метрологическому обеспечению вторичного (рабочего) эталона единицы избыточного статического давления в условиях метрологической автономности. Дано определение метрологической автономности.

**Ключевые слова:** эталон избыточного статического давления; групповая мера эффективной площади; совокупные сличения; метрологическая автономность.

*A. V. Talalay\**

Chairperson of Scientific and Technical Committee

*A. S. Grigorev\*\**

Senior Researcher

*I. A. Talalay\*\**

Researcher

\*Scientific and Technical Committee (Metrological service of the Armed Forces of the Russia)

\*\*Federal State Budgetary Institution «Metrology Scientific Head Center» Russian Federation Ministry of Defense

## TRANSFER OF A UNIT OF EXCESS STATIC PRESSURE IN TERMS OF METROLOGICAL AUTONOMY

The approaches to the metrological provision of the static gauge pressure secondary (working) standards under the condition of metrological autonomy are described. Given the definition of metrological autonomy.

**Keywords:** gauge pressure standard; a group measure of the effective area; combined comparisons; metrological autonomy.

Одной из наиболее важных задач системы передачи единицы избыточного статического давления является способность ее функционирования в условиях метрологической автономности, в том числе исходных эталонов единицы избыточного статического давления соответствующей государственной (локальной) поверочной схемы.

Метрологическая автономность – это условие эксплуатации эталонов единиц величин, вызванное внешними воздействующими факторами, при которых соблюдение прослеживаемости указанных эталонов к вышестоящим по государственной (локальной) поверочной схеме эталонам (первичным, вторичным и др.) на неопределенное время становится невозможной. В условиях метрологической автономности вторичные (рабочие эталоны) выполняют установленные функции за счет собственных «надежных ресурсов».

При оценке метрологических характеристик грузопоршневых манометров (ГПМ) в условиях метрологической автономности может быть использована структурная избыточность (при воспроизведении единицы величины) путем применения групповой меры эффективной площади и информационная избыточность (при передаче единицы величины) с применением совокупных сличений при помощи последовательной цепи гидростатических уравновешиваний с прослеживаемостью к групповой мере эффективной площади или без такой прослеживаемости при ее отсутствии.

Для решения поставленной задачи предложена методика определения значений эффективной площади измерительных поршневых систем (ИПС) ГПМ с верхними пределами измерений 0,6; 6 и 60 МПа (минимальный набор типовых ИПС ГПМ) одного класса точности, с использованием нового алгоритма расчета результатов совокупных сличений, основываясь на свойстве меры эффективной площади в части ее неизменности от измеряемого давления при измерении средних (умеренных) давлений – менее 10 МПа [1].

Применение усовершенствованного научно-методического аппарата передачи единицы избыточного статического давления от вторичных эталонов к нижестоящим по поверочной схеме эталонам обеспечит соответствие существующей системы передачи указанной единицы величины установленным требованиям в условиях метрологической автономности.

### Библиографический список

1. Талалай А.В., Григорьев А.С., Талалай И.А. Анализ составляющих погрешности рабочих эталонов единицы избыточного статического давления // «Вестник метролога № 4», 2023. С. 20–24.

*В. Г. Шагаев\**

младший научный сотрудник

*А. С. Кучер\*\**

начальник метрологической службы войсковой части

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России\*

Войсковая часть 20096\*\*

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Приведено описание комплексов программно-аппаратных, предназначенных для измерения параметров волоконно-оптических систем передачи информации и рассмотрены методы решения проблемы их метрологического обеспечения.

**Ключевые слова:** Комплексы программно-аппаратные, предназначенные для измерения параметров волоконно-оптических систем передачи информации.

*V. G. Shagaev\**

Junior Research Officer

*A. S. Kucher\*\**

Head of the metrological service of the military unit

FSBI «GSMC» of Ministry of Defense of Russia\*

Military unit 20096\*\*

## METROLOGICAL SUPPORT OF MEASURING INSTRUMENTS FOR FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS

The description of software and hardware complexes designed to measure the parameters of fiber-optic information transmission systems is given and methods for solving the problem of their metrological support are considered.

**Keywords:** software and hardware complexes designed to measure the parameters of fiber-optic information transmission systems, metrological support.

Комплексы программно-аппаратные «Сапфир» и «Сапфир-СР», предназначены для измерения параметров волоконно-оптических систем передачи информации, а также оценки защищенности волоконно-оптических линий связи (Далее – СИ ВОСП).

Комплексы «Сапфир» и «Сапфир-СР» имеют несущественные различия в комплектности (в «Сапфир-СР» отсутствует ноутбук, имеющийся в «Сапфир»), однако, их метрологические характеристики идентичны.

В состав комплексов входят следующие составные части, чьи метрологические характеристики контролируются при поверке:

1. Оптический рефлектометр «Сапфир-Р».
2. Портативный измеритель уровня оптической мощности «Сапфир-ИМ».
3. Программируемый оптический аттенюатор «Сапфир-А».
4. Генераторы оптического сигнала «Сапфир-ГС» (2 шт.).

Причиной забракования комплексов, в 90% случаев является отклонение метрологических характеристик программируемого оптического аттенюатора «Сапфир-А» от требуемых значений, в остальных случаях – выход их строя встроенных в составные части комплексов «Сапфир» и «Сапфир-СР» аккумуляторов.

Для проведения анализа статистической вероятности возникновения брака и связи этой вероятности с длительностью эксплуатации, была отобрана выборочная совокупность из генеральной совокупности. Основными критериями, которые учитывались в ходе составления данной выборки, являлось наличие полной информации о поверке комплексов на протяжении последних десяти лет – даты предоставления в поверку и интенсивностью отказов.

Для решения возникающей проблемы был выбран метод дисперсионного анализа.

Дисперсионный анализ – статистический метод, позволяющий анализировать влияние различных факторов на исследуемую переменную. Целью такого анализа является проверка значимости различия между средними с помощью дисперсий [1].

Данный метод, являясь мощным современным статистическим методом обработки и анализа данных, применяется во многих сферах науки. Будучи связанным с конкретной методологией планирования и проведения экспериментальных исследований, он позволяет разработать решение проблематики метрологического обеспечения СИ ВОСП. Благодаря автоматизации дисперсионного анализа, его можно использовать совместно с ЭВМ, затрачивая при этом меньше времени и усилий на расчеты данных.

### Библиографический список

1. Шеффе, Г. Дисперсионный анализ // Г. Шеффе. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука", 2020, с. 45.

*А. С. Швед\**

заместитель начальника управления – начальник отдела

*А. С. Соколовский\**

М.Н.С

*И. Б. Крестина\**

М. Н. С

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Рассмотрены основные направления цифровизации метрологического обеспечения, положительный опыт внедрения в деятельность метрологической организации аппаратных программных комплексов, а также перспективы внедрения информационных технологий в метрологическое обеспечение.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, цифровизация, информационные технологии, аппаратные программные комплексы.

*A. S. Shved\**

Deputy Head of the Department

*A. S. Sokolovskii\**

Junior Researcher assistant

*I. B. Krestina\**

Junior Researcher assistant

\*FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation

## DIGITALIZATION OF METROLOGIKAL SUPPORT

The main directions of metrological support are considered, positive experience of implementation of hardware software complexes are considered, as well as prospects for the introductions of information technologies support are metrological support are considered.

**Keywords:** metrological support, digitalization, hardware software complexes.

Метрологическое обеспечение представляет собой сложную многоуровневую систему управления, имеющую большой потенциал цифровизации.

К информационным массивам (большим данным) метрологического обеспечения относятся сведения: о применяемых эталонах и средствах измерений (далее – средства измерений); об аттестованных методиках (методах) измерений; о поверке средств измерений; об утверждении типов средств измерений; об аккредитованных на поверку средств измерений организациях (включают данные об оснащенности техническими средствами и другие сведения); и другие.

Примером успешного внедрения информационных технологий в метрологии является функционирующая в Российской Федерации федеральная государственная информационная система «Аршин» (ФГИС «Аршин»).

Первым объектом цифровизации стала поверка средств измерений. Это неслучайно, поскольку поверка является важнейшей функцией метрологического обеспечения и имеет массовый характер – ежегодно в стране поверяются десятки миллионов средств измерений. Сведения о каждой поверке теперь хранятся в ФГИС «Аршин» и представляет собой реестр сведений о результатах поверки. Кроме этого, в ФГИС «Аршин» ведутся реестры: государственных первичных эталонов, эталонов единиц величин, утвержденных типов средств измерений, перечень средств измерений, применяемых в качестве эталонов.

Одним из основных направлений цифровизации системы обеспечения единства измерений является внедрение автоматических систем мониторинга и управления состоянием парка военной измерительной техники [1].

Автоматизированные программные комплексы (АПК), применяемые в настоящее время при решении задач метрологического обеспечения, позволяют в десятки раз сократить трудозатраты на организацию поверочной деятельности, а их постоянно пополняемые базы данных обеспечивают необходимой информацией сотрудников и служат основой для принятия управленческих решений [2]. Для повышения эффективности цифровизации метрологического обеспечения, необходимо широкое распространение положительного опыта внедрения АПК, обеспечение их совместимости при применении в различных метрологических организациях и интеграцию в единую информационную систему.

### Библиографический список

1. Мамлеев Т.Ф., Щеглов В.А. «Основные направления развития системы обеспечения единства измерений в области обороны и безопасности государства до 2035 года» // Вестник метролога, № 2 – 2023 – С. 3–5.
2. Швед А.С., Фуфаев С.А., Савчак И.А. «Анализ состояния и перспектив цифровизации процессов деятельности метрологической организации» // Сборник трудов Главного научного метрологического центра Министерства обороны Российской Федерации – выпуск № 46 – 2023 – т.2 – С. 222–227.

*Д. М. Щеглов\**

начальник управления

*В. К. Боженов\**

старший научный сотрудник

\*ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

## ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ, УСТАНОВЛИВАЕМЫЕ В ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ЗАДАНИИ НА ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКУЮ РАБОТУ ПО РАЗРАБОТКЕ (МОДЕРНИЗАЦИИ) АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Предложены подходы к метрологическому обеспечению, устанавливаемые в тактико-техническом задании на опытно-конструкторскую работу при разработке образцов авиационной техники с учётом требований нормативно-технических документов системы общих технических требований, государственных военных стандартов систем КС ОТТ, КС КК, СРПП ВТ.

**Ключевые слова:** контрольно-проверочная аппаратура, авиационная техника.

*D. M. Shcheglov\**

head of department

*V. K. Bozhenov\**

senior scientist

\*FSBI «MSMC» of Ministry of Defense of the Russian Federation

## APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF TEST EQUIPMENT IN THE TACTICAL AND TECHNICAL ASSIGNMENT FOR DEVELOPMENT WORK ON THE DEVELOPMENT (MODERNIZATION) OF AVIATION EQUIPMENT

Approaches to metrological support are proposed, established in the tactical and technical assignment for development work in the development of aircraft models, taking into account the requirements of regulatory and technical documents of the general technical requirements system, state military standards of the CS GTR, CS QC, PDCS MT systems.

**Keywords:** test equipment, certification.

Проведённые ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России исследования результатов выполненных научно-исследовательскими организациями Минобороны России (НИО МО РФ), осуществляющими военно-научное сопровождение (ВНС) ОКР, обязательных метрологических экспертиз образцов авиационной техники (АТ), позволяют в качестве ключевого и наиболее распространённого недостатка выделить следующий: технические задания на выполнение составной части опытно-конструкторской работы по разработке контрольно-проверочной аппаратуры (ТЗ на СЧ ОКР по разработке КПА), выдаваемые головным исполнителем ОКР, не учитывают рекомендации ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России по установлению в ТЗ на СЧ ОКР требований к метрологическому обеспечению и особенности отнесения технических средств к средствам измерений военного назначения (СИ ВН), установленные приказом МО РФ от 2016 г. № 402 [1] и, как следствие, на этапе проведения государственных испытаний внезапно выясняется, что разрабатываемая КПА предназначена для определения количественных значений величин в допущенных к применению на территории Российской Федерации единицах величин, имеет нормированные метрологические характеристики и разработано для применения в Вооружённых Силах Российской Федерации, т.е. выполняются все условия отнесения КПА к СИ ВН, для которых предусмотрены испытания в целях утверждения типа в установленном порядке [2], к проведению которых совместно с государственными испытаниями головной исполнитель ОКР не готов. В результате срываются сроки завершения ОКР по разработке образцов АТ, ещё хуже когда проблемы связанные с метрологическим обеспечением КПА вскрываются после поступления АТ в эксплуатацию.

Исходя из вышесказанного можно рекомендовать следующие подходы к метрологическому обеспечению КПА, задаваемые в ТЗ на СЧ ОКР по разработке КПА, с позиций ее классификации:

- КПА, для которой предполагается проведение испытаний в целях утверждения типа;
- КПА, в состав которой предполагается включение средств измерений утвержденного типа, подлежащих периодической поверке при эксплуатации;
- КПА, отнесенная к контрольному оборудованию, для которой в процессе ее эксплуатации предусмотрено только техническое обслуживание.

### Библиографический список

1. Приказ МО РФ от 2016 г. № 402 – М.: Стандартинформ, 2019 – 12 с.
2. Приказ Минпромторга РФ от 2020 г. № 2905.

*В. И. Яснюк\**

С. Н. С.

*М. Р. Григорьева\**

М. Н. С.

\*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА

Рассмотрена зависимость метеоусловий на точность позиционирования беспилотных летательных аппаратах.

**Ключевые слова:** барометрические датчики давления, комплекс инерциальных систем, гиросtabilизаторы, температурный коэффициент смещения.

*V. I. Yasnyuk\**

Senior researcher

*M. R. Grigoreva\**

Junior researcher

\*Federal State Budgetary Institution «Metrology Scientific Head Center» Russian Federation Ministry of Defense

## THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE ACCURACY OF UAV POSITIONING

The dependence of weather conditions on the positioning accuracy of unmanned aerial vehicles in the armed forces is considered.

**Keywords:** UAV, barometric pressure sensors, geomagnetic sensors, gyrostabilizers.

Глобальная система навигации сегодня является востребованным методом позиционирования БПЛА. Навигационная аппаратура встраиваемая в БПЛА получает данные GPS со спутников. Сеть наземных стационарных вышек используется для увеличения точности показаний данных с глобальной системы позиционирования. Реперные вышки, для системы навигации БПЛА, определяют погрешности показаний глобальной системы навигации для полетного контроллера БПЛА.

В конструкцию БПЛА, помимо приемников GPS, устанавливается комплекс инерциальных систем. В нее входит комплекс датчиков, по данным которых автопилот получает информацию о воздушной скорости, кренах, ускорениях барометрической высоте и др [1].

Показания высотного контроля гиросtabilизатора используются совместно с высокопроизводительными барометрическими датчиками давления, которые осуществляют точные измерения высоты с высокой дискретностью. Для снижения погрешностей позиционирования и повышения надежности БПЛА совместно с датчиками GPS и оптики используются датчики давления. К этим датчикам предъявляются высокие требования по точности проводимых измерений не зависящие от погодных условий и температуры окружающей среды. На общую точность измерений оказывают влияние температурный коэффициент смещения, уровень шума и стабильность работы системы [2].

«Умные» датчики существенно снижают вероятность возникновения аварийных ситуаций и столкновений. Использование выходных данных гиросtabilизатора позволяет удерживать БПЛА в горизонтальной плоскости, датчика давления – сохранять высоту и нужное местоположение. Интеграция данных с модулем GPS позволяет БПЛА осуществлять автономный полет по заданному маршруту, а также обеспечивает реализацию функции «возвращение домой», когда БПЛА автоматически возвращается на первоначальную позицию и осуществляет там безопасную посадку.

Сегодня, при большой востребованности БПЛА, когда их сборка осуществляется даже и в малых рабочих мастерских из составных частей разных производителей, наиболее реалистичным представляется взаимодействие датчиков MEMS (микроэлектромеханические системы) и программного обеспечения, в котором должны закладываться поправки при измерении данных на погрешность температуры и давления. Только в этом случае возможно нивелировать влияние метеоусловий на точность позиционирования беспилотных летательных аппаратах.

### Библиографический список

1. Амелин К. С. Метод ориентирования сверхлегкого БПЛА при редком обновлении данных о его местоположении // Журнал «Санкт-Петербургский Государственный университет».
2. Крылов А. А. Корниук Д. В. Технологические подходы к устранению смещению нуля MEMS гироскопов в составе гиросtabilизатора // Журнал «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения».

УДК 531.781

*В. И. Яснюк\**

с. н. с.

*Н. А. Тришина\**

с. н. с.

*М. Р. Григорьева\**

м. н. с.

\*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации

## ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ МАЛЫХ УСИЛИЙ

В тезисе доклада рассмотрена перспектива метрологического обеспечения датчиков малых усилий.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, датчики малых усилий, поверка.

*V. I. Yasnyuk\**

Senior researcher

*N. A. Trishina\**

Senior researcher

*M. R. Grigoreva\**

Junior researcher

\*Federal State Budgetary Institution «Metrology Scientific Head Center» Russian Federation Ministry of Defense

## PROSPECTS FOR METROLOGICAL SUPPORT OF LOW-EFFORT SENSORS

The thesis of the report considers the prospect of metrological support for low-effort sensors.

**Keywords:** low-effort sensors, unmanned aerial vehicles, verification.

Датчики малых усилий в настоящее время продолжают играть значительную роль в различных областях человеческой деятельности. Они используются для измерений различных параметров, таких как давление, вес, инерционные системы и т.д., также они помогают повышать безопасность оборудования и технологических процессов.

Датчики малых усилий обычно включают в себя акселерометры, гироскопы и магнитометры, которые измеряют силы, воздействующие на объект, такие как гравитация, ускорение, и угловую скорость.

Используется широкая номенклатура датчиков малых усилий: осевые датчики силы, датчики измерений сверхмалых усилий, датчики измерений усилий натяжения троса. Определённая чувствительность перечисленных датчиков к изменениям условий работы технического устройства.

В среднем на объекте устанавливается от 4 до 12 датчиков. Причем в настоящее время общее количество подлежащих поверке таких датчиков неуклонно растёт. Номинальная нагрузка применяемых датчиков малых усилий составляет от 0,01 Н до 20 Н с относительной погрешностью 0,1% [1].

Для поверки датчиков силы в настоящее время используются, в частности, силовоспроизводящие машины, которые воспроизводят, хранят и передают единицу силы.

С развитием технологий микроэлектроники и нанотехнологий возможно создание более точных и чувствительных датчиков малых усилий. Поэтому в современных условиях возрастает необходимость в дальнейшем совершенствовании метрологического обеспечения датчиков малых усилий.

Принимая во внимание всю важность развития и совершенствования датчиков малых усилий, в дальнейшем необходимо проведение работ по расширению границ диапазона измерений силовоспроизводящих машин или создание новых. На данный момент предлагается реализация поверки датчиков малых усилий с использованием эталонов и иных средств для измерений единицы массы.

### Библиографический список

1. Дроны и беспилотные летательные аппараты // ГБУ «Агентство промышленного развития города Москвы». 2020. С. 53.
2. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2019 г. № 2498 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы».

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

УДК 338.28

*М. Ю. Белова\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

В статье рассмотрены принципы в оценке качества технического уровня технологических трендов с помощью методологии TPRL. Представлен жизненный цикл технологических трендов и выявленные составляющие компоненты.

**Ключевые слова:** технологический тренд, технический уровень, оценка качества, методология, сложные технические системы.

*М. Yu. Belova\**

student

*S. A. Nazarevich\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## BASIC PRINCIPLES IN ASSESSING THE QUALITY OF THE TECHNICAL LEVEL OF TECHNOLOGICAL TRENDS

The article considers the principles in the quality assessment of the technical level of technological trends using TPRL methodology. The life cycle of technological trends and the identified constituent components are presented.

**Keywords:** technological trend, technical level, quality assessment, methodology, complex technical systems.

В процессе развития сложных технических систем стоит задача выбора направления развития предполагаемого инновационного потенциала. Для определения направления исследований необходимо выявить и проанализировать тренды и возможные направления для совершенствования [1].

Важнейшей характеристикой качества выбранного тренда выступает оценка технического уровня, определяющий степень технической новизны. Именно поэтому **цель работы** – определение показателей для оценки качества технического уровня технологических трендов, формирующих направления развития сложных технических систем.

Для проведения оценки технологических трендов, необходимо выявить составляющие компоненты трендов и факторы, влияющие на них. Рассмотрев технологический мониторинг [2], был определен жизненный цикл технологических трендов, (рис. 1).



Рис. 1. Жизненный цикл технологии

Рассмотрев жизненный цикл технологических трендов, были определены следующие фазы и входящие компоненты, которые коррелируют между собой и выстраивают векторы для развития сложных систем. Для оценки технического уровня стоит обратить внимание на фазу распределения, которая является «скелетом» всего тренда и основывается на изобретении, технологии, которые являются основной новизной в тренде. Именно их уровень прогрессивности является ключевым в эксклюзивной оценке и дает «вес» тренду.

Для оценки научно-технического уровня в технологическом тренде было решено использовать универсальную методологию TPRL (TechnologyProjectReadinessLevel)[3], учитывающая различные ценности проекта от технологической готовности до преимуществ и рисков. При оценке используются не только критерии, характеризующие уровень готовности, но и документы, подтверждающие выполнение данных критериев.

Таким образом, оценка трендов происходит с помощью поэтапного анализа, где первым шагом тренд раскладывается на фазы с выявлением компонентов, далее ключевые компоненты проходят дискретный уровень оценивания независимыми экспертами, присваивая каждому компоненту баллы. Итоговый получаемый уровень соответствует технологическому уровню готовности тренда.

#### **Библиографический список**

1. Воронов Е. М., Щербинин В. В., Семенов С. С. К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла // Онтология проектирования. 2016. №2 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-tehnicheskogo-urovnya-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem-s-uchyotom-polnogo-zhiznennogo-tsikla> (дата обращения: 12.01.2024).
2. Надежда Микова, Анна Соколова Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики // Форсайт. 2014. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-globalnyh-tehnologicheskikh-trendov-teoreticheskie-osnovy-i-luchshie-praktiki> (дата обращения: 14.01.2024).
3. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2017 г. № 2128-ст (2017) ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.

**К. З. Билятдинов\***

доктор технических наук, доцент

\*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

**Е. А. Кривчун\*\***

кандидат химических наук, доцент

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Представлены методологические подходы, применимые в сфере управления качеством. Предложен алгоритм с использованием сравнительного анализа характеристик информационных технологий с последующим обоснованием их выбора для применения в исследуемой предметной области.

**Ключевые слова:** алгоритм, выбор, показатели, качество, применение информационных технологий, оценка эффективности, рекомендации.

**K. Z. Biliatdinov\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

ITMO University

**E. A. Krivchun\*\***

Ph. D., Associated Prof

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## QUALITY MANAGEMENT AND BENCHMARKING CHARACTERISTICS OF INFORMATION TECHNOLOGY

Methodological approaches applicable to conducting laboratory classes in the discipline “Quality Management” are presented. An algorithm is proposed using a comparative analysis of the characteristics of information technologies with subsequent justification for their choice for use in the subject area under study.

**Keywords:** algorithm, choice, classes, indicators, quality, competencies, application of information technology, performance assessment, recommendations.

В современном мире развитие и совершенствование инновационных методологических подходов в сфере управления качеством в значительной степени зависит от эффективности применения информационных технологий. Поэтому сегодня рационально обратить внимание на сравнительный анализ характеристик информационных технологий (далее – ИТ) с последующим обоснованием их выбора для достижения целей управления качеством (далее – УК) и оценки эффективности рабочих процессов [1, 2, 3].

В этом случае представляется возможным обосновать выбор применяемых ИТ.

В результате часть работы в сфере УК может быть выполнена с использованием программных средств [2]. Для этого в общем случае рекомендуется следующий алгоритм сравнительного анализа характеристик потенциально применимых ИТ:

1. Формулировка цели использования ИТ для решения конкретных задач в сфере УК.
2. Определение показателей качества ИТ.
3. Ранжирование показателей качества в зависимости от целей применения ИТ (пункт 1).
4. Определение и обоснование критериев выбора ИТ.
5. Исследование возможных ИТ на основе заданных критериев (пункт 4).
6. Определение ресурсов и условий применения возможных ИТ.
7. Ранжирование наиболее рациональных для применения ИТ с составлением их характеристик в табличной форме в зависимости от имеющихся ресурсов и условий.
8. Выбор ИТ на основе целей, заданных критериев, времени, ресурсов и условий.
9. Применение выбранных ИТ и оценка их эффективности [1, 2].
10. Анализ результатов и формулировка рекомендаций по применению ИТ для решения конкретных задач в сфере УК с учётом полученного опыта и выявленных ограничений.

В заключении важно отметить, что полученные результаты позволяют более успешно применять ИТ на промышленных предприятиях и на объектах информатизации и связи. При этом существенно снижаются затраты времени и ресурсов в области применения ИТ.

### Библиографический список

1. Билятдинов К. З., Меняйло В. В. Модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности технических систем // Информационные технологии. Вып.11. 2020. С. 611–617.
2. Билятдинов К. З. Анализ и оценка эффективности систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610389, дата государственной регистрации 14.01.2020.
3. Gerami J. An interactive procedure to improve estimate of value efficiency in DEA // Expert Systems with Applications. 2019. № 137. – P. 29–45.

**К. З. Билятдинов\***

доктор технических наук, доцент

\*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

**Е. А. Кривчун\*\***

кандидат химических наук, доцент

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИФИЦИРОВАННЫХ ТАБЛИЧНЫХ ФОРМ

Представлен вариант унифицированной табличной формы для структурно-функционального моделирования сложных систем в различные периоды времени с учетом целей функционирования, установленных приоритетов и характеристик технических средств.

**Ключевые слова:** время, ранжирование функций, показатели качества, цель, ресурсы, технические средства структурных подразделений.

**К. Z. Biliatdinov\***

Ph. D. Tech., Associated Prof

ITMO University

**E. A. Krivchun\*\***

Ph. D., Associated Prof

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODELING OF COMPLEX SYSTEMS USING UNIFIED TABLE FORMS

A version of a unified tabular form is presented for structural and functional modeling of complex systems in different periods of time, taking into account the goals of operation, established priorities and characteristics of technical means.

**Keywords:** time, ranking of functions, quality indicators, purpose, resources, technical means of structural divisions.

Актуальность и востребованность предлагаемого варианта структурно-функционального моделирования системы с использованием унифицированной табличной формы (таблица) обосновываются необходимостью определения приоритетов, состава структурных подразделений системы (далее в таблице – СП) и выполнения требований к значениям показателей качества технических средств (далее в таблице – ТС) [1, 2].

Таблица

Структурно-функциональная модель (далее – СФМ) системы \_\_\_\_\_

Цель функционирования системы: _____			Дата и время создания СФМ: _____					
Функции ранжирование по их приори- тету (важности)	СП	ТС	Требования к предельным значениям показателей качества техниче- ских средств (ТС) (приоритет влияния на функционирование)					
			№	$P_l$ (ед. изм.)		...	$P_k$ (ед. изм.)	
				Мин. знач.	Макс. знач.	...	Мин. знач.	Макс. знач.
			1	2	...	...	$n$	
Функция 1 (или 1 уровень управления)	$1.1$ СП	$1.1$ ТС	1	$Q_{1.1.1min}$	$Q_{1.1.1max}$	...	$Q_{1.1.k. min}$	$Q_{1.1.k. max}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$1.j$ СП	$1.j$ ТС	...	$Q_{1.j.1min}$	$Q_{1.j.1max}$	...	$Q_{1.j.kmin}$	$Q_{1.j.k max}$
...	...	...	$z$	...	...	...	...	...
Функция $i$ (или $i$ -уровень управления)	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$i.j$ СП	$i.j$ ТС	$m$	$Q_{i.j.1min}$	$Q_{i.j.1max}$	...	$Q_{i.j.kmin}$	$Q_{i.j.kmax}$
Общий расход ресурсов (денежных средств.): не более $S_B$			Требуемый период функционирования системы не менее: $\Delta T_B$					

Таким образом, предложенная унифицированная табличная форма позволяет при требуемой степени детализации выполнять структурно-функциональное моделирование сложных систем в различные периоды времени и с учетом динамики состава и характеристик технических средств [1, 2]. Составление унифицированных табличных форм (таблица) в требуемые периоды времени целесообразно применять при компьютерном моделировании различных условий функционирования и состояния сложных систем [2].

#### **Библиографический список**

1. Билятдинов К. З. Практические аспекты совершенствования управления телекоммуникационными системами при использовании матриц значений показателей качества // Вестник воздушно-космической обороны. 2022. № 2 (34). С. 98–105.
2. Biliatdinov K. Z. Mathematical apparatus of quality assessment of complex systems operation: methods and algorithms // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Т. 11. – № 7. – pp. 94–101.

*А. В. Винниченко\**

Старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И синхронизации В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Работа посвящена исследованию мониторинга и синхронизации в производственных системах, оптимизации, состояния и динамики процессов, управления качеством и организации производства рабочих мест, а также принятия управленческих решений.

**Ключевые слова:** системы мониторинга, производственная система, технологические процессы.

*A. V. Vinnichenko\**

Senior Lecturer

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## RESEARCH ON CENTRALIZATION OF CONTROL AND SYNCHRONIZATION IN PRODUCTION SYSTEMS

The work is devoted to the study of monitoring and synchronization in production systems, optimization, state and dynamics of processes, quality management and organization of workplace production, as well as management decision-making.

**Keywords:** monitoring systems, production system, technological processes.

Производственные системы сталкиваются с постоянно меняющимися требованиями рынка, что требует постоянного изменения и гибкости. Централизация контроля и синхронизация играют важную роль в производственных системах, обеспечивая эффективность, необходимую степень соответствия и временные характеристики процессов производства, что являются параметрами для создания стратегии управления процессами и содержат в себе элементы бережливых производственных систем [1].

Мониторинг и дальнейшая синхронизация производственных систем имеют сильное положительное влияние [2] на производительность и ход протекания процесса, в котором учитываются не только параметры оценивающие процесс и состояние работы оператора технологической линии, но и внешние и внутренние факторы производственной среды, включая состояние процесса, состояние оператора и состояние оборудования [3].

Учитывая полученные результаты в ходе исследования и анализ параметрических рядов, представляющих наборы параметров, измеряющих и дающих оценку степени производительности системы [4] для рационального определения подбора методов организации, управления и мониторинга, можно предположить, что разработка методики для оценки состояния производственной среды с целью синхронизации производственной системы с последующей системой мониторинга будет эффективной. Также необходимо учитывать вариативность условий и требований производственной системы для конкретного типа организации для достижения наиболее эффективного подхода синхронизации, например, применение комбинаторики цифровых решений и технологий в производстве с целью оптимизации производственных процессов и минимизации потерь [5].

### Библиографический список

1. Назаревич, С. А., Винниченко, А. В. Проблемы и ошибки при организации производства, решаемые методологией бережливого производства, Системный анализ и логистика. – 2021. – № 4(30). – С. 49–56.
2. Винниченко, А. В. Корреляционная матрица для сложноструктурированных поведенческих факторов и параметров технологического процесса, Инновационное приборостроение. – 2023. – Т. 2, № 4. – С. 88–92.
3. Винниченко, А. В. Исследование детерминант норм управляемости для систем мониторинга уровня качества технологических процессов, Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сб. статей V Международного форума, Санкт-Петербург, 2023. – С. 209–210.
4. Винниченко, А. В., Назаревич С. А. Исследование учета продолжительности трудовых операций и оценка технико-экономических показателей технологического процесса, Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сб. статей V Международного форума, Санкт-Петербург, 2023. – С. 211–212.
5. Винниченко, А. В. Комбинаторика цифровых решений для задач бережливого производства, Системный анализ и логистика. – 2023. – № 1(35). – С. 59–66.

*Н. А. Вихарев\**

аспирант, инженер ОАСУ

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Данная статья обсуждает важность обеспечения качества производственных процессов на горно-металлургических предприятиях, рассматривая его влияние на безопасность, эффективность и конкурентоспособность данной отрасли. Выделяются ключевые аспекты, такие как безопасность, эффективность и соответствие стандартам, а также предоставляют методы и подходы для обеспечения качества производства, включая управление качеством, мониторинг и анализ, обучение персонала и внедрение инноваций.

**Ключевые слова:** Горно-металлургические предприятия, качество производства, безопасность, эффективность, стандарты, управление качеством, мониторинг и анализ, обучение персонала, инновации, конкурентоспособность.

*N. A. Vikharev\**

postgraduate student, engineer of the OASU

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ENSURING THE QUALITY OF PRODUCTION PROCESSES IN MINING AND METALLURGICAL INDUSTRIES

This article discusses the importance of ensuring the quality of production processes at mining and metallurgical enterprises, considering its impact on the safety, efficiency and competitiveness of this industry. Key aspects such as safety, efficiency and compliance with standards are highlighted, and methods and approaches for ensuring production quality are provided, including quality management, monitoring and analysis, staff training and innovation.

**Keywords:** mining and metallurgical enterprises, production quality, safety, efficiency, standards, quality management, monitoring and analysis, personnel training, innovation, competitiveness.

Горно-металлургические предприятия являются важной частью промышленности, отвечая за добычу и обработку руды для получения металлов и других ценных материалов. Качество процессов производства на этих предприятиях играет ключевую роль в обеспечении эффективности, безопасности и конкурентоспособности в этой отрасли. В данной статье мы рассмотрим важность качества производственных процессов на горно-металлургических предприятиях и способы его обеспечения.

Горно-металлургическая промышленность является одной из наиболее сложных и опасных отраслей, где деятельность связана с высокими рисками для работников, окружающей среды и оборудования. Поэтому обеспечение качества производственных процессов имеет критическое значение. Важные аспекты, на которые влияет качество процессов, включают:

**Безопасность:** Горно-металлургические предприятия работают с опасными материалами и высокотемпературными процессами. Плохое качество процессов может привести к авариям и несчастным случаям, поэтому безопасность должна быть приоритетом.

**Эффективность:** Эффективность производства напрямую влияет на конкурентоспособность предприятия. Качественные процессы позволяют сократить потери материалов, энергии и времени, что способствует снижению затрат и увеличению прибыли.

**Соответствие стандартам:** Горно-металлургическая промышленность подвергается строгим регулировкам и стандартам, связанным с экологией, безопасностью и качеством продукции. Несоблюдение этих стандартов может привести к юридическим и финансовым последствиям.

Для обеспечения качества производственных процессов на горно-металлургических предприятиях применяются различные методы и подходы:

**Управление качеством:** Создание системы управления качеством, основанной на международных стандартах, таких как ISO 9001, помогает контролировать и улучшать процессы, обеспечивая соответствие стандартам и требованиям клиентов.

**Мониторинг и анализ:** Системы мониторинга и анализа позволяют непрерывно следить за параметрами производства, выявлять аномалии и принимать меры по их устранению до того, как они приведут к серьезным проблемам.

**Обучение персонала:** Обученные и квалифицированные сотрудники играют важную роль в обеспечении качества процессов. Постоянное обучение и повышение квалификации работников необходимо для поддержания высокого стандарта производства.

**Инновации и технологические решения:** Внедрение новых технологий, автоматизации и инноваций может улучшить качество процессов и повысить эффективность производства.

Качество производственных процессов на горно-металлургических предприятиях имеет огромное значение для безопасности, эффективности и конкурентоспособности отрасли. Обеспечение качества требует системного подхода, включая управление, мониторинг, обучение и инновации. Строгое соблюдение стандартов и требований клиентов также является неотъемлемой частью обеспечения качества процессов.

### Библиографический список

1. Перятинский, А. Ю. Разработка интегрального показателя качества производственного процесса для опосредованной оценки безопасности труда / А. Ю. Перятинский, Т. В. Свиридова, О. Ю. Ильина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 1(53). – С. 185-190. – DOI 10.46548/21vek-2021-1053-0034. – EDN UQLJKR.;
2. Соколов, А. А. Структура и составляющие анализа информации по техногенным циклам технологических процессов / А. А. Соколов, Ю. С. Петров // Перспективы науки. – 2020. – № 8(131). – С. 41-46. – EDN WONQTH.

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Данная статья рассматривает существующие модели и методики обеспечения качества процессов производства в горно-металлургической отрасли. В ней анализируются основные подходы к управлению качеством в данной области, такие как системы менеджмента качества, Six Sigma, технический контроль и инспекция, управление рисками, Lean-производство и инновационные технологии. Статья также подчеркивает важность правильного применения этих методов для обеспечения высокого качества продукции и повышения конкурентоспособности горно-металлургических предприятий.

**Ключевые слова:** Горно-металлургическая отрасль, качество продукции, системы менеджмента качества, Six Sigma, технический контроль, управление рисками, lean-производство.

## EXISTING MODELS AND METHODS FOR ENSURING THE QUALITY OF PRODUCTION PROCESSES IN THE MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY

This article examines the existing models and methods for ensuring the quality of production processes in the mining and metallurgical industry. It analyzes the main approaches to quality management in this area, such as quality management systems, Six Sigma, technical control and inspection, risk management, Lean manufacturing and innovative technologies. The article also emphasizes the importance of the correct application of these methods to ensure high product quality and increase the competitiveness of mining and metallurgical enterprises.

**Keywords:** mining and metallurgical industry, product quality, quality management systems, Six Sigma, technical control, risk management, lean manufacturing.

Горно-металлургическая отрасль является одной из ключевых отраслей промышленности, в которой производятся металлы и сплавы, необходимые для множества отраслей, включая строительство, автомобильную промышленность, энергетику и многие другие. Качество продукции в этой отрасли имеет критическое значение, поскольку дефекты или недостатки могут привести к серьезным последствиям, включая потерю жизней и большие финансовые потери. Для обеспечения высокого качества продукции в горно-металлургической отрасли используются различные модели и методики. Давайте рассмотрим некоторые из них.

Системы менеджмента качества (СМК):

Сертификация ISO 9001: Эта международная стандартная система менеджмента качества применяется в горно-металлургической отрасли для установления и поддержания процессов, обеспечивающих соответствие требованиям заказчиков и стандартам качества. ISO 9001 охватывает все аспекты управления качеством, от планирования до улучшения процессов.

Six Sigma:

Методология Six Sigma применяется для уменьшения дефектов и повышения производительности в горно-металлургических процессах. Она использует статистические методы и инструменты, такие как DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), чтобы систематически идентифицировать и устранять проблемы в производственных процессах.

Технический контроль и инспекция:

Использование современных технических средств, таких как неразрушающий контроль, металлографические и метрологические исследования, позволяет выявлять дефекты и аномалии в материалах и продукции на ранних стадиях производства, что позволяет принимать меры для их устранения.

Управление рисками:

Горно-металлургическая отрасль связана с рисками, связанными с безопасностью, экологией и соблюдением нормативных требований. Модели управления рисками помогают идентифицировать, анализировать и управлять потенциальными рисками, чтобы минимизировать их воздействие на производственные процессы и окружающую среду.

Lean-производство:

Принципы Lean-производства, такие как устранение излишков, повышение эффективности и уменьшение потерь, применяются для оптимизации процессов и ресурсов в горно-металлургической отрасли. Это способствует улучшению качества продукции и снижению затрат.

Инновационные технологии:

Внедрение современных технологий, таких как автоматизация, машинное обучение и Интернет вещей (IoT), позволяет следить за состоянием оборудования и процессов в реальном времени, что способствует более точному контролю и улучшению качества продукции.

Существующие модели и методики обеспечения качества процессов производства горно-металлургической отрасли являются ключевыми элементами успешной деятельности в этой области. Их правильное применение помогает улучшить качество продукции, увеличить производительность и снизить риски, что в конечном итоге способствует росту конкурентоспособности и удовлетворенности клиентов в этой важной отрасли.

### Библиографический список

1. Использование методов гидролого-экологической экспертизы для дифференциации ставок водного налога / В. В. Дмитриев, В. Л. Трушевский, М. А. Невская, Ю. В. Листратенко // Записки Горного института. – 2005. – Т. 166. – С. 11–14. – EDN BCZWEY.
2. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий / В. А. Кныш, Ф. Д. Ларичкин, М. А. Невская [и др.]. – Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук, 2019. – 252 с. – ISBN 978-5-91137-417-4. – DOI 10.37614/978.5.91137.417.4. – EDN BWOZJL.

*Н. В. Григин\**

кандидат технических наук, доцент

\*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева

## ИЕРАРХИЯ ПРИНЦИПОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Построение иерархии принципов стандартизации обеспечивает совершенствование процессов разработки и применения стандартов на всех этапах их жизненного цикла.

**Ключевые слова:** иерархия, принципы стандартизации, совершенствование.

*N. V. Grigin\**

PhD, Tech., Associate Professor

\*D. I. Mendeleev Institute for Metrology

## HIERARCHY OF STANDARDIZATION PRINCIPLES

Building a hierarchy of standardization principles ensures the improvement of the processes of development and application of standards at all stages of their life cycle.

**Keywords:** hierarchy, principles of standardization, improvement.

В задачах метрологического обеспечения единства измерений широко применяются документы по стандартизации, давно доказавшие высокую эффективность и большую отдачу от своего применения.

Общая значимость и роль стандартизации, как эффективного инструмента реализации социально-экономической политики, обеспечения безопасности, снижения технических барьеров в торговле подтверждается существованием и функционированием разветвлённой сети международных и национальных институтов по стандартизации. Об этом свидетельствуют рекомендации и документы международных организаций ОЭСР, АТЭС, ИСО/МЭК; рекомендации для правительств ЕЭК ООН и т.д.

Стандартизация позволяет существенно сократить сроки внедрения новой продукции и технологий за счет распространения и применения уже разработанных типовых (наилучших) практик и технологий. Опыт показывает, что вложения в стандарты дают на 1 единицу затрат от 20 до 40 единиц прибыли.

Стандарт – это база знаний, передового опыта и регламентации применения его требований в различных областях деятельности, науки, техники и производства.

Для разработки стандартов предпочтительно иметь понятные, апробированные и устоявшиеся приёмы и алгоритмы их создания. Но в настоящее время нет единых подходов по формированию перечня и иерархии принципов по стандартизации при их разработке.

Для примера можно сравнить законы по стандартизации Российской Федерации (2015 год) и Республики Беларусь (2004 год). В российском законе изложено 10 принципов, в белорусском законе о техническом нормировании и стандартизации – 6 принципов, в ГОСТ Р 1.0-2012 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения» – 17 принципов. Не прослеживается никакой логики в их предпочтении и очередности, связанной с основными этапами их разработки.

В белорусском законе вообще отсутствует принцип консенсуса (общего согласия), который в Международной организации по стандартизации (ИСО) объявлен основным принципом процедур разработки международных стандартов.

Что позволяет сделать построение в виде иерархии в любой системе? Иерархия – это высший порядок. Там, где есть порядок, есть и гармония, потому что гармония подразумевает также упорядоченное расположение на последовательные этапы развития. Гармония означает и другое понятие – совершенствование, потому что она выражает такое построение, которое помогает главной цели – прогрессирующему развитию.

Можно предложить следующую последовательность или иерархию принципов системы стандартизации:

1. Базовые принципы – без которых вообще не возможно создание и принятие решения по применению и утверждению стандарта [1]:

- востребованности;
- иерархичности;
- консенсуса;
- разработка стандартов в технических комитетах по стандартизации;
- легитимности;
- обязательность или добровольность применения стандарта.

2. Основные принципы разработки стандарта, обеспечивающие высокое качество стандарта:

- соответствие современному уровню развития науки, техники и технологий, передовому отечественному и зарубежному опыту, в том числе путем гармонизации с международными стандартами;
- соответствие документов в области стандартизации нормативным правовым актам Российской Федерации;

- единство структуры, стиля и терминологии;
  - комплексность и системность, в том числе выполнение метрологических требований;
  - открытость и прозрачность разработки;
  - непротиворечивость стандартов друг другу;
  - исключение дублирования разработки стандартов на идентичные объекты стандартизации и т.д.
3. Принципы, обеспечивающие эффективность управления жизненным циклом стандарта:
- обеспечение доступности документов по стандартизации и информации о них для заинтересованных лиц;
  - актуализация раз в 5 лет;
  - порядок изменения, отмены, опубликования и применения документов по стандартизации и т. д.

#### **Библиографический список**

1. Григин Н.В. Базовые принципы системы стандартизации // Метрологическое обеспечение инновационных технологий, сб. ст., СПГУАП, 2022, с. 169.

К. А. Гуляев\*

аспирант

А. И. Разумова\*

аспирант

\*Юго-Западный государственный университет (Курск)

## АКТУАЛЬНАЯ НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Описан анализ нормативной документации метрологического обеспечения предприятий в условиях цифровой трансформации.

**Ключевые слова:** цифровая трансформации, метрологического обеспечение, автоматизированная система, нормативная документация, высокопроизводительное предприятие.

К. А. Gulyaev\*

graduate student,

A. I. Razumova\*

graduate student,

\*Southwest state University, Kursk, Russia

## CURRENT REGULATORY DOCUMENTATION FOR METROLOGICAL SUPPORT OF ENTERPRISES IN THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION

The analysis of regulatory documentation for metrological support of enterprises in the context of digital transformation is described.

**Keywords:** digital transformation, metrological support, automated system, regulatory documentation, high-performance enterprise.

В современном производственном процессе цифровая трансформация неизбежна в условиях жесткой конкуренции. Современные преобразования направлены на модернизацию производственно-технологического уклада. Так на прямой линии 15.06.2017 г. Президент Российской Федерации Владимир Путин сказал: «... что касается цифровой экономики, без цифровой экономики мы не сможем перейти к следующему технологическому укладу, а без этого перехода, у страны, нет будущего. Поэтому это задача номер один в сфере экономики, которую мы должны решить» [2].



Рассмотрев актуальную нормативную документацию метрологического обеспечения предприятий в условиях цифровой трансформации можно выделить 4 группы:

Первая группа. Численное моделирование, компьютерное моделирование и цифровые двойники. В связи с развитием современных информационных технологий расширяется использование технологий компьютерного моделирования при решении задач разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Компьютерные модели становятся одной из форм представления результатов проектно-конструкторской деятельности. При этом одновременно возрастает роль компьютерного моделирования как альтернативы физическим испытаниям, позволяющего существенно сократить затраты на испытания в ходе создания изделий. Достижение этих целей возможно за счет сокращения количества циклов разработки, производства и испытаний опытных образцов изделия, а также сокращения количества изменений, вносимых в конструкцию при производстве и испытаниях опытных образцов изделий.

Вторая группа. Управление серийным производством. Определяет рабочую модель управления производственными операциями, которая инициирует работу системы управления предприятием, координирующей процесс интеграции.

Третья группа. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Определен язык, посредством которого могут быть описаны данные об изделии. Данный язык называется EXPRESS.

Четвертая группа. ГОСТ Р 58301-2018 Управление данными об изделии. Электронный макет изделия. Стандарт устанавливает общие требования к составу и разработке электронного макета изделия, представляемого в качестве результата проектно-конструкторских работ. Стандарт распространяется на изделия машиностроения и приборостроения, в т.ч. на продукцию военного и двойного назначения, включая их составные части. ГОСТ Р 8.818—2013 Распространяется на виртуальные средства измерений и виртуальные измерительные системы, разрабатываемые и применяемые в РФ, и устанавливает основные термины и их определения, а также основные положения и метрологические требования. Таким образом рассмотрена нормативная документация метрологического обеспечения в условиях цифровой трансформации.

#### **Библиографический список**

1. Консультант плюс. Госты. – URL: <https://www.consultant.ru/law/podborki/theme-gosty/> (дата обращения 17.01.2024).
2. Магомедова С.Г. Особенности цифровой трансформации экономики России // Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018025265?ysclid=lnf1ia9c94508442> (дата обращения: 21.01.2024).

**К. В. Епифанцев**

Доцент, кандидат технических наук, доцент

ФГАОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Email: epifancew@guap.ru

epifancew@gmail.com

**ГАРМОНИЗАЦИЯ СТАНДАРТОВ КАК ПРОГРЕССИВНЫЙ СПОСОБ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

В тезисах рассматриваются вопросы развития импортозамещающих технологий. Рассматривается вопрос гармонизации в сложных геополитических санкционных условиях. Представлены примеры импортозамещения в СССР, современной России, указана важность коллаборации во время импортозамещающего периода с различными блоками государств, при это важных эффектом от этого является открытый обмен технологиями.

**Ключевые слова:** импортозамещение, процессы развития реверсивного инжиниринга, стандарты СЭВ (Совета экономической взаимопомощи), BRICS, ЕАЭС, развитие инновационных технологий.

**К. V. Epifantsev**

Ph. D, Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Email: epifancew@guap.ru

epifancew@gmail.com

**HARMONIZATION OF STANDARDS AS A PROGRESSIVE WAY OF IMPORT SUBSTITUTION**

**Abstract** The theses consider the issues of the development of import-substituting technologies. The issue of harmonization in difficult geopolitical sanctions conditions is being considered. Examples of import substitution in the USSR and modern Russia are presented, the importance of collaboration during the import substitution period with various blocs of states is indicated, while the important effect of this is an open exchange of technologies.

**Keywords:** import substitution, reverse engineering development processes, CMEA (Council for Mutual Economic Assistance) standards, BRICS, EAEU, development of innovative technologies.

В современных условиях изолированности и ограниченности применения стандартов, возникают альтернативные, не менее прогрессивные системы стандартизации, на основе которых происходит развитие ответственного машиностроения и приборостроения. Этот процесс является неизбежным, без которого прогресс становится крайне замедленным. Однако, данная ситуация является не уникальной. Подобная позиция России неоднократно повторялась, начиная с ранних исторических периодов монархии. В разное время Петр I привлекал архитекторов и инженеров из государств, не ограничивающих развитие российской империи, развитие прогрессивных взглядов монархии – в частности из Италии. В советское время, в процессе ограниченности взаимоотношений с США, действовал Совет экономической взаимопомощи для СССР стал важным вектором развития импортозамещающих технологий. Часть технологических и конструкторских процессов государств-членов СЭВ (ГДР, Венгрия, Польша, Чехословакия, Болгария) становится частично элементами ГОСТ, ОСТ, ТУ, СНИП, РД, элементами технормалей Рис 1 (Технормали были разработаны как альтернатива DIN стандартам из ГДР). Чуть позже к СЭВ присоединяется Монголия, Куба, Вьетнам, Албания. Изоляция СССР выходит за границы через стран-союзников, это способствует наращиванию бартерной торговли, установлению более тесных культурных связей [1].

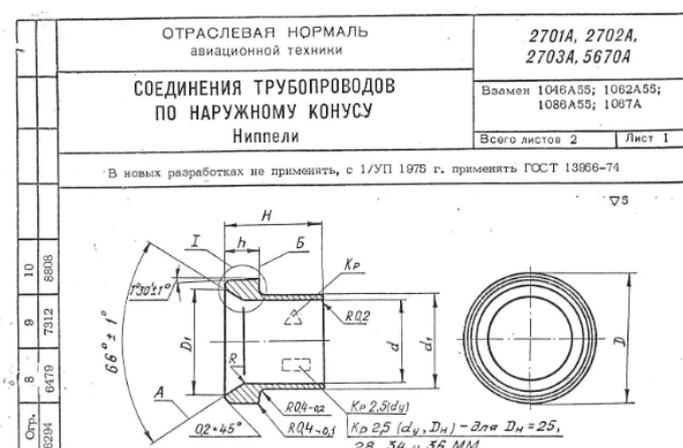


Рис. 1. Технологическая нормаль авиационной техники

Отраслевые нормалы применяются и в сегодняшних условиях, они очень удобны по по причине лаконичности, четкого и понятного разъяснения относительно контроля правильности изготовления изделий, требований к допускам.

В нормативных ссылках советских стандартов нельзя встретить ссылок на стандарты других зарубежных институтов стандартизации, однако страны СЭВ выступали неким альтернативой. В стандартах СЭВ большую долю занимали стандарты, описывающие правила конструкторской документации, технологической документацией. Эмблема СЭВ представлена на рисунке ниже (Рис.2). В будущем прототипом СЭВ станет организация ЕАЭС и BRICS.



Рис. 2. Эмблема СЭВ

Таким образом, вынужденный ввоз продуктов, побудил проводить политику постепенной гармонизации стандартов, таким образом частично совершенствуя действующую систему стандартизации, развивая своего рода импортозамещение. Это было важно, прежде всего, для улучшения отечественных технологий и поиска лучшего, оптимального решения. Новатором реверсивного инжиниринга, во многом изменившего представление о рациональности советских граждан и сформировавшего большой пласт стандартов пищевой промышленности, можно считать А.И. Микояна, который обогащал ассортимент продуктов питания лучшими аналогами американских, французских и иных видов деликатесов [2].

Взаимодействие с дружественными государствами здесь имеет важное значение. Примеры из опыта СССР и Российской империи были приведены выше. Также необходимо сказать про современное сообщество Евразийского экономического союза (Стандарты ТР ТС) и BRICS, которые являются культурными коллаборациями и объединяют культуры и экономики различных стран, в том числе в режиме частичной изоляции.

#### Библиографический список

1. Куницын А.В. Экономические отношения стран СЭВ с США. – М.: Наука, 1982. – 169 с.
2. Бойцов В.В.: [Электронный ресурс]. – URL: [https://studref.com/438244/menedzhment/vasiliy\\_vasilevich\\_boytsov\\_19081997](https://studref.com/438244/menedzhment/vasiliy_vasilevich_boytsov_19081997). Дата обращения 15.04.23.

*Н. А. Жильникова\**

д. т. н., профессор

*А. А. Березина\**

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ОЦЕНКЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье представлены результаты исследования подходов к анализу неопределенностей в оценке жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения промышленных производств, выбраны и обоснованы методы оценки неопределенности параметров и входных данных, уделено внимание неопределенности моделей и сценариев в оценке жизненного цикла.

**Ключевые слова:** оценка жизненного цикла, неопределенность, системы водоснабжения и водоотведения, воздействие на окружающую среду.

*N. A. Zhilnikova\**

Dr. of Tech. Science, Professor

*A. A. Berezina\**

Postgraduate, Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## UNCERTAINTY ANALYSIS IN THE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF WATER SUPPLY AND WATER DISPOSATION SYSTEMS FOR PULP AND PAPER PRODUCTIONS

**Abstract.** The article presents the results of a study of approaches to uncertainty analysis in assessing the life cycle of water supply and sanitation systems of industrial production, selected and justified methods for assessing the uncertainty of parameters and input data, and paid attention to the uncertainty of models and scenarios in life cycle assessment.

**Keywords:** life cycle assessment, uncertainty, water supply and wastewater systems, environmental impact.

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) представляет собой перспективную и эффективную систему экологической оценки, которая позволяет рассмотреть потенциальное воздействие систем и процессов водоснабжения и водоотведения производственных систем. Однако, ОЖЦ характеризуется высокой степенью неопределенности из-за необходимости обработки большого массива данных, что особенно важно при оценке жизненного цикла таких сложных технических систем как целлюлозно-бумажное предприятие (ЦБП), производство продукции которого включает множество технологических процессов, в том числе многоступенчатую систему водопотребления и водоотведения (СВВ) [1]. Отсутствие учета неопределенности в ОЖЦ снижает достоверность получаемых результатов, необходимых для принятия верных решений.

Для исследования неопределенностей в ОЖЦ применяются разнообразные методы анализа, такие как моделирование Монте-Карло, анализ чувствительности индекса качества данных, нечеткое многокритериальное принятие решений, анализ изменчивости, статистический анализ, регрессию гауссовых процессов, нечеткую логику Дельфи, нечеткую теорию грубых множеств, матрицу Pedigree, процедуру выбора решений, режим изменения и анализ эффектов, аппроксимацию первого порядка Тейлора, нечеткую синтетическую оценку и адаптивную нейро-нечеткую систему вывода [2].

Анализ вышеперечисленных методов показал, что неопределенность входных данных и изменчивость данных, свойственная ОЖЦ, рассматриваются только с помощью матрицы Pedigree. С другой стороны, метод матрицы Pedigree не имеет документированной эмпирической основы и опирается на экспертные суждения, что делает его результаты недостаточно точными. Следовательно, необходимо использовать другие методы анализа неопределенности для получения более точных результатов ОЖЦ. Помимо неопределенности исходных данных, на точность результатов ОЖЦ может значительно влиять неопределенность модели и сценария, что требует доработки в концепцию ОЖЦ теории нечетких множеств [3].

Применение теории нечетких множеств в оценке жизненного цикла систем водоотведения и водопотребления ЦБП позволит эффективно управлять неопределенностью и распределением водных ресурсов, особенно при разработке нормативов допустимого воздействия для предприятий-водопользователей в границах водно-ресурсной системы (ВРС) [4], так как доля нагрузки от производства на водный объект неизвестна, объем водопотребления может меняться. Применение теории нечетких множеств позволит учесть неизвестную долю техногенной нагрузки и изменчивость водопотребления при принятии решений в области водоотведения и водопотребления. Таким образом, интегрирование оценки жизненного цикла и теории нечетких множеств позволяет связать эффективность функционирования СВВ и риск её отказа с нечетким ограничением объема водопользования и моделировать прогнозы в долгосрочной перспективе [5].

### Библиографический список

1. Z. Barahmand, M.S. Eikeland. Life cycle assessment under uncertainty: a scoping review. URL: <https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/handle/11250/3018443> (дата обращения: 08.01.2024).
2. Y. Teng, W. Pan. Estimating and minimizing embodied carbon of prefabricated high-rise residential buildings considering parameter, scenario and model uncertainties. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320303103?via%3Dihub> (дата обращения: 10.01.2024).
3. W. Yue, Y. Cai, Q. Rong, C. Li, L. Ren, A hybrid life-cycle and fuzzy-set-pair analyses approach for comprehensively evaluating impacts of industrial wastewater under uncertainty. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.jclepro.2014.05.097> (дата обращения: 12.01.2024).
4. Жильникова. Н. А. Техничко-эколого-экономическая оценка эффективности водопользования производственных систем / Н. А. Жильникова, А. А. Баранова // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 12 (126). С. 70–74.
5. Жильникова Н. А. Методология обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств в рамках территориальных природно-производственных комплексов / Н.А. Жильникова // Радиопромышленность. 2020. Т. 30, № 1. С. 54-62.

*Н. А. Жильникова*

Профессор, д. т. н., доцент

*Л. А. Климочкина\**

ассистент

*Е. А. Минкинен\**

Магистрант

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

В тезисах доклада представлено исследование применения риск-ориентированного подхода в управлении качеством производственных систем на примере приборостроительных производств, функционирующих в арктических регионах Российской Федерации, в условиях изменения климата.

**Ключевые слова:** риск-ориентированный подход, приборостроение, управление качеством, производственная система, изменение климата.

*N. A. Zhilnikova\**

Prof., Doctor of Technical Sciences

*L. A. Klimochkina\**

assistant

*E. A. Minkinen\**

Undergraduate student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## QUALITY MANAGEMENT OF PRODUCTION SYSTEMS IN INSTRUMENTATION USING A RISK-BASED APPROACH

The thesis presents a study of the application of risk-oriented approach in the quality management of production systems on the example of instrument-making industries in the Arctic in the conditions of climate change.

**Keywords:** risk-based approach, instrumentation, quality management, production system, climate change.

Целью предприятий приборостроения в области качества является повышение точности работы, отвечающую требованиям российских и международных стандартов. Качество работы оборудования – это решающий фактор, обеспечивающий устойчивое экономическое положение и дальнейшее развитие предприятия. Особенно это актуально в условиях развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), указанное в стратегии развития Арктического региона до 2035 года [1].

Управление качеством производственных систем в приборостроении в северных широтах с применением риск-ориентированного подхода предполагает осуществление деятельности по идентификации, анализу и управлению рисками, связанными с процессами производства, а также со спецификой климатических особенностей региона [2]. Документация системы менеджмента качества (СМК) промышленного предприятия включает в себя набор документов, которые описывают и устанавливают процедуры, политики и требования [3].

Внедрение и применение риск-ориентированного подхода должно занимать одно из важных мест в стратегии предприятия. Задачей предприятия является сохранение стабильного положения на рынке и обеспечение финансовой устойчивости, поэтому предлагается применять взвешенную стратегию управления рисками, предполагающую применение методов определения и снижения рисков с учетом определённых факторов и климатических угроз [4]. Для этого проводится систематическая оценка рисков, которые позволяют определить вероятность возникновения неблагоприятных ситуаций и их возможные последствия [5]. Заключительным этапом внедрения риск-ориентированного подхода станет контроль и, в случае выявления отклонения, корректировка ранее разработанных предложений [6]. Пример оценки и прогнозирования рисков предприятий приборостроения в АЗРФ представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Возможные сценарии опасного события**

№	Событие	Причина возникновения	Негативные последствия	Меры предупреждения риска
1	Частичный отказ работы оборудования в результате климатических изменений	Заледенение частей прибора, резкий перепад температуры, подтопление местонахождения	Получение неверных результатов измерений, повышенные затраты	Использование износостойких материалов, не вступающих в реакцию с окружающей средой, своевременное

		оборудования, изменения микроклимата помещения	на починку оборудования	проведение технического осмотра оборудования, при условии критической климатической обстановке добавить дополнительный осмотр оборудования, контроль и проверка погодных условий.
2	Полный отказ работы оборудования в результате климатических изменений	Критические перепады температур, заледенение, критические погодные условия (сильные ветра), повышенная соленость воздуха	Чрезмерные затраты на покупку оборудования, приостановка измерений на неопределенный срок.	Контроль погодных условий, контроль физико-химических параметров среды
3	Неправильная эксплуатация оборудования	Низкая подготовка кадров	Получение неверных результатов измерения	Повышения качества образования

По матрице вероятности рисков можно определить приоритет риска и его уровень (табл. 2,3).

Таблица 2

#### Приоритет возможных рисков

Вероятность	Последствия		
	Незначительные	Средние	Высокоопасные
Малая вероятность риска	Незначительный риск	Небольшой риск	Приемлемый риск
Средняя вероятность риска	Небольшой риск	Приемлемый риск	Значительный риск
Высокая вероятность риска	Приемлемый риск	Значительный риск	Неприемлемый риск

Таблица 3

#### Уровень риска

Риск	Уровень риска
Частичный отказ работы оборудования в следствие заледенения	Приемлемый риск
Полный отказ работы оборудования при штормовом ветре	Приемлемый риск
Неправильная эксплуатация оборудования в следствие некачественной работы кадров	Небольшой риск

Предложенная выше матрица оценки риска учитывает климатические условия и существенно упрощает понимание направления действия по обеспечению безопасности производственных систем в северных широтах. Таким образом, риск-ориентированный подход позволяет определить, какие риски могут возникнуть в процессе производства и каким образом они могут повлиять на качество работы оборудования, а также позволяет минимизировать риски и обеспечивать высокий уровень качества работы.

#### Библиографический список

- Ивашина М. М. Риск-ориентированный подход как направление совершенствования системы менеджмента качества промышленных предприятий / Ивашина М. М., Нацыпаева Е. А., Попова Л. Ф // Экономический журнал. 2018. №2 (50). С. 26–39.
- Макарейко Н. В. Риск-ориентированный подход при осуществлении контроля и надзора // Юридическая техника. 2019. №13. С. 66–72.
- Ушвицкий Л. И. Риск-ориентированный подход к оценке эффективности инновационного проекта / Ушвицкий Л.И., Тер-Григорьянц А.А. // Прикладные экономические исследования. 2014. №1 (1). С. 69–74.
- Стаинов В. В. Риск-ориентированный подход в области промышленной безопасности / Стаинов В. В., Серых И. Р., Чернышева Е. В., Дегтярь А. Н. // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2018. № 12. С. 66–72.
- Осипова Г. К. Моделирование безопасности производственных систем с учетом климатических условий Арктики на основе риск-ориентированного подхода // Л. А. Климочкина, Н. А. Жильникова. // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве: III Междунар. форум. сб. тез. докл. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 143–146
- Жильникова, Н. А. Совершенствование методов обращения с твердыми бытовыми отходами в Арктике с учетом климатических изменений / Н. А. Жильникова, Е. А. Минкинен // Инновационное приборостроение. – 2023. – Т. 2, № 5. – С. 80–90.

**К. В. Золотухин\***

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрены основные методы и алгоритмы машинного обучения, применяемые в промышленности для повышения устойчивости и эффективности производства.

**Ключевые слова:** устойчивость, устойчивое производство, машинное обучение, искусственный интеллект

**К. V. Zolotukhin\***

Postgraduate student, Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## IMPROVING SUSTAINABILITY AND EFFICIENCY OF PRODUCTION WITH MACHINE LEARNING METHODS

The basic methods and algorithms of machine learning applied in industry to improve sustainability and efficiency of production are considered.

**Keywords:** sustainability, sustainable manufacturing, machine learning, artificial intelligence.

В настоящее время, с неизбежным возникновением новых вызовов к промышленности, неуклонно возрастает сложность производственных процессов, проблемы эффективности и устойчивости производства становятся более острыми и требуют наиболее высокотехнологичных решений. В данном контексте, технологии искусственного интеллекта, в частности машинное обучение, наряду с другими инструментами цифровизации производства, способны переопределить и улучшить многие аспекты функционирования производственных систем.

Понятие устойчивости, применительно к производству, определено в ГОСТ Р 57273-2016 [1], в котором устойчивое развитие производства обозначено как возможности производства рационально использовать природные ресурсы путем создания продукции и принятия решений (с привлечением сети поставщиков, партнеров и персонала), которые благодаря новым технологиям и мерам регулирования отвечают целям устойчивого развития (экономическим, экологическим и социальным).

Исходя из определения, следует, что области устойчивого производства непременно включают планирование производства и графики работы цехов, контроль общего энергопотребления, проектирование продукции и экологически чистую обработку. В эпоху Индустрии 4.0, применение в производственном секторе таких технологий, как Интернет вещей, искусственный интеллект (ИИ), анализ больших данных и др., позволяет влиять на практику устойчивого развития производства, способствуя снижению трудозатрат, общего потребления энергии, и улучшению прогнозирования технического обслуживания с учетом текущего состояния [2]. В этой связи, необходимо применение инструментов организации и анализа больших объемов сгенерированных и накопленных данных, которые могут быть полезны для принятия решений в будущем. К таким инструментам относятся методы машинного обучения (МО), которое наряду с алгоритмами глубокого обучения являются «подмножествами» ИИ.

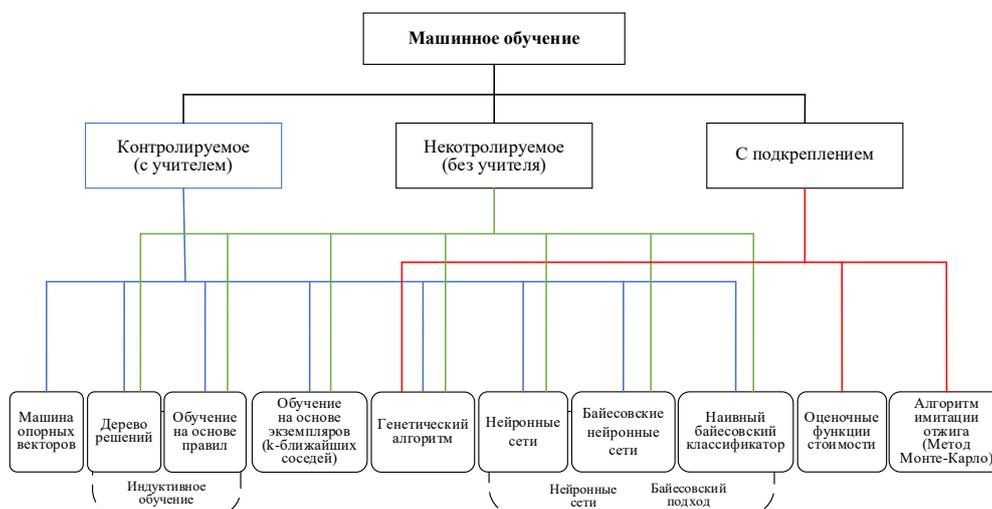


Рис. 1. Структуры методов и алгоритмов МО

МО является одним из основных направлений ИИ, и может быть определено как научное исследование алгоритмов и вычислительных моделей с использованием опыта для постепенного улучшения производительности или проведения точных прогнозов. МО – это форма анализа данных, которая использует алгоритмы для непрерывного обучения на основе данных. МО позволяет компьютерам распознавать скрытые закономерности, не прибегая к программированию [3]. Ключевой аспект МО заключается в том, что когда модели подвергаются воздействию новых наборов данных, они адаптируются, чтобы генерировать надежные и последовательные результаты.

Структура основных методов МО и их алгоритмов, применяемых в промышленности для повышения эффективности и устойчивости производства, приведены на рисунке 1 [3].

Исходя из рис. 1, основными методами МО, применяемыми для решения производственных задач, являются: контролируемое (с учителем) – при котором модель обучается на размеченных данных, где каждый обучающий пример состоит из входных данных и соответствующего выходного значения (метки или целевой переменной); неконтролируемое – в котором в отличие от предыдущего, модель обучается на неразмеченных данных, где нет целевых меток, и алгоритмам предоставляется свобода поиска структуры и закономерности в анализируемых данных самостоятельно; с подкреплением – основано на обучающих примерах, при обучении моделям задается среда, группа некоторых действий, цель и вознаграждение, алгоритм учится посредством поощрений и наказаний [2, 4, 5].

Согласно [3], применение методов МО, приведенных на рис. 1, подтверждает свою эффективность в таких областях, как прогнозирование сбоев в оборудовании, оптимизация производственных процессов, управление запасами и контроль качества продукции, что подчеркивает перспективы внедрения технологий МО для решения проблем, возникающих на различных этапах производства.

К примеру, в производственном контексте, алгоритм машины опорных векторов (SVM) отмечается в области планирования процессов, оценки качества и прогнозирования износа инструмента, алгоритмы индуктивного обучения (например дерево решений) – в области выбора наилучшей технологии и проектировании жизненного цикла (прогнозировании времени цикла/потока/выполнения поставленной задачи), а также при формировании цепочки поставок, на основе сформированной системы нечеткого вывода (обучение на основе правил). Искусственные нейронные сети могут быть полезны при прогнозировании спроса, оценке использования производственных мощностей, повышении качества, оптимизации параметров обработки (является одной из самых широко используемых технологий ИИ). Алгоритм Байесовские сети, в основе которого используется теорема Байеса для прогнозирования выходного класса с априорной и условной вероятностью, задействован в области мониторинга и диагностики производственных систем, оценке производительности, моделировании устойчивости. Генетические алгоритмы, основывающиеся на теории Дарвина, известные как эвристика поиска, используются для решения задач оптимизации в разных секторах.

В рамках устойчивого производства, генерируемые и накапливаемые большие объемы данных на различных этапах устойчивого производства могут быть эффективно обработаны с помощью методов и алгоритмов МО, описанных ранее. Получаемая практическая польза внедрения различных подходов МО, имеющих свои сильные и слабые стороны, в контексте повышения устойчивости производства, может быть представлена в виде следующей структуры (рис. 2).

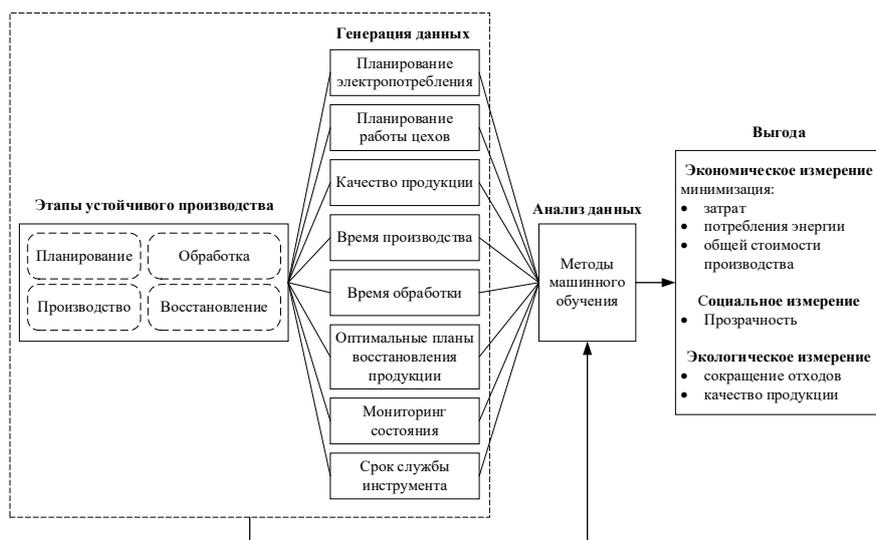


Рис. 2. Устойчивое производство на основе МО

Таким образом, внедрение представленных подходов МО может способствовать оптимизации и повышению эффективности производства, посредством таких улучшений, как оптимальное распределение и использование ресурсов, прогнозирование срока службы инструментов и изделий, сокращении времени разработки продукта и уменьшение отходов, охватывающих экономическое, экологическое и социальное измерение.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 57273-2016 Устойчивое развитие производственных сетей. Общие положения.
2. Chen, T.C.T., Wang, Y.C. (2022). Artificial Intelligence in Manufacturing. In: Artificial Intelligence and Lean Manufacturing. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04583-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04583-7_2).
3. Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M., Kumar, A., Kumar, V., & Garza-Reyes, J.A. (2021). Machine learning applications for sustainable manufacturing: a bibliometric-based review for future research. *J. Enterp. Inf. Manag.*, 35, 566–596.
4. Welsing, M., Maetschke, J., Thomas, K., Gützlaff, A., Schuh, G., Meusert, S. (2021). Combining Process Mining and Machine Learning for Lead Time Prediction in High Variance Processes. In: Behrens, B.A., Brosius, A., Hintze, W., Ihlenfeldt, S., Wulfsberg, J.P. (eds) Production at the leading edge of technology. WGP 2020. Lecture Notes in Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-62138-7\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-662-62138-7_53).
5. Mohamed, K. S. (2023). An Introduction to Deep Learning. In: Deep Learning-Powered Technologies. Synthesis Lectures on Engineering, Science, and Technology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35737-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35737-4_1).

*К. В. Золотухин\**

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА ДЛЯ ВЫТЯГИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассмотрен вариант применения нечеткой логики в рамках вытягивающей системы бережливого производства, позволяющей повысить уровень гибкости в условиях неопределенности.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, вытягивающее производство, бережливое производство.

*K. V. Zolotukhin\**

Postgraduate student, Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## FUZZY LOGIC FOR PULL PRODUCTION UNDER UNCERTAINTY

The application of fuzzy logic within a pull production system of lean manufacturing is considered to increase the level of flexibility under uncertainty.

**Keywords:** fuzzy logic, pull production, lean manufacturing.

В настоящее время, промышленные предприятия сталкиваются с проблемами неопределенности, возникающей из-за различных факторов, таких как колебания рыночных условий, изменчивость поставок, технические сбои и др., которые могут оказывать негативное влияние на конкурентоспособность. Для повышения эффективности и конкурентоспособности, а также оптимизации производства, одним из перспективных направлений для предприятий является внедрение инструментов бережливого производства, а также применение технологий искусственного интеллекта (ИИ).

В вопросах оптимизации и выравнивания производства наиболее важными бережливыми инструментами являются вытягивающее производство и «точно-в-срок» (JIT), которые подразумевают получение задания от вышестоящей рабочей станции для обработки в тот момент, когда нижестоящая рабочая станция вот-вот станет бездействующей [1, 2].

Как правило, производственные операции на рабочей станции выполняются оператором и машиной совместно, соответственно время обработки можно считать неопределенным. Поскольку при моделировании подобной неопределенности с помощью вероятностной статистики потребуются сделать неоднократные допущения, подобный метод может оказаться достаточно сложным и не точным. В данном случае, наиболее удобным будет применение нечеткой логики.

Нечеткая логика – это дисциплина ИИ, помогающая преодолеть неопределенность посредством использования функции принадлежности, которая определяет уровень истинности инцидента, вносящего свой вклад в степень неопределенности [3, 4]. На рисунке 1 представлен процесс фаззификации, выполняемый с использованием функции принадлежности (треугольной, трапециевидной, гауссовой), который дефаззифицируется с помощью правил ЕСЛИ-ТО.

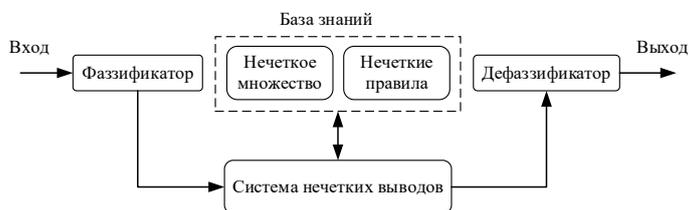


Рис. 1. Принципиальная схема нечеткой логики

Нечеткая логика представляет возможность наиболее гибкого и адаптивного управления производственными процессами. Время обработки на рабочей станции можно аппроксимировать с помощью нечетких треугольных чисел (НТЧ). К примеру, если представить простую вытягивающую производственную систему с двумя рабочими станциями с известным временем обработки, формализуемым с помощью НТЧ, то при известном количестве заказываемых единиц продукции, время начала и завершения операций на рабочих местах можно определить с помощью законов нечеткой арифметики. В случае нескольких заказов, происходит упорядочивание по срокам их выполнения, то есть последний заказ будет выполняться первым. Оценка рассчитанных временных параметров позволяет сформировать нечеткий производственный план, после чего проанализировать и внести улучшения. Визуально, данный процесс можно представить, как на рисунке 2.

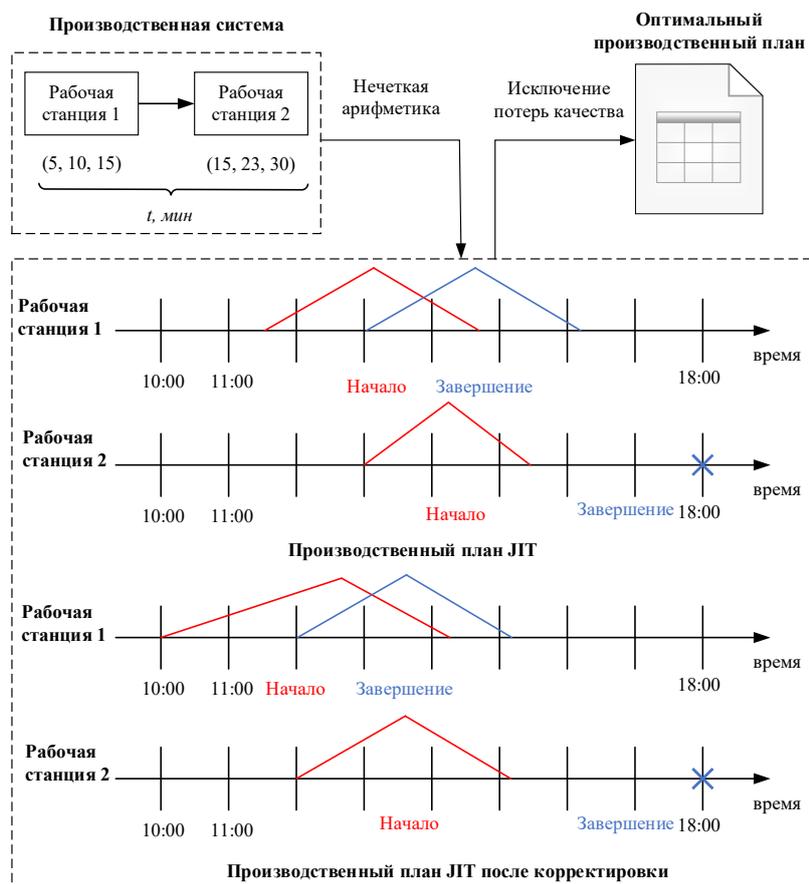


Рис. 2. Сравнение производственных планов «точно-в-срок» с учетом возможных потерь

Таким образом, применение нечеткой логики позволяет лучше адаптировать вытягивающие производственные системы к возникающим рыночным изменениям, повышая гибкость, что является особенно важным в условиях неопределенности. Также среди преимуществ следует отметить оптимизацию используемых ресурсов (сырье, время) и контроль объема незавершенного производства, что способствует снижению рисков возникновения негативных последствий.

#### Библиографический список

1. К. В. Золотухин. Вытягивающая производственная система в бережливом производстве / Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве III Международный форум 8 ноября 2023 г. Сборник тезисов докладов. Часть 2 – С. 195–198.
2. Chen, T.C.T., Wang, Y.C. (2022). AI Applications to Pull Production, JIT, and Production Leveling. In: Artificial Intelligence and Lean Manufacturing. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04583-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04583-7_4).
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.
4. Mupati, O., Mukherjee, A., Mishra, D. et al. A critical review on applications of artificial intelligence in manufacturing. Artif Intell Rev 56 (Suppl 1), 661–768 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10535-y/>.

*К. В. Золотухин\**

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ФИЛОСОФИИ УЛУЧШЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ – КАЙЗЕН И ДЖИШУКЕН

В статье представлены ключевые принципы деятельности концепции бережливого производства: Кайзен и Джишукен, предполагающие постоянное улучшение в действии.

**Ключевые слова:** Кайзен, Джишукен, бережливое производство.

*K. V. Zolotukhin\**

Postgraduate student, Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## IMPROVEMENT PHILOSOPHIES OF KAIZEN AND JISHUKEN IN THE PRODUCTION ENVIRONMENT

This article presents the key operating principles of the lean manufacturing concept: Kaizen and Jishuken, involving continuous improvement in action.

**Keywords:** Kaizen, Jishuken, lean manufacturing

В настоящее время, необходимость постоянного совершенствования и оптимизации приобретает все большую значимость в достижении высокой эффективности производства. Философии улучшения, такие как Кайзен и Джишукен, широко известные в рамках концепции бережливого производства Toyota, становятся ключевыми элементами успешных бизнес-стратегий, по большей части на зарубежных, а также на некоторых отечественных предприятиях.

Кайзен – японское слово, переводимое как «постоянное улучшение». Эта философия нацелена на внедрение культуры постоянного роста и развития в организации. Основными принципами Кайзен являются поиск неэффективных процессов, устранение потерь, и участие всех уровней персонала в процессе улучшения [1]. Процесс Кайзен включает в себя регулярные совещания, анализ производственных данных, обучение персонала новым методам и технологиям, а также систематическую проверку и корректировку текущих процессов. Организации, следующие принципам Кайзен, стремятся к повышению эффективности, качества и конкурентоспособности.

Джишукен – это японский термин, используемый для обозначения деятельности по улучшению организации, осуществляемой под надзором высшего руководства. В бережливом менеджменте, Джишукен называется намеренной деятельностью, ориентированной на рабочее место, как часть Гемба Кайзен. Джишукен это процесс обучения, используемый Toyota для повышения уровня навыков TPS своих менеджеров, и основных мотивационных принципов решения проблем. Менеджеры, которые стремятся к постоянному совершенствованию по пути Toyota, являются лидерами в стимулировании инноваций и творческого подхода в своих сотрудниках [2].

Джишукен, в отличие от Кайзен, является событием или мероприятием, направленным на обучение и внедрение новых методов с целью достижения конкретных улучшений в ограниченной области. Фокусировка происходит на конкретном проекте, где специально подготовленные команды обучаются и анализируют текущие процессы, внедряя изменения для достижения целей проекта. Стоит отметить, что Джишукен иногда определяют как Кайзен-деятельность, управляемую высшим руководством, в ходе которой члены высшего руководства определяют области, нуждающиеся в улучшении [2]. Этапы Джишукен включают в себя обучение персонала, изучение и анализ текущих процессов, разработку новых методов и технологий, внедрение изменений и обучение персонала новым навыкам. Это позволяет организации более глубоко сконцентрироваться на решении конкретных проблем и достижении конкретных результатов в короткий срок. Основные элементы деятельности Джишукен представлены на рис. 1.



Рис. 1. Основные элементы Джишукен

Таким образом, Кайзен и Джишукен представляют собой стратегии постоянного развития и улучшения в действии. В то время как Кайзен охватывает широкий спектр деятельности, внедряя культуру постоянного роста, Джишукен фокусируется на решении более узконаправленных конкретных задач в рамках конкретных проектов. Обе философии играют ключевую роль в создании гибкой, эффективной и конкурентоспособной среды для организации, позволяя адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям рынка.

#### **Библиографический список**

1. Prabir Jana, Manoj Tiwari. 2 – Lean terms in apparel manufacturing, Editor(s): Prabir Jana, Manoj Tiwari, In The Textile Institute Book Series, Lean Tools in Apparel Manufacturing, Woodhead Publishing, 2021, Pages 17–45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819426-3.00010-2> (дата обращения 24.01.2024).
2. David Devoe. The Кайзен Maturity Model from “Spot Кайзен to Global Jishuken” <http://leanfor6s.com> (дата обращения 24.01.2024).

*А. В. Чабаненко\**

Кандидат технических наук, старший преподаватель

*Д. Ф. Казадио\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Описаны инновационные методы обеспечения качества радиоэлектронной аппаратуры с учетом современных цифровых технологий.

**Ключевые слова:** управление качеством, качество, цифровые технологии, реверсивный инжиниринг.

*D. F. Kazadio\**

Student

*A. V. Chabanenko\**

PhD

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## INNOVATIVE APPROACHES TO ENSURING THE QUALITY OF ELECTRONIC EQUIPMENT

This article describes innovative methods for ensuring the quality of radio-electronic equipment, taking into account new digital technologies.

**Keywords:** quality management, quality, digital technologies, reverse engineering.

В эпоху стремительного развития технологий, радиоэлектронная аппаратура становится неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, играя важную роль в самых разнообразных секторах – от промышленности и транспорта до медицины и бытового использования. Это ставит перед производителями серьезные задачи по обеспечению высокого качества и надежности своей продукции. В этих условиях, инновационные подходы в контроле качества и производстве радиоэлектронной аппаратуры выходят на передний план, предлагая новые решения для старых проблем и открывая пути к более совершенным и эффективным технологиям.

С развитием цифровых технологий появилась возможность более тонкого и точного контроля за процессами производства радиоэлектроники. Применение систем компьютерного зрения на производственных линиях позволяет осуществлять автоматический контроль качества с высокой точностью. Также важную роль играет использование технологии больших данных (Big Data) для анализа и прогнозирования потенциальных неисправностей, что позволяет предотвратить дефекты на ранней стадии.

Технология 3D-печати открывает новые горизонты в разработке и тестировании радиоэлектронной аппаратуры. Быстрое прототипирование позволяет инженерам тестировать и модифицировать конструкции в кратчайшие сроки. Это не только ускоряет процесс разработки новой продукции, но и способствует повышению ее качества за счет возможности оперативного устранения недостатков. Реверсивный инжиниринг нашел широкое применение в отраслях, где используются высокие технологии, однако его методы могут быть эффективны в любом секторе промышленности. Этот процесс является творческим и включает в себя понимание технологий, осознание принципов работы устройств и способность соединять отдельные компоненты для достижения нужных рабочих характеристик. Основной задачей здесь является реконструкция неизвестной технологии изготовления компонента для воспроизведения идентичного результата. В этом процессе проводится анализ функционирования детали, изучаются области ее применения и возможные методы создания ее копии. Критически важным аспектом обратного инжиниринга является создание ее цифрового дубликата с использованием систем для автоматизированного проектирования (САПР).

Применение новаторских методов в контроле качества радиоэлектронной техники критически важно для ее надежности и продолжительности службы. Внедрение цифровых технологий, использование возможностей искусственного интеллекта, применение технологий 3D-печати, а также реверсивный инжиниринг способствуют не только улучшению качества изделий, но и стимулируют прогресс в сфере радиоэлектронной аппаратуры.

### Библиографический список

1. Николаева С. Ю., "Обратная инженерия в радиоэлектронике: методы и приложения", М.: Высшая школа, 2020.
2. Кузнецова Т. Н., Гусев А. С. "3D-печать в радиоэлектронной промышленности", М.: Энергоатомиздат, 2023.
3. Левин Б. Р. "Основы качества радиоэлектронных систем", М.: Радио и связь, 2020.

*А. Д. Ковалева\**

студентка 4 курса

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Описаны основные особенности и подходы управления качеством, обязательные к использованию в процессе производства предприятием машиностроения изделия.

**Ключевые слова:** машиностроение, система менеджмента качества, технический контроль, статистический контроль, управление качеством, основные особенности.

*A. D. Kovaleva\**

student

*S. A. Nazarevich\**

Ph.D., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## FEATURES OF QUALITY MANAGEMENT IN MECHANICAL ENGINEERING

The main features and approaches of quality management are described, which are mandatory for use in the production process of a product by a machine-building enterprise.

**Keywords:** mechanical engineering, quality management system, technical control, statistical control, quality management, main features.

В современном мире существует масса различных заводов и предприятий, предоставляющих огромный и разнообразный ассортимент товаров и оказывающих не менее впечатляющее своим количеством разнообразие услуг. С целью повышения качества продукции, которую производит то или иное предприятие, внедряют систему менеджмента качества, основанную на процессном подходе.

Машиностроение – это отрасль промышленности, которая занимается проектированием, производством, обслуживанием и утилизацией машин, технологического оборудования и их деталей. Необходимость системы менеджмента качества в машиностроении возникает в связи с потребностью в предотвращении влияния случайных, местных и субъективных факторов на уровень качества изделий. Кроме того, для поддержки уровня качества на соответствующем уровне особенно важно постоянно воздействовать на процесс создания продукта.

Можно выделить следующие четыре основных подхода к качеству, используемых предприятиями машиностроения:

Советизм – обеспечение качества рассматривает как героическое решение проблем; существуют постоянные проблемы с качеством, в условиях планово-распределительной системы качество означает соответствие стандарту.

Тейлоризм – рассматривает качество как отсутствие проблем; наблюдается потеря ответственности за качество.

Тоталитаризм – качество является способом угодить руководителю или старшему по должности; существует высокий уровень субординации.

Всеобщее управление качеством – рассматривает качество как способ получения удовольствия от работы и доставления удовольствия потребителю; характерна готовность взять на себя больше обязанностей и полномочий.

Отличительной чертой управления качеством в машиностроении является повышенное внимание к контрольным мероприятиям. Контролю подвергаются все изделия, изготовленные на предприятии. Существуют две группы методов контроля качества изделий машиностроения: технический контроль и статистический контроль.

Технический контроль осуществляет проверку соответствия продукции или процесса установленным техническим требованиям. Отдел технического контроля занимается проверкой качества материалов, находящихся на различных этапах производства, готовой продукции, оборудования, используемого в процессе производства, технологических процессов. Также ведется учет и комплексный анализ дефектов и брака.

Применение статистических методов нацелено на исключение случайных изменений качества продукции, возникающих в последствии определенных причин. К статистическим методам контроля качества изделий машиностроения относятся: статистический приемочный контроль по альтернативному признаку; выборочный приемочный контроль по варьирующим характеристикам качества; стандарты статистического приемочного контроля; система экономических планов; планы непрерывного выборочного контроля; методы статистического регулирования технологических процессов.

Еще одной особенностью управления качеством в машиностроении – это периодический пересмотр требований, предъявляемых к производимой продукции. Данное явление следует из повышения ожиданий к изделиям потребителями.

Таким образом, в современном машиностроении активно применяется деятельность по управлению качеством изготавливаемых изделий, помогающая предотвратить выпуск бракованной продукции.

### Библиографический список

1. Ксения Вадимовна Дерюгина. Управление качеством в машиностроении //Образовательный портал «Справочник». – Дата написания статьи: 17.10.20 – URL: [https://spravochnick.ru/menedzhment/upravlenie\\_kachestvom\\_v\\_mashinostroenii/](https://spravochnick.ru/menedzhment/upravlenie_kachestvom_v_mashinostroenii/) (дата обращения: 29.01.2024).
2. Холодкова А. Г. Общая технология машиностроения / А.Г. Холодкова. – М.: Academia, 2019. – с. 247.

*Т. И. Комаров\**

аспирант

*В. С. Комарова\**

аспирант, преподаватель

*Г. В. Гетманова\**

к.э.н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Описаны методы и задачи расчета надежности, обеспечивающие качество сложных технических систем.

**Ключевые слова:** повышение качества, повышение уровня надежности, расчет надежности, задачи надежности.

*T. I. Komarov\**

graduate student,

*V. S. Komarova\**

graduate student,

*G. V. Getmanova\**

Ph.D. Econ., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ENSURING THE QUALITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS BASED ON RELIABILITY INDICATORS

Methods and tasks for calculating reliability that ensure the quality of complex technical systems are described.

**Keywords:** production planning, cycle time, automated system, lean production.

Надежность и качество играют решающую роль в использовании абсолютно любого объекта. Начиная с парашюта, заканчивая авиационным двигателем. Возникновение отказа и того, и другого может привести к очень трагичным последствиям, поэтому нельзя недооценивать данные понятия.

Если о качестве говорят достаточно часто, то о понятии надежности сильно реже. Хотя оно является самостоятельной единицей, имеющей особую важность при разработке и производстве продукции. В России стандартом, регламентирующим надежность, является ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике». В западных странах используют ТС 45 «Dependability» Международной электротехнической комиссии.

Предметом рассмотрения в рамках надежности становится объект. Он может представлять из себя элемент, устройство, оборудование, здание, программное обеспечение, персонал. Выделяют два основных состояния для объекта: работоспособное и неработоспособное, между ними может быть либо отказ, либо восстановление. Существует предельное состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна. Процессы изменения состояния объекта рассматриваются, как случайные, которые могут зависеть от внешних (режим использования, климатические условия) и внутренних факторов (качество используемых комплектующих), поэтому математическую основу для теории надежности формируют теория вероятности и математическая статистика.

С точки зрения качества надежность является комплексным показателем, включающая в себя такие свойства, как безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость и готовность.

Основными задачами надежности являются:

1. Задание требований по надежности для различных объектов;
2. Прогнозирование, расчетная оценка показателей надежности;
3. Экспериментальная оценка показателей надежности испытания на надежность;
4. Выработка предложений, направленных на обеспечение надежности или на её повышения.

Для обеспечения качества и надежности сложных технических систем необходимо поставить задачу для расчета её надежности. Зная значения показателей надежности элементов, можно рассчитать показатели надежности системы. Системы бывают последовательными, параллельными, приводимыми и неприводимыми. В зависимости от этого строится математический расчет надежности системы.

Одним из методов обеспечения надежности является резервирование, которое обуславливает использование дополнительных элементов для недопущения отказа. Различают несколько видов резервирования: структурное, временное, информационное, функциональное, нагрузочное. Задачей оптимального резервирования является определение числа резервных элементов каждого типа.

Таким образом, через расчет и повышение надежности элементов происходит улучшения такого показателя качества системы, как надежность, который в свою очередь отразится на пользовательском опыте выпускаемого продукта.

#### **Библиографический список**

1. Гнеденко Б. Б., Беяев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. 3-е изд. – М.: Либроком, 2019. – 584 с.
2. Нетес В. А. Основы теории надежности: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2019. – 102 с.

*Г. И. Кориунов\**

Доктор технических наук, профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассмотрены вопросы оценки качества производства электроники и связанные метрологические задачи регламентирования и совершенствования оценки неопределенности на основе методов и стандартов.

**Ключевые слова:** качество, несоответствия, виды неопределенности, этапы жизненного цикла, рекурсия, безотказное производство, автоматические инспекции.

*G. I. Korshunov\**

Doctor of science, professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## METROLOGICAL ASPECTS OF ELECTRONIC PRODUCTS PRODUCTION IN STATISTICAL QUALITY ASSESSMENT UNDER UNCERTAINTY

The issues of assessing the quality of electronics production and related metrological problems of regulating and improving uncertainty assessment based on methods and standards are considered.

**Keywords:** quality, inconsistencies, types of uncertainty, life cycle stages, recursion, failure-free production, automatic inspections.

Качество определено в общем виде ГОСТ Р ИСО 9000-2015 как «Степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям». Практическое применение такого определения находит в различных интерпретациях: бездефектное производство, функция полезности, конкурентоспособность и т.д. Формализация требований к характеристикам также является нетривиальной задачей и определяет цель проекта. В частности, качество может быть представлено своим антиподом – несоответствием. В [1] показано, что всегда при оценке качества остается неопределенность, обусловленная различными причинами. Некоторые причины кратко рассмотрены ниже применительно к статистической оценке качества электронной продукции.

### Неопределенность: определения и проблемы развития методов

В ГОСТ 34100.3—2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. (Неопределенность измерения Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения) введены несколько видов неопределенности (таблица 1), применимых для дальнейшего уточнения и минимизации несоответствий и связанных с ними рисков.

Таблица 1

### Виды неопределенности

Неопределенность по п. п. ГОСТ 34100.3–2017	Определение и содержание термина
2.3.1 стандартная неопределенность (standard uncertainty):	Неопределенность результата измерения, выраженная в виде стандартного отклонения
2.3.2 оценивание (неопределенности) типа А [Type A evaluation (of uncertainty)]:	Метод оценивания неопределенности путем статистического анализа ряда наблюдений
2.3.3 оценивание (неопределенности) типа В [Type B evaluation (of uncertainty)]:	Метод оценивания неопределенности, отличный от статистического анализа ряда наблюдений
2.3.4 суммарная стандартная неопределенность (combined standard uncertainty):	Стандартная неопределенность результата измерения, полученного из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню взвешенной суммы дисперсий или ковариаций этих величин, весовые коэффициенты при которых определяются зависимостью изменения результата измерения от изменений этих величин
2.3.5 расширенная неопределенность (expanded uncertainty):	Величина, определяющая интервал вокруг результата измерения, который, как ожидается, содержит в себе большую часть распределения значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине

Анализ приведенного и других стандартов, например ГОСТ Р 8.932—2022, где используется термин «неопределенность измерений», и других нормативных документах показал, что в них также содержатся неопределенности, обусловленные недостатком статистических и других данных, применением только нормального распределения, влиянием «человеческого фактора» и других факторов. Это показывает, что необходимые меры по регламентации в этой области основаны на достигнутому к этому моменту научно-техническому уровню и должны совершенствоваться

Применительно к обеспечению качества и бизнеса в целом таким ориентиром служит базовая работа [2]. Рассуждения Ф. Х. Найта и его многочисленных сторонников в практике управления инновационными проектами сводится к возможности осуществления деятельности в условиях выявления неопределенности с помощью вероятностных и сопутствующих моделей на этапах, где информация может быть воспринимается как надежная. На других этапах раскрытие неопределенности (ее называют невычислимой) требует других подходов, например, риска потерь и неуверенность в победе.

### Поэтапная оценка несоответствий

В [3] обеспечение контроля качества производства электронных изделий достигается встраиванием автоматических оптических инспекций (АОИ) в линию для получения экспериментальных данных, где:  $3D\ SPI$  – инспекция нанесения паяльной пасты,  $3D\ AOI$  – автоматические оптические инспекции после этапов установки элементов и после оплавления в печи. Критерием оценки являлась минимизация несоответствий заданным параметрам и ограничениям на этапах жизненного цикла на основе рекурсивной модели оценки вероятностных характеристик на любых этапах, оборудованных оптическими инспекциями, где требования к качеству задаются исходя из технических возможностей автоматических оптических инспекций на основе международного стандарта IPC-610-D. В качестве вероятностных характеристик могут быть использованы частота, вероятность, плотность вероятности несоответствий. Рассмотрен ординарный стационарный процесс с независимыми событиями, для которых справедливо вероятностное распределение дискретного типа Пуассона. Для построения рекурсивной математической модели обеспечения качества для многоэтапного ЖЦ введены:

1.  $S_0$  – количество образцов в серии (для малосерийного производства 100...300);
2.  $p_1...p_4$  – оценки вероятности несоответствий на локально рассматриваемых этапах без учета предыстории;
3.  $P_1...P_4$  – оценки вероятности несоответствий по результатам контроля с учетом предыстории.

После выполнения математических преобразований и приведения к канонической форме получено рекуррентное выражение оценки вероятности несоответствий

$$P_n = p_n \left[ \left( 1 + \sum_{m=2}^{2k} \prod_{i=1}^m p_{n-i} \right) - \sum_{m=3}^{2k+1} \prod_{i=1}^m p_{n-i} \right]$$

### Бездефектное производство

В [4] рассмотрена концепция, основанная на создании системы стандартов, направленных на бездефектное производство и применимых к электронной продукции. К ним относятся ГОСТ Р 51814.2. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов, ГОСТ Р 51814.3. Методы статистического управления процессами, ГОСТ Р 51814.5. Анализ измерительных и контрольных процессов. Основой статистического контроля качества является концепция «шесть сигм», устанавливающая методы определения значений индексов воспроизводимости ( $C_p$  и  $C_{pk}$ ) и пригодности ( $P_p$  и  $P_{pk}$ ) процессов, применение индекса воспроизводимости распространено на этапы разработки и производства, однако там же приведены аргументы, определяющие его применение для достаточно большого объема производства. На автоматических линиях расчет указанных индексов выполняются встроенными средствами. Встроенные средства в том числе АОИ для определения индексов воспроизводимости и пригодности процессов монтажа при калибровке основаны на доверии к поставщику оборудования. Указанные подходы не в полной мере соответствуют метрологическим требованиям.

### Дальнейшее развитие

Развитие нейронных сетей (НС) и больших данных позволяют выбирать варианты оценок в прямых НС, аккумулировать опыт в рекурсивных НС и прогнозировать статистическими методами совершенствование оценки качества в условиях неопределенности в заданных проблемных областях и в условиях импортозамещения.

### Библиографический список

1. Г. И. Коршунов, А. А. Дзюбаненко, П. С. Зайцев. Обеспечение контроля качества сложных электронных систем в интеллектуальных производствах Контроль качества продукции № 06 – 2023 [www.ria-stk.ru/mos](http://www.ria-stk.ru/mos).
2. Knight F. H. Risk, uncertainty and profit: Trans. with English. – Moscow: The Case, 2003. – P. 350.
3. Г. И. Коршунов. Статистический контроль качества электронных изделий в цифровых производственных линиях с оптическими инспекциями. Контроль качества продукции № 01 – 2024 [www.ria-stk.ru/mos](http://www.ria-stk.ru/mos).
4. Г. И. Коршунов, А. А. Дзюбаненко, Обеспечение качества продукции в интеллектуальных производствах электроники. Контроль качества продукции № 01 – 2024 [www.ria-stk.ru/mos](http://www.ria-stk.ru/mos).

*Н. Н. Крупина\**

д. э. н., профессор

*Е. Н. Киприянова\*\**

к.т.н., с.н.с

*А. А. Березина\*\**

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КАРТА «РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ-ЭФФЕКТИВНОСТЬ-ЭКОЛОГИЧНОСТЬ-ЭТИЧНОСТЬ» КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ

С позиции ESG-концепции предложена карта оценки деятельности техногенного объекта по уровню сбалансированности равнозначных и взаимодополняемых критериев – результативность, эффективность, экологичность и этичность. Новизна подхода состоит в позиционировании этичности бизнеса как новой ценности и востребованного измеряемого показателя качества менеджмента в условиях цифровизации. Обозначены четыре типа стратегических позиций.

**Ключевые слова:** ESG-концепция, результативность, эффективность, экологичность, этичность.

*N. N. Krupina\**

Dr. of Econ, Prof

*E. N. Kiprianova\*\**

Associate Professor, PhD, Senior Research Officer

*A. A. Berezina\*\**

Postgraduate, Assistant

\*St. Petersburg State Agrarian University

\*\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## THE «EFFECTIVENESS-EFFICIENCY-ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS-ETHICS» MAP AS AN ASSESSMENT TOOL

From the perspective of the ESG concept, a map is proposed for evaluating the activities of a man-made facility according to the level of balance of equivalent and complementary criteria – effectiveness, efficiency, environmental friendliness and ethics. The novelty of the approach consists in positioning business ethics as a new value and a sought-after measurable indicator of management quality in the context of digitalization. Four types of strategic positions are identified.

**Keywords:** ESG-concept, effectiveness, efficiency, environmental friendliness, ethics.

Переход фирм к практике развития в интересах «природы, общества, управления» (ESG-принципы) получает распространение в России [1]. Поэтому актуально оценивать достигаемые результаты по анализу проявления равнозначных и взаимодополняемых критериев – результативность, эффективность, экологичность и этичность.

Категории «результативность» и «эффективность» – основа для совершенствования деятельности. Результативность показывает степень достижения поставленных целей по отдельным бизнес-процессам, эффективность, как вторичная оценка, демонстрирует денежные выгоды от улучшения результативности. Результативность – это следствие производства правильных вещей, а оценка эффективности при низкой результативности процессов нецелесообразна, потому что цели остались не достигнутыми.

Экологичность – фундамент устойчивого развития окружающей среды, показатель способности территориальных экосистем сохранять структуру и функционал при постоянном техногенном давлении. Если первые критерии показывают решение производственно-технических и социально-экономических задач, то экологичность – достаточность природоохранных мер для воспроизводства биоразнообразия в зоне влияния объекта. Она рассчитывается по большому числу характеристик состояния экосистем, экостресса, аспектов здоровья населения, социальных и институциональных возможностей.

Введение нового критерия «этичность» объясняется востребованностью таких ценностей, как инициативное решение некоммерческих задач устойчивого развития:

- сохранение социального контроля над объектами и территорией в условиях негативных процессов депопуляции населения и сокращения биоразнообразия;
- восстановление деградированных земель и депрессивных промышленных территорий, перевод их в иные более продуктивные категории;
- поиск новых рыночных возможностей промышленных узлов и урбанизированных территорий с учетом отраслевой специфики и ресурсно-технического потенциала;
- интеграция потенциала средозащитного озелененного пространства в процесс секвестрации углерода и преодоления планетарного экологического следа.

Деловая среда подчиняется определенным правилам, налагающим ограничения индивидуальные и коллективные потребности по эксплуатации природных объектов и максимизации прибыли. Этичность равнозначна легитимности, т.е. уважающей закон и принятый общественный порядок, уместной, желательной, деятельности. Облачные сервисы снижают роль посредников в поставках ресурсов, предполагают безопасное управление активами, устраняют территориальные границы, снижают риски для отдельных участников бизнес-отношений, предоставляют потребителям персонализированные сервисы [2].

Представим общую карту оценки объектов по этим критериям, дающую представление о потенциальных стратегических позициях объекта (рис. 1).



Рис. 1. Карта «результативность – эффективность – экологичность – этичность»

Предложенный прием в наибольшей степени соответствует принципам менеджмента качества и критериям мягких вычислений [8]. Он может служить основой для принятия бизнес-решений и бизнес-приоритетов.

#### Библиографический список

1. Rose A. M. A response to calls for SEC-mandated ESG disclosure. //Washington University Law Review – 2021 – № 98 (6). – Pp. 1821–1856.
2. Singh S. K., Gaur S.S. (2020) Corporate Growth, Sustainability, and Business Ethics in the Twenty-first Century. Journal of Management and Governance, 24(2), 303–305.

УДК 005.6

*Е. Ю. Крылова\**

бакалавр

*А. В. Чабаненко\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРОБЛЕМЫ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Работа посвящена исследованию наиболее часто встречающиеся в практике ошибок при современном отношении промышленного предприятия к системам менеджмента качества.

**Ключевые слова:** современное предприятие, система менеджмента качества, проблемы внедрения.

*E. Y. Krylova\**

4th year Bachelor of the Department of Innovation and Integrated Quality Systems

*A. V. Chabanenko\**

candidate of Technical Sciences, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## PROBLEMS IN THE IMPLEMENTING A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN A MODERN INDUSTRIAL ENTERPRISE

The work is devoted to the study of the most common errors in practice in the modern attitude of an industrial enterprise to quality management systems.

**Keywords:** modern enterprise, quality management system, implementation.

Актуальность темы обуславливается проблемами внедрения системы менеджмента качества (СМК) на современном промышленном предприятии. Можно выделить пять основных проблем, которые создают препятствия внедрению СМК на предприятии.

Главной основной проблемой внедрения СМК является отсутствие обратной связи с сотрудниками, зависимость от нехватки мотивации и стимулирования. На предприятиях происходит внедрение СМК осуществляется с помощью карательных и жестких мер. К сожалению, эти меры напрямую зависят от руководителя, который может ввести СМК, но путем принуждения.

Вторая трудность – это отсутствие взаимодействия между предприятиями и их потребителями. Ориентация на клиента означает не только удовлетворение его потребностей, но и понимание их сути.

Еще одна сложность – отсутствие обратной связи с поставщиками, что способствует появлению монополистов-поставщиков.

В системе менеджмента существует четвертая проблема, связанная с нечетким определением ответственности руководителей. Из-за этого возникает дисбаланс между уровнем ответственности и доходами.

Пятая проблема заключается в том, что анализ эффективности систем менеджмента проводится непоследовательно. Внутренние аудиты СМК проводятся внутри подразделениях, в то время как основная причина несоответствий находится в отношениях между подразделениями, которые не имеют должного регулирования.

Таким образом, все перечисленные причины являются результатом отсутствия конкурентной борьбы между предприятиями и отсутствия достаточного уровня у менеджеров.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2015.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015.
3. ГОСТ Р ИСО 9004 – 2019. Системы менеджмента качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации. – М.: Стандартинформ, 2019.
4. Леонов О. А., Менеджмент качества: учебник для СПО / О. А. Леонов, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 180 с.: ил. – Текст: непосредственный.

*Г. И. Леззина*

к. т. н., доцент

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## ПРИМЕНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВНЕДРЕНИЕ ОСНОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приводится опыт применения традиционных инструментов управления качеством для анализа несоответствующей продукции, выпускаемых предприятиями, являющихся базовыми инструментами внедрения бережливого производства.

**Ключевые слова:** бережливое производство, инструменты управления качеством, риски, несоответствующая продукция.

*G. I. Legezina*

Ph. D. Tech., Associated Prof

St. Petersburg State University of Industry technology and design

## APPLICATION OF TRADITIONAL QUALITY MANAGEMENT TOOLS THAT ENSURE THE INTRODUCTION OF LEAN PRODUCTION BASICS

The experience of applying traditional quality management tools to analyze non-conforming products manufactured by enterprises, which are the basic tools for implementing lean manufacturing, is carried out.

**Keywords:** lean manufacturing, quality management tools, risks, non-conforming products.

Как известно, необходимость внедрения бережливого производства направлена на повышение потребительской ценности выпускаемой продукции и снижением всех рисков, связанных с возможностью снижения потребительской ценности выпускаемой продукции. Стандарт ИСО серии 9000 указывают на необходимость предприятий оценивать риски, особенно риски, связанные с процедурой управления несоответствующей продукцией, а также планировать и обеспечивать предупреждающие и корректирующие действия. В соответствии с принципом PDCA, для планирования и управления улучшения производственным процессом необходимо осуществлять постоянный мониторинг текущего состояния производственных процессов, позволяющих получать объективную оценку реального качества выпускаемой продукции на соответствующем технологическом участке производственного процесса.

Одним из важнейших принципов всеобщего управления качеством является процессный подход, который позволяет обеспечивать непрерывность управления всеми процессами производства. Управление несоответствующими результатами процессов – это деятельность по идентификации, документированию, анализу и исправлению несоответствий.

Для исследований и анализа возникновения несоответствующей продукции можно применять не только инструменты бережливого производства, но и традиционные инструменты управления качеством. Исследования оценки несоответствующей продукции осуществлялись на базе швейного предприятия ЗАО «Салют» и прядильно-ниточного комбината (ПНК) им. С.М. Кирова (г. Санкт-Петербург). В наших исследованиях для анализа несоответствующей продукции, выпускаемой на ЗАО «Салют» (г. Санкт-Петербург) в период 2013-2018 г.г., использовался инструмент «стратификация». Для оценки продукции (вышивальные нитки), выпускаемой ПНК им. С.М. Кирова применялись карты Шухарта.

В результате проведенных исследований была проведена оценка причин возникновения несоответствующей продукции, а также разработан стандарт организации «Управление несоответствующей продукцией»

### Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества Требования.
2. ГОСТ Р 56404-2021. «Бережливое производство. Требования к системам менеджмента».
3. ГОСТ Р 56407 – 2015. «Бережливое производство. Основные методы и инструменты».

*В. Д. Мельникова\**

студент бакалавриата

*Е. Е. Смирнова\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Рассмотрены основные возможности применения технологических решений концепции Индустрии 4.0 в метрологии и стандартизации: переопределение единиц величин и приведение к единообразию функциональных стандартов государственных информационных систем соответственно.

**Ключевые слова:** метрология, стандартизация, Индустрия 4.0, цифровизация, цифровая трансформация, искусственный интеллект.

*V. D. Melnikova\**

bachelor's student,

*E. E. Smirnova\**

PhD Tech., Associate Professor

\*Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University

## RESEARCH OF THE DEVELOPMENT TRENDS OF METROLOGY AND STANDARDIZATION IN THE CONDITIONS OF DIGITIZATION

The main possibilities for applying technological solutions of the Industry 4.0 concept in metrology and standardization are considered: redefining units of quantities and bringing to uniformity of functional standards of state information systems, respectively.

**Keywords:** metrology, standardization, Industry 4.0, digitalization, digital transformation, artificial intelligence.

Стандартизация и метрология являются основополагающими сферами регулирования деятельности человека по созданию условий, необходимых для развития экономики, инфраструктуры, технологий, науки и социальной сферы. В этой идее метрология выступает инструментом для обеспечения стабильного развития и получения достоверной информации, с последующим принятием решений исходя из актуальных данных. Стандартизация же выступает субъектом развития всех вышеперечисленных областей, в том числе их цифровой трансформации, формируя нормативную базу «эталонной» реализации продукции, услуг, процессов и их модернизации. Также, с учетом несовершенности реального мира, стандартизация регулирует пути нивелирования потерь и ошибок с помощью внедрения таких инструментов, как риск-ориентированное мышление и бережливое производство.

Современный мир характеризуется стремительным развитием: на первый план перспективных задач производства встали процессы оптимизации, автоматизации и цифровизации. В связи с активной реализацией этих задач многие эксперты стали говорить о четвертой промышленной революции или же концепции «Индустрия 4.0» [1]. Ожидаемые технологические решения из Индустрии 4.0, которые будут способствовать совершенствованию производственных технологий и развитию человечества в целом: киберфизические системы, интернет вещей, искусственный интеллект (ИИ), робототехника, облачные технологии, 3D печать и квантовые вычисления.

В части метрологии отчетливо видно направление внедрения технологий концепции Индустрии 4.0 (Industrie 4.0) в сферу обеспечения единства измерений (ОЕИ). Под направлением ОЕИ с помощью ИИ и квантовых вычислений, в первую очередь, имеются в виду перспективные возможности применения этих технологий для более быстрых и точных расчетов в целях решения метрологических задач: массивные расчеты в короткий срок, самообучение нейронных сетей, применяемых в области ОЕИ. Уже сейчас на базе ИИ развиваются идеи применения возможностей нейронных сетей для вычисления параметров для учета потребления тепла [2].

До 2019 года масса являлась единственной основной единицей, которая воспроизводилась при помощи артефакта. Поскольку килограмм – не изолированная единица, переопределение этой величины [3] запустило процесс необходимости переопределения и других величин – ампер, моль и кандела. В реалиях современного мира, применение инструментов Индустрии 4.0 обеспечивает эффективную реализацию поставленных задач.

Как и говорилось ранее, стандартизация выступает в качестве субъекта развития цифровой трансформации мира. Для этих задач уже существует нормативный документ: Распоряжение Правительства РФ от 22 октября 2021 г. N 2998-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации государственного управления».

В Стратегическом направлении цифровой трансформации государственного управления предусмотрены работы по «приведению к единообразию функциональных стандартов государственных информационных систем» [4].

Несмотря на сравнительную новизну данной задачи, многие государства работают над реализацией этого вопроса. Наиболее известна немецкая платформа Industrie 4.0, которая с расширением отраслей применения сменила название на Manufacturing-X. Области применения данной платформы охватывают практически все отрасли: машиностроение, автомобильная промышленность, электротехническая промышленность, пищевая промышленность, химия и другие отрасли [5-7].

В [5] выделено 5 основных задач для цифровой трансформации стандартизации в России, для решения которых в основу были положены возможности платформы «Техэксперт». Также, ведутся работы по обновлению государственной информационной системы в сфере стандартизации «Береста». Из новых возможностей выделили [8]:

1. Системы хранения данных по стандартам из федерального информационного фонда.
2. Прототип управления бизнес процессами в части типового сайта технического комитета.
3. Подача предложений в план национальной стандартизации и последующим утверждением данных предложений
4. Прототип по созданию требование-ориентированного документа по стандартизации на основе распознавания и XML-III документов по стандартизации (интеграция в язык программирования «XML» искусственного интеллекта).

В заключение можно сказать, что метрологии и стандартизации предстоят масштабные трансформации, вызванные стремительным развитием современного мира и появлением новых требований в этих сферах. Не может не радовать, что начало для реализации требуемых решений положено.

### Библиографический список

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: «ЭксмоПресс», 2016. – 138 с.
2. Морозов С. М. Нейро-нечеткие вычисления энтальпии для учета потребления тепла // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 8. С. 28–35.
3. Сотова Б. И. Физические основы реализации нового определения единицы массы // Всероссийская конференция с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении». Тула, 2022. С. 53–57.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 октября 2021 года N 2998-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации государственного управления». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/726583017?ysclid=ls1vbkcw9j827749338/> (дата обращения 31.01.2024).
5. Головин С. А. Цифровая трансформация стандартизации требует системного подхода и практических действий / С. А. Головин, А. Н. Лоцманов, С. Г. Тихомиров // Электронный научный журнал «ИТ-Стандарт». 2023, № 3. С. 1–18.
6. Новое значение метрологии в инновационных процессах в эпоху четвертой промышленной революции / Гоголинский К.В. [и др.] // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: международный форум. СПб.: ЛЭТИ, 2020. С. 135–136.
7. Ушаков И. Е. Информационное обеспечение изучения и проведения метрологических работ // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2017 Т.1. С. 202–204.
8. Каким будет облик цифровых техрегулирования и стандартизации в ЕАЭС обсудили в институте стандартизации. – URL: [Новости \(rst.gov.ru\)](https://news.rst.gov.ru/) (дата обращения 31.01.2024).

*С. В. Мичурин\**

д-р техн. наук, заведующий кафедрой

*Н. А. Вешев\**

к-т физ.-мат. наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Рассмотрено соотношение понятий результативности и качества комплексов программного обеспечения. Качество определяется как совокупность потребностей потенциальных потребителей и на практике представляется как иерархическая система свойств программных комплексов, выступающих в качестве показателей квалиметрической оценки. Также рассматриваются методы повышения результативности ситуационного управления для улучшения качества программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте с использованием соответствующих квалиметрических методов оценки, анализа и совершенствования обеспечения вычислительного процесса моделирования процессов управления.

**Ключевые слова:** ситуационное управление, результативность, качество ПК, АСДПП.

*S. V. Michurin\**

Doct. Tech., Head of Department

*N. A. Veshev\**

PhD, associate professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EFFICIENCY AND QUALITY OF AUTOMATED SOFTWARE SYSTEMS FOR SITUATIONAL MANAGEMENT OF SPATIAL PROCESSES

The correlation of the concepts of effectiveness and quality of software complexes is considered. Quality is defined as a set of needs of potential consumers and in practice is represented as a hierarchical system of properties of software complexes acting as indicators of qualimetric assessment. Methods of increasing the effectiveness of situational management to improve the quality of software complexes of automated systems for dispatching spatial processes in air transport using appropriate qualimetric methods of assessment, analysis and improvement of the computational process of modeling control processes are also considered.

**Keywords:** situational management, effectiveness, PC Quality, ASDSP.

### 1. Соотношение понятий результативности и качества комплексов программного обеспечения.

Качество – сложное свойство объекта, которое определяет его пригодность к использованию по назначению в программном комплексе (ПК) ситуационного управления в автоматизированной системе диспетчеризации пространственных процессов (АСДПП). Оно является степенью удовлетворения совокупности потребностей [1], таких как авиадиспетчеры, эксплуатанты и потребители транспортных услуг. В практике квалиметрической оценки, эти потребности представляются в виде иерархической системы свойств, указанных в программном комплексе. Свойства могут быть простыми, то есть не могут быть представлены в виде совокупности других свойств, или сложными, то есть могут быть представлены в виде совокупности свойств программного комплекса. Одним из сложных свойств, характеризующих пригодность программного комплекса ситуационного управления пространственными процессами в авиатранспорте для АСДПП, является результативность. Согласно [2-5], результативность ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП представляет собой сложное свойством, которое можно разделить на несколько более простых, но измеримых свойств. Они включают в себя экономичность, прибыльность, производительность, действенность, условия трудовой деятельности эксплуатантов, нововведения и другие. Составляющие результативности являются количественными характеристиками, то есть описанием системы ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП с помощью использования некоторой переменной, значение которой определяет уровень или интенсивность этих свойств. Такую переменную традиционно называют величиной.

Таким образом, можно рассматривать качество ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП как более общее свойство и понятие по отношению к результативности указанных комплексов. Также наоборот, результативность является одним из сложных свойств, формирующих более сложное понятие.

### 2. Методы повышения результативности ситуационного управления для улучшения качества программных комплексов АСДПП.

Оценка и анализ прикладного программного обеспечения для ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте включает в себя использование различных методов и моделей, чтобы повы-

сильно его результативность. Однако, выбор конкретных методов и моделей может быть сложным и требует многопланового подхода. Для оценки прикладного программного обеспечения в целом могут быть использованы следующие методы: квалиметрические методы оценки, анализа и совершенствования этого вида обеспечения вычислительного процесса. Многие ученые дают различные трактовки базовых терминов самой теории оценки и анализа качества. В данной работе используются определения, опирающиеся на классическую парадигму квалиметрии. Для того, чтобы избежать терминологических неточностей самостоятельно, определим базовые понятия на основе [2–16].

Особым вопросом является определение критериев оценки ПК ситуационного управления в автоматизированных системах диспетчеризации. Традиционно, критерий оценки свойств, будь то результативность или качество, представляет собой правило, определяющее соответствие интенсивности свойства установленным требованиям.

Для того, чтобы показатели и критерии могли быть применимы для оценки результативности и качества ПК ситуационного управления в автоматизированных системах диспетчеризации, они должны удовлетворять следующим требованиям [17, 18]:

- *соответствия*. Показатель должен позволять измерять интенсивность оцениваемого свойства, а критерий обеспечивать проверку соответствия свойства предъявляемым требованиям;
- *полноты*. Показатель должен учитывать достаточное число факторов, влияющих на интенсивность проявления свойства;
- *устойчивости*. Малому изменению факторов, влияющих на интенсивность проявления свойства, должно соответствовать малое изменение значения показателя свойства;
- *чувствительности (критичности)*. Показатели и критерии оценивания свойства должны быть чувствительны к изменению факторов, влияющих на интенсивность оцениваемого свойства и нечувствительны к изменению факторов, не оказывающих такого влияния;
- *реализуемости (вычислимости)*. Показатели и критерии оценивания свойств должны иметь такие математические выражения, чтобы по ним реально можно было вычислить значения показателя и оценить свойство;
- *правильного учета неопределенности*. Показатели и критерии оценивания свойств должны правильно учитывать вид и степень неопределенности, которая всегда сопровождает проявление и оценивание свойств. Данным требованием определяется выбор детерминированных, вероятностных или иных мер в качестве показателей, а пренебрежение им может привести к оценкам, весьма далеким от истинных.

Для формирования критериев оценки необходимо определить требования к показателям оцениваемых свойств. Существуют несколько подходов к решению задачи:

- *экстремальный* – показатель каждого оцениваемого свойства должен достигать своего экстремума;
- *на основе сравнения с эталонным образцом* – требования задаются в виде отношений значений показателей свойств оцениваемого объекта и эталонного образца;
- *эмпирический* – требования к значениям показателей свойств формулируются на основе результатов обработки данных опроса экспертов;
- *на основе анализа качества и эффективности применения ППО АС* – требования к оцениваемым свойствам формируются исходя из требований к совокупному качеству ППО или эффективности его применения с использованием соответствующих методов квалиметрии и теории эффективности.

В данной работе применен комбинированный подход к обоснованию к показателям оцениваемых свойств.

Помимо вышеуказанных требований необходимо сформулировать общие требования, которые объективно применяются к процессу оценивания качества программного обеспечения (ПО) в целом. Процесс должен обеспечивать возможность:

- получать результирующее предписание о степени удовлетворения потребностей в соответствии с назначением;
- проводить сравнение аналогичных по назначению программных моделей, средств или систем (продуктов), входящих в ПО, на предмет более лучшего удовлетворения потребностей потенциального пользователя;
- определять аномалии качества в ходе развития (совершенствования) программных моделей, средств или систем (продуктов), входящих в ПО автоматизированных систем управления и диспетчеризации.

Указанные возможности осуществляются при использовании известных методов оценки качества и результативности ПО, применимых при разработке и внедрении. Однако данные методы не учитывают использование в технологическом процессе разработки ПК ситуационного управления для АСДПП, а также характеристические особенности исходной информации для оценки. Именно поэтому необходимо провести анализ процесса разработки программного комплекса ситуационного управления для АСДПП, а также рассмотреть уже существующие методы оценки качества прикладного ПО автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов [19].

В современных условиях актуальность повышения результативности ситуационного управления становится все более важной. Один из эффективных подходов к достижению этой цели основан на использовании современных методов, основанных на когнитивно-адаптивной модели [20]. Данная модель позволяет разрабатывать эффективные стратегии выработки решений в процессе ситуационного управления, что является ключевым фактором в улучшении качества программных комплексов АСДПП. Модель представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Упрощенное представление модели выработки решений при ситуационном управлении

В современных условиях разработка ПК, реализующих принципы ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП авиатранспортом, осуществляется в рамках традиционных процедур менеджмента качества. Выбор конкретных инструментов контроля и методов улучшения качества указанных ПК. Этот выбор определяется как программно-технологическими парадигмами разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта, так и базовыми научными методами и моделями ситуационного управления, лежащими в основе этих ПК. На рисунке 1 продемонстрирована связь между научными методами и подходами ситуационного управления и средствами повышения результативности.

Сегодня повышение результативности ситуационного управления рассматривается как базовый фактор улучшения качества программных комплексов АСДПП. Это обусловлено экспоненциальным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на диспетчеров. Методы повышения результативности включают в себя последовательное квалиметрическое оценивание, анализ и совершенствования соответствующего программного обеспечения в процессе разработки: от логико-математической постановки до внедрения в эксплуатацию. Рисунок 1 наглядно демонстрирует уровень обеспеченности базового технологического процесса создания программных комплексов ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Он служит нормативно-методическим инструментом для обеспечения результативности и управления качеством. Стандарты, регламентирующие создание и обеспечение качества программных и информационных средств, оставляют многое за рамками своего покрытия. Например, такие стандарты, как семейство международных стандартов серии SQuaRE (Software Quality Requirement and Evaluation), а также отечественные аналоги – ГОСТ Р ИСО 25010-2015 [4] и ГОСТ Р ИСО 27000-2015 [14] не учитывают специфику функционирования программных комплексов, которые реализуют принципы ситуационного управления.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь, М.: Стандартинформ, 2015, стр. 42.
2. ГОСТ 15971-90. Системы обработки данных. Термины и определения, М.: Издательство стандартов, 1992.
3. ГОСТ 28806-90. Качество программных средств, М.: Госкомстандарт, 1999, стр. 114.
4. ГОСТ Р ИСО 25 010 -2015. Качество информационных продуктов. Основные процедуры определения. М.: Стандартинформ, 2015, стр. 76.
5. С. В. Мичурин, «Методы повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами,» Вопросы радиоэлектроники. №2 АО «ЦНИИ «Электроника», № 2, 2016.
6. ГОСТ 2.601-95. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы, М.: Рособоронстандарт, 2005, стр. 46.
7. ГОСТ 34.201-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем, М.: Госкомстандарт, 2002, стр. 36.
8. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы стадии создания, М.: Госкомстандарт, 2002, стр. 84.
9. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь, М.: Стандартинформ, 2015, стр. 42.
10. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования, М.: Стандартинформ, 2015, стр. 57.
11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств, М.: Стандартинформ, 2012, стр. 174.
12. ГОСТ Р 51904-2002. Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию, М.: Стандартинформ, 2012, стр. 36.
13. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002. Информационная технология. Процесс создания программного средства пользователя, М.: Стандартинформ, 2012, стр. 98.

14. ГОСТ Р ИСО 27000 -2015. Качество программных средств. Основные процедуры определения, М.: Стандартинформ, 2015, стр. 36.
15. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем, М.: Стандартинформ, 2006, стр. 57.
16. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 –2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство, М.: Стандартинформ, 2012, стр. 26.
17. Л. Ф. Куликовский, Теоретические основы информационных процессов, М.: Высшая школа, 1999, стр. 264.
18. В. В. Липаев, Обеспечение качества программных средств. Методы и стандарты, М.: МГТУ «Станкин», 2002, стр. 302.
19. S. V. Michurin и V. S. Chmykhin, Computing resources distribution assessment on application of virtual machine technology, Tbilisi: Anticrisis Center of Security Problems, 2015, pp. 16-22.
20. G. Jacobson, Situation Management: Basic Concepts and Approaches, St.Petersburg: (IF&GIS2007), 2007, pp. 26–34.

*Г. Ю. Пешкова\**

доктор экономических наук, доцент

*К. М. Михальчук\**

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В настоящее время развитие ИИ происходит достаточно быстро, что позволяет внедрять и использовать его во многих сферах деятельности. Такое интенсивное развитие вызывает ряд вопросов и опасений у граждан Российской Федерации, что говорит о необходимости проведения цифрового ликбеза для населения, а также постановки задачи рассмотрения стандартов регулирования и использования ИИ.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, регулирования применения искусственного интеллекта, применение искусственного интеллекта, генеративный искусственный интеллект.

*G. Yu. Peshkova\**

Dr. Sc. Economics, associate professor

*K. M. Mikhailchuk\**

student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## NORMATIVE AND TECHNICAL REGULATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN THE RUSSIAN FEDERATION

Currently, the development of AI is happening quite quickly, which allows it to be implemented and used in many areas of activity. Such intensive development raises a number of questions and concerns among citizens of the Russian Federation, which indicates the need for a digital educational program for the population, as well as setting the task of reviewing standards for the regulation and use of AI.

**Keywords:** artificial intelligence, artificial intelligence application regulation, artificial intelligence applications, artificial intelligence applications, generative artificial intelligence, AI.

Согласно опросу ВЦИОМ, на конец 2022 года, уровень доверия к искусственному интеллекту (ИИ) у россиян составляет 55% [1]. К сожалению, даже на текущий момент времени почти половина граждан нашей страны не понимает суть применения технологии искусственного интеллекта и предостерегаются последствий его использования. Чаще всего их опасения вызваны сохранностью персональных данных, рисками принятия решений за которые никто не отвечает, а также мысль, что развитие искусственного интеллекта оставит людей без работы. В связи с этим для большего понимания обществом, что такое искусственный интеллект необходим массовый цифровой ликбез.

Современные технологии искусственного интеллекта основаны на нейронных сетях. С математической точки зрения их можно представить простейшей операцией линейной алгебры. Понимание этого аспекта должно помочь людям принять концепцию повсеместного применения ИИ и разобраться в принципе его работы. Также следует учесть, что в рамках искусственного интеллекта существуют и другие технологии, которые активно развиваются и внедряются.

Примером развития и модернизации ИИ может служить процесс перехода и внедрения генеративного искусственного интеллекта. Традиционный ИИ чаще всего используется для решения задачи прогнозирования и анализа Big Data. Генеративный ИИ способен создавать что-то новое на основе той информации, которую ему предоставили. Лидером по использованию искусственного интеллекта является сфера маркетинга и продаж. Генеративный ИИ используется для упрощения множества процессов у организаций из этих сфер. Тем не менее, не стоит забывать, что несмотря на все достоинства, он имеет множество ошибок и недоработок.

На данный момент в России каждая вторая компания находится на этапе доработок и поэтапного внедрения решений на базе искусственного интеллекта. Такие гиганты как Яндекс и Сбер активно включились в процесс развития генеративных нейросетей, так как данный вид ИИ хорошо работает с кириллицей и в него можно заложить алгоритмы решения задач, основанных на российских реалиях. Также эти компании способны обеспечить бесперебойный доступ к генеративному ИИ для российских пользователей.

Регулированием применения искусственного интеллекта в России занимается Технический комитет по стандартизации №164 при Росстандарте (ТК164). ТК164 создан с целью повышения эффективности работы по стандартизации в области искусственного интеллекта на национальном и международном уровнях. На данный момент в Российской Федерации уже разработаны ГОСТы, которые регламентируют работу ИИ во многих областях, таких как медицина (ГОСТ Р 59921.0-2022), автомобильный транспорт (ГОСТ Р 70250-2022), поддержки

жизненного цикла изделий (ГОСТ Р 59278-2020), образование (ГОСТ Р 59897-2021) и многих других сферах человеческой деятельности.

Для того, чтобы обеспечить развитие ИИ и снизить опасения граждан относительно его внедрения требуется регламентировать не только использование ИИ, но и его разработку и процесс обучения [2]. Кодекс этики разработчиков искусственного интеллекта, принятый 26 октября 2021 года, представляет собой правила поведения разработчиков, нежели полноценный документ, который описывает все нормы и обязательные требования. Исходя из этого, важность и значимость внедрения ИИ для общества сложно переоценить. Несмотря на это требуется четко понимать, что технологическое развитие не нарушает права человека. Для этого стоит сократить темпы внедрения искусственного интеллекта чтобы устранить накопившиеся ошибки, доработать программы, тем временем общество сможет лучше адаптироваться к современным технологиям [3].

Использование искусственного интеллекта, при условии корректной разработки и процесса обучения, не несет каких-либо серьезных угроз для людей. Чтобы внедрение ИИ было максимально эффективным, требуется разработать стандарты, которые будут регулировать не сам искусственный интеллект, а его применение в различных областях. Само по себе технологическое развитие не несет явных угроз или опасности, все зависит от того, кто и для каких целей использует новые технологии. Таким образом, современному человеку требуется перебороть себя и наконец научиться учиться, чтобы не опасаться новых технологий и идти в ногу со временем.

#### **Библиографический список**

1. Искусственный интеллект: угроза или светлое будущее? URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/iskusstvennyi-intellekt-ugroza-ili-svetloe-budushchee> (дата обращения: 20.01.2024).
2. Роман Душкин: Надо регулировать не искусственный интеллект, а его применение. URL: <https://www.rg.ru/2023/12/19/kto-obgonit-nejroset.html> (дата обращения: 20.01.2024).
3. Эксперты: Искусственный интеллект внедряется в компании слишком быстро и с ошибками. <https://www.rg.ru/2023/12/19/roboty-i-te-zhe-liudi.html> (дата обращения: 20.01.2024).
4. Ю. А. Антохина, А. А. Оводенко, Г. Ю. Пешкова, Г. А. Плотников, А. Ю. Самарина. Применение методов искусственного интеллекта для развития правовых и таможенных компетенций: учеб.-метод. пособие. – СПб.: ГУАП, 2021. – 39 с.
5. Применение методов искусственного интеллекта в юриспруденции: учеб.-метод. пособие / А. А. Оводенко, Г. Ю. Пешкова, Г. А. Плотников, А. Ю. Самарина. – СПб.: ГУАП, 2022. – 74 с.

*А. Б. Плаченюв\**

к. ф.-м.н., доцент

*Г. Н. Дьякова\*\**

к. ф.-м.н., доцент

\*МИРЭА – Российский технологический университет

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ВЫСШИХ МОД МНОГОЗЕРКАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРОВ С НЕПЛОСКИМ ОСЕВЫМ КОНТУРОМ

Предложен подход, позволяющий получать явные аналитические выражения для высших мод многозеркальных резонаторов с неплоским лучевым контуром.

**Ключевые слова:** лазерный гироскоп, многозеркальный резонатор, неплоский осевой контур

*A. B. Plachenov\**

Ph.D. Phys.-Math., Associated Prof,

*G. N. Dyakova\*\**

Ph. D. Phys.-Math., Associated Prof

\*MIREA – Russian Technological University

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## CONSTRUCTING ANALYTICAL FORMULAS FOR HIGHER MODES OF MULTI-MIRROR RESONATORS WITH NON-PLANE AXIAL CONTOUR

The method which enables to obtain explicit analytical expressions for higher modes of multi-mirror cavities with non-plane axis contour is proposed.

**Keywords:** laser gyroscope, multi-mirror cavity, non-plane axis contour

При определении местоположения движущегося объекта применяются лазерные гироскопы, содержащие многозеркальные резонаторы с неплоским осевым контуром [1]. Для описания собственных функций таких резонаторов М.М.Поповым был разработан подход, основанный на нахождении собственных чисел и собственных векторов матрицы монодромии [2]. С использованием той же идеологии и инструментария В.М.Бабичем была решена близкая задача о собственных функциях оператора Лапласа на многообразии произвольной размерности, сосредоточенных в окрестности замкнутой геодезической [3]. В дальнейшем похожие конструкции возникли в работах [4,5]. Поскольку в методе Бабича-Попова собственные функции резонатора выражаются через собственные векторы матрицы монодромии размерности  $4 \times 4$ , получение явных аналитических выражений для таких собственных функций затруднительно. В связи с этим в работе [6] был предложен альтернативный подход, позволивший получить выражения для фундаментальной моды многозеркальных резонаторов [7,8] путём прямого решения алгебраического матричного уравнения Риккати. В то же время для построения высших мод резонаторов используются операторы рождения, по-прежнему требующие нахождения собственных векторов матрицы монодромии. В настоящей работе мы предлагаем синтез двух подходов, позволяющий понизить размерность задачи. Зная выражение для фундаментальной моды, мы строим два двумерных инвариантных подпространства матрицы монодромии. Эти подпространства являются линейными оболочками собственных векторов этой матрицы, задающих операторы рождения и уничтожения соответственно. В результате построение указанных операторов сводится к нахождению собственных векторов вспомогательной матрицы размерности  $2 \times 2$ . Такие векторы находятся в явном виде аналитически. Применяя найденные с их помощью операторы рождения к фундаментальной моде, удаётся получить аналитические формулы для высших мод – в частности, для четырёхзеркального резонатора с неплоским контуром, фундаментальная мода которого была построена в работе [7].

### Библиографический список

1. Dong L., Chao B., Janlin B., Characterization of the eigenmode frequency spectrum influenced by the polarization states and light field distribution in a nonplanar ring resonator // *Appl. Opt.*, V.55, No.12, p.3287-3294 (2016).
2. Попов М.М., Собственные колебания многозеркальных резонаторов // *Вестн. Ленингр. ун-та*, №22, вып.4, с. 42–54 (1969).

3. Бабич В. М., Булдырев В. С. Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн. Метод эталонных задач // М.: Наука, ГРФМЛ, 1972.
4. Головнин И. В., Ковригин А. И., Коновалов А. Н., Лаптев Г. Д., Описание лучевым методом распространения гауссова пучка со сложным астигматизмом и применение этого метода для расчета неплоских кольцевых резонаторов // Кв. электрон., т.22, №5, с.461-463 (1995).
5. Nabraken S.J.M., Nienhuis G., Modes of a twisted optical cavity // Phys. Rev. A 75, 033819 (2007).
6. Плаченнов А.Б., Кудашов В.Н., Радин А.М. Аналитический способ построения фундаментальной моды резонатора в виде гауссова пучка со сложным астигматизмом // Кв. электрон., 37, №3, с.290-298 (2007).
7. Плаченнов А.Б., Кудашов В.Н., Радин А.М. Аналитическое описание гауссова пучка в кольцевом резонаторе с некопланарным осевым контуром и чётным числом зеркал // Кв. электрон., 39, №3, с.261-272 (2009).
8. Плаченнов А.Б., Радин А.М. Аналитическое описание гауссова пучка в кольцевом резонаторе с некопланарным осевым контуром и нечётным числом зеркал // Кв. электрон., 41, №1, с.43-54 (2011).

*А. А. Полетаев\**

аспирант

*А. Е. Яблоков\**

д. т. н., доцент

\*ФГБОУ «РОСБИОТЕХ», Москва, Россия

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПИЩЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

В статье рассматриваются вопросы метрологического обеспечения технического обслуживания (ТО) и диагностирования оборудования предприятия по производству пищевых концентратов с помощью стационарной интеллектуальной системы мониторинга. Актуальность темы обуславливается необходимостью обеспечения достоверности и точности результатов измерений, получаемых при ТО и диагностировании, что является залогом обеспечения качества и безопасности продукции.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, техническое обслуживание, диагностика, оборудование, предприятие по производству пищевых концентратов, качество, безопасность, стационарная интеллектуальная система мониторинга.

*A. A. Poletaev\**

graduate student

*A. E. Yablokov\**

D. Tech., Associated Prof

\*Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

## METROLOGICAL SUPPORT OF MAINTENANCE AND DIAGNOSTICS OF EQUIPMENT OF THE ENTERPRISE FOR THE PRODUCTION OF FOOD CONCENTRATES

The article deals with the issues of metrological maintenance (maintenance) and diagnostics of equipment of an enterprise for the production of food concentrates using a stationary intelligent monitoring system. The relevance of the topic is determined by the need to ensure the reliability and accuracy of measurement results obtained during maintenance and diagnostics, which is the key to ensuring product quality and safety.

**Keywords:** metrological support, maintenance, diagnostics, equipment, food concentrate production enterprise, quality, safety, stationary intelligent monitoring system.

Анализ концептуальных основ теории и практики инновационного развития технологий на промышленных предприятиях показал возможности использования информационных технологий, информационных систем сбора и анализа диагностической информации с работающего оборудования. Одним из важнейших факторов, обеспечивающих качество и безопасность пищевых концентратов, является метрологическое обеспечение ТО и диагностирования оборудования, используемого в процессе производства и реализуемого за счет систем мониторинга оборудования. Повышение достоверности и точности результатов измерений с помощью метрологических инструментов является залогом контроля качества продукции на всех этапах производства. Своевременное выявление и устранение неисправностей оборудования, с помощью точных измерений получаемых стационарными аналоговыми и цифровыми датчиками физических величин – датчиками вибрации (акселерометрами), температуры, тока, давления, расхода, тензодатчиков и прочих, установленными на критически важные узлы машин предприятия, позволяет предотвратить выпуск некачественной продукции, снижает риски, связанные с безопасностью пищевых продуктов и обеспечивается за счет контроля за соблюдением санитарных норм и правил. Система мониторинга использует протоколы связи Modbus, Profibus и Profinet и надежные линии связи для управления и диагностики оборудованием с использованием метрологического обеспечения, которые в свою очередь представляют собой актуальную задачу их реализации в условиях современных промышленных предприятий, предоставляя надежные и эффективные средства взаимодействия с промышленным оборудованием в локальном и дистанционном управлении. Возможность обеспечить повышение производительности труда и снижение затрат за счет автоматизации сбора и обработки данных, сокращения времени на ТО и диагностирование, предотвращение аварийных ситуаций. Решения вопросов, рассмотренных в статье, отвечают вызову четвертой промышленной революции и нацелены на повышение надежности и эффективности технологического оборудования, имеют важное практическое значение.

### Библиографический список

1. Промышленные сети и системы связи: учебное пособие /Т.А. Барбасова, Е.А. Канашев. – Челябинск: Издательский центр, ЮУрГУ, 2020. – 144 с.
2. Промышленные сети : учеб. пособие / А. А. Титаев ; Мин-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 124 с.
3. Датчики: измерение перемещений, деформаций и усилий: учебное пособие для вузов/ В. Л. Зудин, Ю. П. Жуков, А. Г. Маланов. – 2е изд. Москва: изд. Юрайт; Ярославль: издат дом ЯГТУ, 2020. – 199 с. – (Высшее образование). – Текст: непосредственный.
4. Стандартизация, цифровизация и управление знаниями – основные драйверы в высокотехнологичных отраслях и компаниях. Под редакцией Р. О. Сироткина – М.: изд. «Доброе слово и Ко», 2021. – 144 с. ISBN 978-5-6045495-6-8.
5. Мекшун А. Н., Мекшун Ю. Н., Мекшун А. Ю. Технологии мониторинга техники и оборудования в промышленном производстве // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2. С. 62–68.
6. Яблоков А. Е. Научно-практические основы создания автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных: специальность 23.30.00 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Яблоков Александр Евгеньевич, 2022. – 46 с.
7. Сироткин Р. О, Полетаев А. А, Яблоков А. Е.. Информационные технологии для удаленного мониторинга и управления оборудованием на производстве пищевых концентратов / Полетаев А. А. и др.// III Международной научно-практической конференции «Теория и практика экономики гражданской защиты на страже безопасности жизнедеятельности современного общества». 26 декабря 2023 г.

*М. Д. Рассыхаева\**

ассистент каф. 3

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НЕПРЕРЫВНОЕ УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА

В тезисах рассмотрены аспекты, связанные с непрерывным улучшением качества.

**Ключевые слова:** качество, улучшение, кайдзен.

*М. D. Rassykhaeva\**

assistant of the office 3

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## CONTINUOUS QUALITY IMPROVEMENT

The abstracts consider aspects related to continuous quality improvement.

**Keywords:** quality, improvement, kaizen.

Непрерывное улучшение качества – это процесс, который помогает организациям анализировать и улучшать свои продукты и услуги постоянно. Этот подход основывается на идее, что даже самые успешные процессы и продукты могут быть улучшены.

Концепция непрерывного улучшения качества берет свое начало в послевоенном Японии, где она была впервые применена в промышленности в рамках восстановления экономики. Основными фигурами, сформировавшими эту концепцию, были Вильям Эдвардс Деминг и Джозеф Джуран.

Основные принципы:

Клиентоориентированность: Фокусирование на потребностях и ожиданиях клиентов.

Сотрудничество сотрудников: Вовлечение сотрудников на всех уровнях в процесс улучшения.

Процессный подход: Концентрация на оптимизации процессов, ведущих к улучшению качества.

Непрерывное улучшение качества – это философия и практика, лежащая в основе многих успешных бизнес-стратегий. Идея состоит в том, что процессы, продукты и услуги могут и должны быть постоянно совершенствованы. Этот подход зародился в послевоенном Японии и сыграл ключевую роль в восстановлении и росте японской экономики. Великие мыслители, такие как Вильям Эдвардс Деминг и Джозеф Джуран, значительно внесли в развитие этих концепций, подчеркнув важность качества и постоянного улучшения.

Непрерывное улучшение основано на нескольких ключевых принципах: фокусировке на клиенте, вовлечении всех сотрудников в процесс улучшения и постоянном пересмотре и оптимизации процессов. Различные методологии, такие как Kaizen, Six Sigma и Lean, помогают организациям систематизировать и реализовывать эти принципы в своей работе.

На практике непрерывное улучшение качества включает определение областей для улучшения, анализ текущих процессов, разработку и реализацию решений, а затем мониторинг и анализ результатов. Ключ к успеху в этих усилиях – это создание культуры, которая поддерживает постоянное улучшение и инновации. Организации, которые успешно применяют эти принципы, часто видят заметные улучшения в эффективности, снижении издержек, повышении удовлетворенности клиентов и способности к инновациям.

Примеры компаний, успешно интегрировавших непрерывное улучшение качества в свою корпоративную культуру, включают такие мировые бренды, как Toyota и General Electric. Эти компании демонстрируют, как непрерывное улучшение может привести к долгосрочному успеху и лидерству на рынке. Важно отметить, что непрерывное улучшение не является проектом с ограниченным сроком, а скорее является бесконечным процессом, требующим постоянного внимания и усилий. Оно требует постоянной самооценки, обучения и адаптации к изменяющимся условиям рынка и потребностям клиентов. В конечном итоге, непрерывное улучшение качества – это не только стратегия для повышения эффективности, но и фундаментальный подход к управлению бизнесом, ориентированному на инновации и превосходство во всем.

Этот подход не только способствует повышению эффективности и снижению издержек, но также способствует созданию культуры инноваций и постоянного развития. Важность такой культуры не может быть недооценена, поскольку она лежит в основе способности компании адаптироваться и процветать в постоянно меняющемся бизнес-ландшафте.

Компании, успешно реализующие стратегию непрерывного улучшения, часто используют различные инструменты и методики, включая контроль качества, обратную связь от клиентов, а также внедрение передовых технологий. Однако ключевым аспектом является не просто применение этих инструментов, а создание атмосферы, в которой каждый сотрудник чувствует свою ответственность за качество и стремится к улучшениям.



Рис. 1. Этапы улучшения качества процессов

Одной из основных проблем, с которой сталкиваются многие организации при попытке внедрить непрерывное улучшение, является сопротивление изменениям. Часто это связано с опасениями сотрудников относительно нововведений и потенциальных изменений в их рабочих процессах. Поэтому важно обеспечить адекватное обучение и поддержку, а также создать систему поощрений для тех, кто активно участвует в процессе улучшения.

В заключение, непрерывное улучшение качества является не просто стратегией или набором инструментов, а философией управления, ориентированной на будущее. Это подход, который требует от компаний быть гибкими, адаптивными и постоянно нацеленными на поиск возможностей для улучшения. Такой подход позволяет не только улучшить текущее положение компании, но и гарантирует ее устойчивое развитие и конкурентоспособность в долгосрочной перспективе.

#### Библиографический список:

1. Чабаненко, А. В. Управление качеством корпусных элементов РЭА / А. В. Чабаненко // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество», 2018. №2. С. 90–94.
2. Васильев, В. А. Управление качеством: монография / В. А. Васильев. – Москва: МАИ, 2022. – 158 с. – ISBN 978-5-4316-0986-2. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/383120> (дата обращения: 23.01.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

*М. Д. Рассыхаева\**

ассистент каф. 3

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЭЛЕМЕНТЫ СТРАТЕГИИ TQM

В статье рассматривается концепция Total Quality Management (TQM), которая представляет собой всесторонний подход к управлению организацией, целью которого является улучшение качества продуктов и услуг через непрерывные усовершенствования во всех аспектах деятельности.

**Ключевые слова:** TQM, качество.

*M. D. Rassykhaeva\**

assistant of the office 3

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ELEMENTS OF THE TQM STRATEGY

The article discusses the concept of Total Quality Management (TQM), which is a comprehensive approach to managing an organization, the purpose of which is to improve the quality of products and services through continuous improvements in all aspects of activity.

**Keywords:** TQM, quality.

Total Quality Management (TQM) – это не просто набор техник или инструментов, а глубоко укоренившаяся философия управления, основанная на принципе всестороннего повышения качества во всех аспектах деятельности организации. Основываясь на идеях клиентоориентированности, совершенствования процессов, вовлечения сотрудников, непрерывного улучшения, принятия решений на основе фактов, стратегического планирования и партнерства с поставщиками, TQM стремится создать среду, где качество становится центральным элементом в каждом действии и решении.

Центральное место в TQM занимает клиент. Удовлетворение потребностей клиентов и стремление превзойти их ожидания лежат в основе всех стратегий и операций. Отслеживание обратной связи от клиентов и быстрая адаптация к изменяющимся требованиям рынка являются ключевыми для успеха в этом подходе.

Совершенствование процессов в TQM включает в себя постоянный анализ и оптимизацию рабочих процедур. Цель – устранение отходов, уменьшение времени выполнения задач и повышение качества итоговых продуктов или услуг. Вовлечение сотрудников в процесс улучшения качества осуществляется через обучение, развитие навыков и создание культуры открытости и обмена идеями.

Непрерывное улучшение – это не разовая кампания, а бесконечный процесс поиска возможностей для совершенствования. В TQM используются методы, такие как PDCA (Plan-Do-Check-Act), для обеспечения цикличности и системности улучшений. Решения в рамках TQM принимаются на основе тщательного анализа данных и фактов, что повышает вероятность успеха внедряемых изменений.

Стратегическое планирование в TQM обеспечивает, что долгосрочные цели организации согласованы с ее стремлением к высокому качеству. Работа с поставщиками также играет ключевую роль, поскольку высокое качество конечного продукта зависит от качества используемых материалов и компонентов.

В целом, TQM превращает качество в основополагающую ценность и стратегический приоритет для организации. Это подход, который требует глубокого понимания текущих операций, открытости к изменениям и приверженности культуре постоянного улучшения. Применение TQM может значительно повысить конкурентоспособность организации, улучшить ее имидж и удовлетворенность клиентов, а также способствовать устойчивому развитию бизнеса.

В TQM каждый сотрудник, от руководства до линейного персонала, несет ответственность за качество и постоянно стремится к его улучшению. Это создает среду, где улучшение качества является не только задачей отдела контроля качества, но и общей целью всей организации.

Особое внимание в TQM уделяется обучению и развитию персонала. Подготовка кадров и непрерывное образование сотрудников позволяют повышать их компетенции и вовлекать их в процесс улучшения качества на всех уровнях. Это включает в себя не только технические навыки, но и развитие управленческих и коммуникативных способностей.

Процесс непрерывного улучшения в TQM также включает регулярный мониторинг и анализ ключевых показателей эффективности. Это позволяет организациям быстро реагировать на проблемы, выявлять области для улучшений и внедрять эффективные изменения. Важно, чтобы эти меры были направлены не только на устранение текущих проблем, но и на предотвращение потенциальных недостатков в будущем.

В TQM большое значение придается коммуникации. Эффективное общение помогает обеспечить, что все сотрудники понимают корпоративные цели, стратегии улучшения качества и свою роль в этом процессе. Открытый диалог и обратная связь являются ключевыми для создания прозрачной и поддерживающей атмосферы.

Также необходимо учитывать, что TQM – это долгосрочная стратегия. Эффективное внедрение TQM требует времени и терпения, а результаты могут проявиться не сразу. Однако, при правильном подходе, они могут быть значительными и долгосрочными, обеспечивая устойчивое развитие компании и укрепление ее позиций на рынке.

В заключение, Total Quality Management является целостным подходом к управлению, который требует вовлечения и приверженности на всех уровнях организации. Этот подход помогает создать культуру высокого качества, что способствует удовлетворенности клиентов, повышению эффективности и устойчивому росту бизнеса.

**Таблица, отражающая ключевые элементы стратегии Total Quality Management (TQM)**

№	Элемент	Описание
1	Клиентоориентированность	Удовлетворение потребностей клиентов и превышение их ожиданий.
2	Совершенствование процессов	Оптимизация процессов для устранения отходов и повышения эффективности.
3	Вовлечение сотрудников	Активное участие каждого сотрудника в процессе улучшения качества.
4	Непрерывное улучшение	Постоянный поиск возможностей для усовершенствования во всех аспектах работы.
5	Принятие решений на основе фактов	Использование точных данных и аналитики для обоснования решений.
6	Стратегическое планирование	Разработка и реализация долгосрочных целей и стратегий улучшения качества.
7	Партнерство с поставщиками	Создание долгосрочных и взаимовыгодных отношений с поставщиками.

Эта таблица представляет собой обзор основных компонентов TQM, каждый из которых играет важную роль в создании и поддержании культуры высокого качества в организации.

#### **Библиографический список**

1. Чабаненко, А. В. Управление качеством корпусных элементов РЭА / А. В. Чабаненко // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество», 2018. № 2. С. 90–94.
2. Васильев, В. А. Управление качеством: монография / В. А. Васильев. – Москва: МАИ, 2022. – 158 с. – ISBN 978-5-4316-0986-2. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/383120> (дата обращения: 23.01.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Н. В. Решетникова\**

Старший преподаватель

*А. Г. Панкратов\**

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## О МЕТОДАХ СИНТЕЗА НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Рассматриваются методы синтеза систем автоматического управления, параметры которых изменяются с течением времени, раскрывается зависимость применяемых методов от сопоставимости времени влияния нестационарности и времени переходного процесса в САУ.

**Ключевые слова:** системы автоматического управления, синтез САУ, нестационарные системы.

*N. V. Reshetnikova\**

Senior Lecturer

*A. G. Pankratov\**

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ON METHODS OF SYNTHESIS OF NON-STATIONARY CONTROL SYSTEMS

The methods of synthesis of automatic control systems whose parameters change with time are considered, the dependence of applied methods on comparability of time of influence of non-stationarity and time of transient process in ACS is revealed.

**Keywords:** automatic control systems, synthesis of automatic control systems, non-stationary systems.

Нестационарными системами автоматического управления называются системы, параметры которых изменяются с течением времени. Если говорить строго, то, видимо, все системы автоматического регулирования нестационарны, поскольку и у стационарных систем невозможно гарантировать идеальную стабильность их параметров в процессе эксплуатации [1]. Наличие в системе нестационарности накладывает на разработчика системы управления необходимость учитывать её при решении задачи синтеза.

Формально можно разделить виды нестационарностей на три группы по степени негативного влияния дрейфа её параметров на САУ в целом [2]: в случае, если нестационарность, возникающая в элементах САУ, не оказывает существенного деструктивного влияния на показатели качества и может быть скомпенсирована, такую нестационарность можно назвать *некритической* и не учитывать при синтезе систем [3]; в случае, если возникающий дрейф параметров приводит к ощутимому ухудшению показателей качества системы управления, компенсировать это введение обратной связи невозможно и требуется более сложные алгоритмы управления, нестационарность можно назвать *докритической* [4]; если в течение времени, сопоставимого с длительностью переходного процесса, дрейф параметров превышает допустимые пределы, возможна потеря устойчивости САУ – такая нестационарность может быть названа *критической* [5].

Задача синтеза закона управления нелинейного нестационарного объекта может быть сформулирована следующим образом: необходимо найти закон управления для нелинейных нестационарных объектов, которые описываются системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(x, t) \cdot x(t) + B(t) \cdot u(t) + f_{\xi}(t), \\ y(t) = L^T(t, \xi) \cdot x(t). \end{cases}$$

обеспечивающий ограниченность всех сигналов в замкнутой системе, заданные динамические параметры (устойчивость и требуемые показатели качества САУ) [6] при любых начальных условиях и ограниченных внешних возмущениях

$$\int_0^{\infty} \|f_{\xi}(t)\|^2 dt < \infty, \quad \forall \xi \in \Xi$$

или при ограничении по норме

$$\|f_{\xi}(t)\| < f_0^2 = \text{const},$$

где  $\xi$  – вектор изменяющихся параметров;  $\Xi$  – множество возможных значений набора изменяющихся параметров  $\xi$  при выполнении целевого условия вида [7].

К наиболее распространенным методам синтеза относятся:

- метод преобразований подобия, приведение гладкой нестационарной системы к канонической Фробениусовой форме (перевод матрицы системы в матрицу Фробениуса) с помощью замены  $y=T(t)x$  [8];
- метод скоростного градиента в дифференциальной форме [9], представляющий применение функций Ляпунова с целью минимизации значения некоторой гладкой неотрицательной целевой функции (функционала) [10];
- метод синтеза, основывающийся на концепции расширенной ошибки, представляет собой алгоритм управления линейными объектами по выходу при помощи введения в систему дополнительного сигнала [11];
- метод адаптации высоких порядков, преобразование изначально заданной системы в параметрическую форму и выбор закона управления в соответствии с относительной степенью модели [12];
- метод обратной задачи динамики, заключающийся в выборе эталонного (дифференциального) уравнения по заданному описанию системы и желаемым динамическим параметрам. Решение данного уравнения относительно старшей производной и подстановка найденного значения в уравнение объекта с последующим нахождением закона управления [13];
- метод синтеза нелинейных систем за счет предварительного преобразования в линейную модель. Заданному нелинейному объекту рассчитывается система управления, обладающая линейными характеристиками, с последующим выбором управления уже известными методами: скоростного градиента, адаптации высоких порядков, метода синтеза, основывающегося на концепции расширенной ошибки и т.д. [14].
- параметрический синтез САУ обобщенным методом Галеркина, распространенный на новый класс нестационарных систем, позволяющий с единых математических, методологических и алгоритмических позиций решать подобные задачи для САУ широкого класса [15, 16].

При синтезе параметров законов управления в нестационарных системах следует в первую очередь оценить степень негативного влияния нестационарности на параметры неизменяемой части системы, затем исходя из имеющихся технических требований и ограничений выбирать тот метод синтеза, который позволит добиться требуемых показателей качества переходного процесса – это может быть технически реализовано, например, при учете движения параметров в виде математического закона или при переключении между несколькими структурами регулятора [17].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

#### Библиографический список

1. Красовский А.А. Основы автоматической кибернетики. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1962, – 600 с.
2. Кудряшов, В. С. Методы синтеза цифровых систем управления многосвязными технологическими объектами: монография / В. С. Кудряшов, С. В. Рязанцев, А. В. Иванов. – Воронеж: ВГУИТ, 2018. – 333 с. – ISBN 978-5-00032-303-8. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106907>.
3. Артамонов, Д. В. Основы теории линейных систем автоматического управления [Текст]: Учебн. пособие / Д. В. Артамонов, А. Д. Семёнов – Пенза: Изд-во Пенз. гос. унта, 2003. – 135 с.
4. Гропп, Д. Методы идентификации систем [Текст] / Д. Гропп. – М.: Мир, 1979. – 304 с.
5. Заде, Л. Теория линейных систем [Текст] / Л. Заде, Ч. Дезоер. – М.: Наука, 1970. – 704 с.
6. Оморов Т. Т., Кожекова Г. А., Жолдошов Т. Метод синтеза автоматических регуляторов для нестационарных линейных многомерных систем; НАН КР., 2012, 4 с.
7. Семичевская Н. П., Алгоритмы робастного нелинейного управления нестационарными динамическими объектами; под ред. Е. Л. Еремина; АмГУ. Благовещенск, 2006., 150 с.
8. Зубов Н. И. Математические методы анализа и синтеза линейных нестационарных систем управления; под ред. Е. И. Веремей; СПбГУ. СПб., 2003., 107 с.
9. А. Л. Фрадков “Схема скоростного градиента и ее применение в задачах адаптивного управления”, Автомат. и телемех., 1979, № 9, 90–101.
10. Фрадков А. Л., Томчина О. П., Галицкая В. А. Интегро-дифференцирующие алгоритмы скоростного градиента в задачах кратной синхронизации вибрационных установок // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №1(83). – с. 30–37.
11. Е. Л. Еремин, Л. В. Чепак, Алгоритмы адаптации дискретно-непрерывных систем для объектов с запаздыванием по управлению, АмГУ, Благовещенск, 2006 г., 12 с.
12. Бобцов А. А., Никифоров В. О., Применение алгоритмов адаптации высокого порядка в условиях внешних возмущений; СПбГУ ИТМО, СПб., 2005., 5 с.
13. Любимов Е. В., Автоматизированный аналитический синтез нелинейных систем управления сложными динамическими объектами; под ред. А. А. Дыда; МГУ им. Г. И. Невельского. Владивосток, 2007, 197 с.
14. А. Р. Гайдук, «Синтез нелинейных селективно-инвариантных систем управления на основе квазилинейных моделей», Автомат. и телемех., 2023, № 2, 81–102
15. Никитин А. В., Шишлаков В. Ф. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления: Монография / Под ред. В. Ф. Шишлакова; СПбГУАП. СПб., 2003, 358 с.
16. Моделирование и синтез нелинейных систем автоматического управления / Шишлаков В.Ф., Ватаева Е.Ю., Решетникова Н.В., Криволапчук И.Г. и др. // Датчики и системы. – 2019. – № 11 (241). – с.17–24.
17. Общая схема решения задачи синтеза нелинейных нестационарных САУ во временной области / В. Ф. Шишлаков, Н. В. Решетникова, Е. Ю. Ватаева, Д. В. Шишлаков // Датчики и системы. – 2020. – № 7(249). – С. 12–16.

*Н. А. Романченко*

Начальник отдела Проблем экономики и управления высокотехнологичных предприятий

Кандидат педагогических наук, доцент

АО ЕТИ, Евразийский технологический институт, Москва, Россия

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ПРОБЛЕМАМ ОБУЧЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ

Рассматриваются вопросы организации обучения специалистов предприятий высокотехнологичных отраслей для формирования профессиональных компетенции. Использование модульной конструкции учебного процесса позволит трансформировать процесс под новые задачи. Актуальность темы обуславливается необходимостью обеспечения процесса обучения на разных уровнях обучения для различных категорий специалистов.

**Ключевые слова:** модульная система обучения, управление качеством, высокотехнологическое предприятие.

*N. A. Romanchenko*

Head of Department, Candidate of Pedagogical Sciences, Associated Professor

ISC ETI, Department of Economic and Management of High-Tech Enterprises,

Moscow, Russia

## ORGANIZATION OF WORK ON PROBLEMS OF TRAINING AT ENTERPRISES OF HIGH-TECH INDUSTRIES

The issues of organization of training of specialists of enterprises of high-tech industries for the formation of professional competence are considered. Using the modular design of the educational process will allow you to transform the process to new tasks. The relevance of the topic is determined by the need to ensure the training process at different levels of training for different categories of specialists.

**Keywords:** modular training system, quality management, high-tech enterprise.

Постоянные изменения в производственно- технологическом пространстве приводят к несоответствию между уровнем компетенции выпускников вузов и организационными потребностями предприятия.

Существует в организациях высокотехнологических отраслей проблема сохранения опытных и компетентных сотрудников, столкнувшихся с ограничением возможностей для своего служебного роста в обеспечении конкурентоспособности производственно – технологического пространства. Предполагается, что оно должно быть тесно связано с научно-образовательным пространством для эффективной интеграции уровней профессионального образования.

Для совместного осуществления научно – образовательного и производственно- технологического процесса для развития эффективного партнёрства необходимо расширение и укрепление связей между наукой и образованием, и производством с привлечением высококвалифицированных специалистов из ведущих вузов, корпораций и предприятий

Для осуществления этой совместной деятельности необходимо использовать наиболее продвинутые методы учебного процесса.

К сегодняшнему дню наиболее продвинутой является модульная конструкция учебного процесса, которая позволяет трансформировать процесс под новые задачи предприятий.

Такая система может быть использована при управлении качеством для специалистов на разных уровнях обучения.

### Библиографический список

1. Сироткин Р. О., Байдакова Н. И. Романченко Н. А. Менеджмент качества. – М.: Изд «Доброе слово», 2018. – 296с. ISBN 978-5-89796-626-5.
2. Стандартизация, цифровизация и управление знаниями – основные драйверы в высокотехнологичных отраслях и компаниях. Под редакцией Р.О. Сироткина – М.: изд. «Доброе слово и Ко», 2021. – 144 с. ISBN 978-5-6045495-6-8.
3. Сироткин Р. О., Байдакова Н. И., Романченко Н. А. Применение методов производственного менеджмента в системе обучения профессиональным компетенциям с позиции технологического лидерства. С. 131–135 // В сб.Современные проблемы эффективности управления высокотехнологичными компаниями». Под редакцией Р. О. Сироткина. – М.: Издательство «Доброе слово» 2019 г. – 192с. ISBN 978-5-89796-637-0.

*Н. В. Сакова*

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К КЛАССИФИКАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рассмотрены подходы к выделению групп профессиональных рисков предприятия, позволяющие оптимизировать процесс управления рисками.

**Ключевые слова:** профессиональный риск, опасность, классификация опасностей.

*N. V. Sakova\**

Cand. Sci. Tech., Assoc. Prof.

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## IMPROVEMENT OF APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF OCCUPATIONAL RISKS AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

The approaches to the allocation of groups of professional risks of the enterprise, allowing to optimize the process of risk management are considered.

**Keywords:** occupational risk, hazard, hazard classification.

Получение качественной продукции машиностроительного производства предполагает создание и поддержание эффективного функционирования систем управления машиностроительным предприятием. Одной из важнейших частей общей системы управления является управление в области техносферной безопасности, нацеленной на создание безопасной производственной среды, сохранение жизни и здоровья работников, предупреждение производственных аварий и катастроф, в том числе с нанесением материального ущерба предприятию. Система управления техносферной безопасностью, в свою очередь, включает различные направления, такие как управление промышленной безопасностью, охраной труда, пожарной безопасностью и др. Разнообразие и сложность технологических процессов машиностроительного предприятия, создает высокий риск возникновения нежелательных событий, приводящих к возникновению чрезвычайных происшествий и развития аварий. В связи с этим, снижение техногенных рисков является одной из важнейших задач систем управления техносферной безопасностью на предприятии.

Риск ориентированные подходы, которые лежат в основе функционирования современных систем управления техносферной безопасности, предполагают проведение анализа опасностей (рисков). В области управления охраной труда предприятие оценивает и разрабатывает мероприятия по снижению профессиональных рисков [1]. Несмотря на то, что результаты этого анализа дают много ценной информации в области обеспечения безопасности, они не в полной мере используются предприятиями. Например, на основе анализа профессиональных рисков можно создавать более эффективные системы обучения персонала в области техносферной безопасности. В связи с этим встает вопрос о выделении групп рисков, которые были бы удобны для использования на предприятии в решении задач в области техносферной безопасности.

Рекомендации по классификации профессиональных рисков приведенные в государственных нормативных документах [2], предполагают классификацию по видам деятельности (работника, работодателя), по причинам и объектам возникновения опасностей. Данная классификация значительно усложняет проведение анализа рисков и может приводить к дублированию рисков, попадающих в разные группы. Наиболее информативной является классификация рисков по причинам (источникам) их возникновения. При использовании такой классификации облегчается задача выбора специфических мер для защиты не только от конкретной опасности, но также одновременно от группы опасностей. В качестве примера можно привести следующие группы: электрические опасности, термические опасности, химические опасности, механические опасности, радиационные опасности, опасности пожара, транспортные опасности, опасности тяжести и напряженности труда, и т.д. Разработав классификатор опасностей на основе данного подхода, предприятие легко может идентифицировать и риски на рабочих местах и разработать меры их снижения с использованием традиционных подходов.

### Библиографический список

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 декабря 2021 г. № 926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков» URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_406016](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_406016) (дата обращения 28.01.24).
2. Приказ Минтруда России от 31.01.2022 N№ 36 «Об утверждении Рекомендаций по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей». URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=408713&dst=100011#9TDfe2UEGCnvHPpB> (дата обращения 28.01.24).

*Н. В. Сакова*

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АНАЛИЗ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ ТРУДА

Рассмотрены вопросы учета психофизиологических факторов при проведении оценки условий труда; возможности их анализа в ходе оценки профессиональных рисков.

**Ключевые слова:** психофизиологические факторы, условия труда, анализ профессиональных рисков.

*N. V. Sakova\**

Cand. Sci. Tech., Assoc. Prof.

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ANALYSIS OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL FACTORS IN THE ASSESSMENT OF LABOR CONDITIONS

The issues of taking into account psychophysiological factors in the assessment of labor conditions, the possibility of their analysis in the assessment of occupational risks are considered.

**Keywords:** psychophysiological factors, labor conditions, occupational risk analysis.

В настоящее время важнейшей задачей в области управления предприятием является сохранение и привлечение компетентного персонала к проведению производственных процессов. Получение качественной продукции требует создания и поддержания безопасной производственной среды предприятия. Особенно это актуально для машиностроительной отрасли, т.к. в ней используется сложное современное оборудование и проводятся разнообразные производственные процессы с наличием большого количества техногенных опасностей. Производственные аварии и катастрофы с повреждением здоровья и гибелью работников негативно сказывается как на имидже предприятия, так и на его финансово положении. Согласно данным статистики, показатели производственного травматизма в машиностроительной области превышают аналогичные среднероссийские показатели на 20%. [1]. Анализ причин производственного показывает, что до 80% несчастных случаев связаны именно с человеческим фактором: нарушением правил проведения работ, требований безопасности и прочими причинами. Устранение данных причин предполагает как тщательную подготовку работников, так и создание безопасной производственной среды. Оценка безопасности производственной среды и условий труда в настоящее время производится при проведении анализа профессиональных рисков и специальной оценки условий труда. Проведение спецоценки условий труда жестко регламентировано государственными нормативными. Однако число показателей, описывающих условия труда достаточно ограничено. В связи с этим, многие факторы, влияющие на безопасность труда, в настоящее время не учитываются. Особенно большое количество таких факторов относится к показателям напряженности труда, таким как сложность выполняемых заданий, дефицит времени на выполнение задания, эмоциональные нагрузки, степень риска для жизни, сменность работы. Данные факторы влияют на психофизиологическое состояние работника, повышают вероятность возникновения ошибок, приводящих к снижению качества работ и возникновению травм [2]. В связи с этим, возникает необходимость учета этих факторов и снижение как вероятности, так и интенсивности их воздействия.

Решение данной задачи возможно путем включения данных показателей в реестр опасностей предприятия при проведении анализа профессиональных рисков. Данные факторы отсутствуют в примерном перечне опасностей, используемом на предприятиях [3]. Проведение анализа данной группы факторов позволит учесть их неблагоприятное воздействие на работников. Несмотря на то, что определить вероятность воздействия и тяжесть последствий при реализации таких опасностей достаточно сложно, анализ даст большое количество информации о возможности снижения риска при их воздействии. Также включение данных опасностей в документы анализа рисков позволит предприятию проводить обоснование финансовых затрат на проведение мер по совершенствованию условий труда и снижению производственного травматизма.

### Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики. Условия труда. URL: [https://rosstat.gov.ru/working\\_conditions](https://rosstat.gov.ru/working_conditions).
2. Мерзлякова Д. Р., Мирошниченко А. А. Влияние на безопасность труда профессионального выгорания и депрессии, их комплексная профилактика. Безопасность труда в промышленности. 2020. № 8. С. 68–73.
3. Приказ Минтруда России от 31.01.2022 N№ 36 «Об утверждении Рекомендаций по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей». URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=408713&dst=100011#9TDfe2UEGCnvHPpB> (дата обращения 28.01.24).

*Л. И. Седин\**

Магистрант

*С. А. Назаревич\**

к.т.н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Модели оценки качества производственной инфраструктуры представляют собой методы и инструменты, используемые для измерения эффективности и надежности инфраструктурных систем в производственных предприятиях. Они позволяют оценить состояние и потенциал развития производственной инфраструктуры, выявить узкие места и оптимизировать процессы.

**Ключевые слова:** производственная инфраструктура, модели оценки качества, производственные предприятия, оптимизация процессов, ресурсы

*L. I. Sedin\**

Master's student

*S. A. Nazarevich\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## MODELS FOR ASSESSING THE QUALITY OF PRODUCTION INFRASTRUCTURE

Production infrastructure quality assessment models are methods and tools used to measure the efficiency and reliability of infrastructure systems in manufacturing enterprises. They allow us to assess the state and potential of the development of production infrastructure, identify bottlenecks and optimize processes.

**Keywords:** production infrastructure, quality assessment models, manufacturing enterprises, process optimization, resources.

Производственная инфраструктура является важной составной частью современного промышленного предприятия, обеспечивающей и поддерживающей условия его нормального функционирования и устойчивого развития. [4]

На сегодняшний день, модели оценки качества производственной инфраструктуры являются важным инструментом для оценки эффективности производственных предприятий. Оценка качества производственной инфраструктуры позволяет выявить проблемные зоны и направить усилия на их улучшение.

Модель организации производственной инфраструктуры промышленного предприятия оказывает существенное влияние на уровень эффективности производства. Простой производства по причине низкого уровня организации вспомогательных процессов приводят к снижению выпуска продукции, перерасходу материальных ресурсов, увеличению себестоимости конечной продукции. В настоящее время значительная часть задач по техническому обслуживанию производства передается специализированным компаниям на основе технологий аутсорсинга. При адекватном исполнении сторонами своих обязанностей это позволяет существенно снизить затраты на организацию вспомогательного хозяйства предприятия. [1]

Большое влияние оказывает не только инфраструктура производства, но и отработанные, налаженные системы и пути доставки ресурсов для поддержания работоспособности производства, тем самым означая необходимость в проведение оценки качества этого аспекта производственной модели [2]

Любой владелец производства хочет, чтобы его организация использовала более эффективные методы управления инфраструктурой с помощью усовершенствованных информационных систем, уделяя особое внимание коммуникациям и обмену информацией [3]

Модели оценки качества производственной инфраструктуры способствуют повышению конкурентоспособности предприятий на рынке и обеспечивают устойчивое развитие производственного сектора. Эти оценки являются важным инструментом для принятия решений о внедрении инноваций и совершенствовании производственных процессов.

Формирование фронтиров для анализа качества производственной инфраструктуры основывается на оценке потребителями наиболее значимых критериев и трендов в данной области. Изучение этой сферы позволяет разрабатывать стратегии развития как для крупных компаний, так и для небольших организаций, занимающих определенную нишу в производственном секторе. Также оценка качества производственной инфраструктуры способствует повышению экономической эффективности за счет использования инноваций в производственном процессе.

### Библиографический список

1. Шинкевич А. И., Малышева Т. В. Диагностика зависимости основного производства от производственной инфраструктуры на основе ансамблевого метода машинного обучения //Общество: политика, экономика, право. – 2023. – №. 8 (121). – С. 114–120.
2. Hossain N. U. I. et al. Modeling and assessing interdependencies between critical infrastructures using Bayesian network: A case study of inland waterway port and surrounding supply chain network //Reliability Engineering & System Safety. – 2020. – Т. 198. – С. 106898.
3. Zeb J., Froese T., Vanier D. Infrastructure management process maturity model: development and testing // Journal of sustainable development. – 2013. – Т. 6. – №. 11. – С. 1.
4. Михайлов Ю. И., Семёнов В. П., Михайлова Н. В. Оценка эффективности функционирования производственной инфраструктуры предприятий горнодобывающей промышленности //Экономический вектор. – 2021. – №. 2 (25). – С. 39–50.

*М. О. Силиванов\**

к. х. н., доцент

*Ю. Д. Сопина\**

студент

\*Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II

## ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ РАЗРАБОТАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В статье представлена работа по оценке соответствия разработанного лабораторного оборудования нормативной документации, отмечены преимущества модифицированной установки.

**Ключевые слова:** оценка соответствия, нормативная документация, лабораторное оборудование.

*M. O. Silivanov\**

Ph.D. Chem., Associated Prof

*Yu. D. Sopina\**

Student

\*St. Petersburg Mining University

## ASSESSMENT OF COMPLIANCE OF THE DEVELOPED LABORATORY COMPLEX WITH REGULATORY DOCUMENTATION

The article presents the work on the assessment of compliance of the developed laboratory equipment with regulatory documentation, the advantages of the modified installation are noted.

**Keywords:** compliance assessment, documentary standard, laboratory items.

Была разработана установка, в основу которой положено явление неупругого соударения тел, запускающее вращательные колебания баллистического маятника. Целью создания комплекса измерительных устройств является модернизация лабораторного оборудования. Основной задачей данной работы является оценка соответствия установки нормативной документации.

Согласно ГОСТ 8.674-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к измерительным приборам и системам и устройствам с измерительными функциями», указаны метрологические характеристики лабораторного оборудования, такие как диапазон измерений и пределы погрешностей. Также указаны технические требования, обусловленные конструктивными особенностями приборов и материалами, из которых изготовлен лабораторный комплекс.

В данной работе рассмотрено влияние внешних механических условий – вибраций – на лабораторное оборудование, а также обозначен класс чувствительности измерительных приборов к электромагнитным помехам. Конструкция измерительного прибора способна поддерживать адекватные значения по метрологическим показателям в течение длительного времени при условии его эксплуатации в соответствии с указаниями, предложенными в методических указаниях по лабораторной работе.

В том числе проведена оценка корпусов лабораторного комплекса согласно ГОСТ ИЕС 60670-1-2016 «Кожухи и оболочки для принадлежностей бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 1. Общие требования», установлены основные требования к конструкции, её особенности и отмечены оптимальные условия окружающей среды. Таким образом, корпуса лабораторного комплекса обеспечивают необходимую электрическую и механическую защиту частей аппарата, безопасность пользователей.

Также неотъемлемой частью созданной установки является программное обеспечение, оценка качества которого была проведена согласно ГОСТ 28195-89 «Оценка качества программных средств. Общие положения». Рассмотрены фазы жизненного цикла программы, что позволило подробнее изучить каждую ступень процесса создания, выявить и устранить ошибки.

### Библиографический список

1. Архангельский М. М. Курс физики. Механика. (Учебное пособие.) – М.: Москва: Издательство “Промсвещение”, 1975. – 424 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1. Механика. – М.: Издательство “Лань”, 2022. – 340 с.
3. Трофимова Т. И. Курс физики. (Учебное пособие.) – М.: Издательский центр “Academia”, 2006. – 560 с.
4. Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. – М.: Издательство “ФИЗМАТЛИТ”, 2003. – 576 с.

*Г. В. Симонова\**

к. т. н., доцент

*А. Н. Матвеев\*\**

Зам. главного метролога

\*Сибирский государственный университет геосистем и технологий,

\*\*Новосибирский «ООО» ЦСМ

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ

Проведен анализ деятельности метрологических служб в условиях конкуренции на рынке услуг. Показана возможность повышения качества предоставляемых услуг и повышения эффективности деятельности метрологических служб при расширении области их деятельности путем введения отделов сервисного обслуживания.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, средства измерений, метрологическая служба, сервисное обслуживание.

*G. V. Simonova\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

*A. N. Matveev\*\**

Deputy Chief metrologies

\*Siberian State University of Geosystems and Technologies,

\*\*Center for Standardization and Metrology Novosibirsk

## INCREASING THE EFFICIENCY OF METROLOGICAL SERVICES

An analysis the activities of metrological services in conditions of competition in the services market carried out. The possibility improving the quality of services provided and increasing the efficiency of metrological services while expanding the scope of their activities by introducing service departments is shown.

**Keywords:** metrological support, measuring instruments, metrological service, after-sales service.

В настоящее время метрологические службы России имеют достаточно сложную структуру, при обеспечении работ в области стандартизации и метрологии. Подтверждение соответствия метрологических характеристик любых средств измерений установленным требованиям является одной из основных задач обеспечения единства измерений в соответствии с техническим законодательством страны, однако, при узком подходе к реализации профессиональной деятельности метрологических служб возникают проблемы как у заказчиков услуг по поверке, так и у самих служб. Такая ситуация обусловлена как условиями на рынке услуг, так и производственной деятельностью различных организаций.

Имеющийся в стране парк измерительного оборудования в процессе эксплуатации неизбежно стареет, а приобретение нового иногда сопряжено с большими экономическими затратами, да и технически не всегда оправдано. Поэтому возникает необходимость не только в качественном техническом обслуживании, но и в ремонте эксплуатируемых приборов [1].

Многие высокотехнологичные производственные организации имеют большое количество различного оборудования, но проводить технический осмотр и ремонт оборудования самостоятельно, без специального оснащения, а также кадрового и нормативного обеспечения весьма затруднительно, да и не выгодно с точки зрения экономии материальных средств. Более того, вмешательство в сложные системы современного электронного и механического оборудования неквалифицированного персонала может привести к его необратимой порче.

С другой стороны, в большинстве случаев именно метрологические службы обладают не только технической информацией о средствах измерения, но и имеют соответствующий кадровый потенциал, профессиональные навыки которого не только позволяют определить наличие неисправности, но и располагают информацией, как данное несоответствие устранить [2, 3]. Проведенный анализ приводит к выводу о необходимости создания при метрологических центрах с целью повышения эффективности их деятельности, отделов сервисных служб. Наличие таких новых услуг в данной организации позволит повысить качество предлагаемых услуг, что особенно актуально в условиях высокой конкуренции в сфере поверки и технического обслуживания приборов, поскольку создает потенциал для привлечения клиентов, а также увеличить срок службы сложного и, как правило, дорогого оборудования.

### Библиографический список

1. ГОСТ 18322-2016. Межгосударственный стандарт система технического обслуживания и ремонта техники. – Введ. 01.09.2017. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 17 с.
2. Горбатов Ю. Н. Обслуживание и ремонт средств измерений. – Москва: Издательско-торговая корпорация "Дашков и Ко", 2008. – 216 с.
3. РМГ 128-2013. ГСИ. Требования к созданию лабораторий, осуществляющих испытания и измерения. – Введ. 01.05.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

**В. О. Смирнова\***

Доцент, к.т.н., доцент

**Е. А. Минкинен\***

Магистрант

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В тезисах доклада представлен анализ проблемы современного исследования методов оценки качества атмосферного воздуха Санкт-Петербурга и Ленинградской области в условиях изменения климата.

**Ключевые слова:** загрязняющие вещества, концентрация, превышение, климат.

**V. O. Smirnova\***

PhD, Tech., Associate Professor

**E. A. Minkinen\***

Master's student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## PROBLEMS OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY STANDARDIZATION IN SAINT-PETERSBURG AND LENINGRAD REGION UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

The thesis of the report presents the analysis of the problem of modern research of methods for assessing the quality of atmospheric air of St. Petersburg and Leningrad region under conditions of climate change.

**Keywords:** pollutants, concentration, exceedance, climate.

Одной из главных целей экологической безопасности РФ является поддержания качества воздуха на приемлемом уровне [1]. В современной России основой методов обеспечения качества атмосферного воздуха является предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющего вещества (ЗВ). ПДК – величина максимальной концентрации загрязнителя, которая в течение контрольного времени не наносит существенного вреда организму. Данный норматив является, как считается, самым надёжным и устоявшимся способом нормирования качества воздуха. Однако существует ряд проблем, которые не могут быть учтены расчётами на основании ПДК.

Экологические расчёты рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере на основе ПДК считаются универсальными. Методика теоретического расчёта поведения ЗВ в атмосфере базируется на климатогеографических особенностях, рельефе и розе ветров местоположения источника данного ЗВ – техногенного объекта [2]. Часто расчёты показывают, что концентрация загрязнителей в жилой зоне не превышает нормативы. Однако, в ходе жизнедеятельности техногенного объекта выясняется, что фактические концентрации загрязняющих веществ в прилегающей жилой зоне зачастую превышают ПДК.

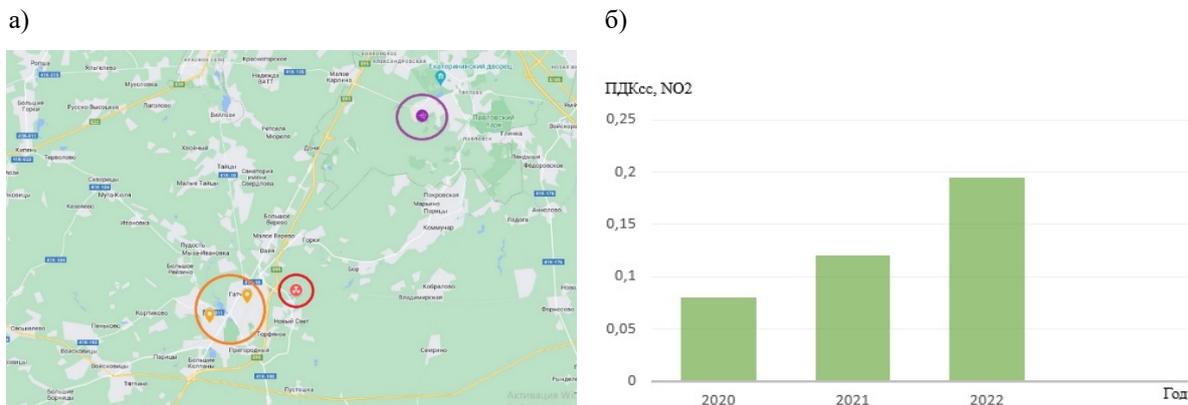


Рис. 1. а) точки отбора проб концентрации NO<sub>2</sub> в селитебной зоне: красным кругом отмечено место отбора проб вблизи полигона «Новый свет – Эко», оранжевым отмечены два места отбора проб в жилой зоне, фиолетовым – пост мониторинга 17-ой станции в Санкт-Петербурге (г. Пушкин), б) среднегодовые значения концентрации NO<sub>2</sub> на станции мониторинга № 17 [7]

Для подтверждения аргумента произведём сравнение концентрации NO<sub>2</sub> селитебной зоны вблизи полигона ТБО «Новый свет – Эко», расположенном в Гатчинском районе Ленинградской области, и со значением

концентрации в точках отбора проб в зоне влияния объекта. В соответствии с расчётами экологической экспертизы, одобренной Росприроднадзором в 2021 году, полигон продолжили загружать отходами вплоть до настоящего момента [3]. Однако, согласно данным контроля загрязнения атмосферного воздуха постов мониторинга Ленинградской области время от времени обнаруживается превышения концентрации NO<sub>2</sub>. Для подтверждения аргумента приведём измерения в трёх точках по адресам: ул. Волкова, д. 1/1, ул. Зверевой, д. 12А, г. Пушкин, Тиньков пер., д. 4 (рисунок 1а).

Измерение концентрации NO<sub>2</sub> 06.01.2024 и 07.01.2024, при северо-восточном переносе воздушных масс, показывает существенное превышение концентрации поллютанта в жилой зоне. Данные значений концентрации NO<sub>2</sub> приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1

Концентрация NO<sub>2</sub> в точках пробоотбора жилых зон

Точка отбора пробы	Концентрация NO <sub>2</sub>
г. Гатчина, ул. Волкова, д. 1/1	1,22
г. Гатчина, ул. Зверевой, д. 12А	1,23

Согласно санитарно-гигиеническим нормативам ПДК<sub>сс</sub> NO<sub>2</sub>=0,1 мг/м<sup>3</sup> [5]. В жилой зоне Гатчинского района, рядом с ТБО “Новый свет – Эко” происходит превышение ПДК<sub>сс</sub>, в то время при проведении теоретических расчётов вблизи полигона превышение концентрации NO<sub>2</sub> не было выявлено. Кроме того, результаты измерений концентрации NO<sub>2</sub> ежегодно остаются в пределах нормы. Согласно протоколу №142-п мониторинга атмосферного воздуха в точках отбора проб на границе санитарно-защитной зоны полигона от 2022 года концентрация NO<sub>2</sub> была равна менее 0,1 мг/м<sup>3</sup> [6]. Стоит отметить, что на 17-ой станции мониторинга Санкт-Петербурга среднегодовое значение концентрации NO<sub>2</sub> за 2021 и 2022 годы превышено. Это отчётливо прослеживается после продления сроков работы полигона на 5 лет, что может свидетельствовать о переносе воздушных масс с г. Гатчины. Данные указаны на рисунке 1б.

Несмотря на технические расчёты, выполненные согласно методике и подтверждённые экологической экспертизой, определить концентрацию ЗВ в жилой зоне, выбрасываемым техногенным объектом, не всегда представляется возможным. Высокие концентрации NO<sub>2</sub> определённо вызваны не только работой полигона, но и жизнедеятельностью других техногенных объектов, автотранспорта. Загрязнения, исходящие от разных источников, накладываются друг на друга, что зачастую не учитывается. Такая непредсказуемость может быть связана с нестабильностью атмосферы, происходящая в ходе постепенного изменения климата. С 1979 по 2020 год неустойчивые атмосферные условия значительно увеличились (8%-32%) над большинством территорий суши, что может приводить к увеличению конвективных явлений [8]. Изменение потока воздушных масс, смена ветров и нетипичный уровень влажности для региона могут изменить поведение газов в атмосфере. Например, засчёт увеличения повторяемости ветра со скоростью 2-5 м/с растёт загрязнение атмосферного воздуха взвешенными веществами. Установлена прямая зависимость между коэффициентом устойчивости пасмурной погоды и содержанием NO<sub>2</sub>. Разнонаправленный характер действия метеорологических параметров приводит к тому, что ингредиенты длительное время находятся в атмосферном воздухе: SO<sub>2</sub> – 4-5 суток, NO<sub>2</sub> – от 5 сут. до 4 месяцев, СО – от 100 сут. до 3 лет, H<sub>2</sub>S 2-4 сут., NH<sub>4</sub> 7 сут [9]. ЗВ накапливаются и вступают в реакции друг с другом, образуя устойчивые соединения и задерживаясь в атмосфере дольше.

В современных условиях теоретические расчёты концентрации загрязняющих веществ в селитебной зоне зачастую не подтверждаются на практике. Точное прогнозирование уровня загрязнения в жилой зоне не всегда представляется возможным по существующим методикам, в основе которых лежит ПДК. При проведении экологической экспертизы стоит учитывать фактическую фоновую концентрацию в жилой зоне, эффект суммации и изменение геоклиматических факторов региона расположения техногенного объекта, происходящее в ходе изменения климата. Климатические изменения делают атмосферу нестабильной, в следствие чего жизненный цикл газов становится непредсказуемым. Необходимо проводить новые исследования и корректировать существующие нормативы с учётом изменяющихся факторов.

#### Библиографический список

1. Стратегии экологической безопасности Российской Федерации в период до 2025 года [Электронный ресурс]: указ Президента №176 от 19 апреля 2017 года. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636> (дата обращения: 20.01.2024).
2. Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. Приказ №273 от 6 июня 2017 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 23.01.2024).
3. Организация и проведение государственной экологической экспертизы федерального уровня. URL: <https://rpn.gov.ru/regions/78/gov-services/gov-eco-exp> (дата обращения 20.01.2024).

4. Данные станций контроля загрязнения атмосферного воздуха. URL: <https://nature.lenobl.ru/realizatsiya/ohrana-i-monitoring-okruzhayushej-sredy/dannye-avtomaticheskikh-postov-monitoringa-atmosfernogo-vozduha/> (дата обращения 20.01.2024).
5. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 22.01.2024).
6. Протокол мониторинга измерений воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха. Протокол №142-п от 27 апреля 2022 года. URL: <http://www.ns-eco.ru/0,1/monitoring/> (дата обращения 23.01.2024).
7. Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. URL: <https://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения 20.01.2024).
8. The Atmosphere Has Become Increasingly Unstable During 1979–2020 Over the Northern Hemisphere. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2023GL106125> (дата обращения 20.01.2024).
9. Михаил Абрамович Климат и прогноз загрязнения атмосферного воздуха в городе // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimat-i-prognoz-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-v-gorode> (дата обращения: 20.01.2024).

*И. В. Сурков\**

Директор, к.т.н., доцент

\*Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерений в машиностроении

## НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА БАЗОВЫХ ПРИНЦИПОВ КООРДИНАТНОЙ МЕТРОЛОГИИ В НОВОМ ПОКОЛЕНИИ СТАНДАРТОВ

Проведен анализ текущего состояния нормативной базы координатной метрологии в России, выдвинуты предложения по разработке нового поколения межгосударственных и национальных стандартов с учетом базовых принципов и положений координатной метрологии.

**Ключевые слова:** стандартизация, координатная метрология; контроль геометрических параметров; координатно-измерительные машины; программное обеспечение для координатных измерений.

*I. V. Surkov\**

Director, Ph. D. Tech., Associated Prof

\*Chelyabinsk Research and Design Institute of Inspection and Measurement Devices in Mechanical Engineering

## THE NEED TO TAKE INTO ACCOUNT THE BASIC PRINCIPLES OF COORDINATE METROLOGY IN THE NEW GENERATION OF STANDARDS

The current state of the normative base of coordinate metrology in Russia is analyzed, proposals for the development of a new generation of interstate and national standards taking into account the basic principles and provisions of coordinate metrology are put forward.

**Keywords:** standardization, coordinate metrology; inspection of geometrical parameters; coordinate measuring machines; software for coordinate measurements.

В последние 30 лет научно-практическая, учебная и справочная литература, посвященная современным проблемам координатной метрологии, средствам и методам координатных измерений геометрических параметров деталей, в России не издавалась. В рекламных каталогах приведены в основном общие рассуждения о «великолепных», «превосходных», «уникальных» качествах предлагаемых средств измерения, но мало данных для прямого сравнения технических характеристик координатно-измерительного оборудования различных производителей и анализа метрологических возможностей программного обеспечения, очень много ошибок в терминологии. Например, в разных публикациях вместо термина «измерительная головка (ИГ)» используют «щуп», «сенсор», «датчик». «Щупом» могут назвать также «измерительный наконечник (ИН)», «удлинитель ИГ», «поворотный узел ИГ» и т.д. Вместо «математического базирования» – «привязка», «припасовка», «совмещение систем координат».

Отраслевой руководящий документ РД2 БВ00-9-90 «Координатные измерения размерных и геометрических параметров. Основные положения. Терминология» [1] был разработан ВНИИИзмерения в 1990 г. и не получил широкого распространения. Приведенные в нем термины и определения во многом устарели и не охватывают всех возможностей современных средств и методов координатных измерений. Однако, сама система базовых терминов разработана с учетом традиций советской и российской научной школы и может служить хорошей основой для дальнейшего развития нормативной базы в области координатной метрологии.

За последние годы зарубежная нормативная база пополнилась целой серией международных (ISO) и национальных (ASME, DIN, JS, BS) стандартов в области координатной (расчетной) метрологии (некоторые стандарты несколько раз обновились, часть уже отменили). В новых международных и национальных стандартах в основном учтены современные тенденции развития координатно-измерительной техники, стандартизированы базовые методики координатных измерений. Большое внимание уделено стандартизации основных расчетно-математических моделей для анализа результатов координатных измерений, воспроизводимости (совпадению) результатов координатных и традиционных методов измерений, а также обеспечению однозначности выбора правильной методики координатных измерений.

В России пытаются проводить гармонизацию, но очень медленно, с ошибками в терминах. Остаются большие «белые» пятна в нормативном поле. В качестве не очень удачного примера гармонизации можно привести ГОСТ Р ИСО 10360-1-2017 [2]. При анализе этого документа возникает ощущение, что перевод выполнялся одной из программ-переводчиков и не проверялся техническими специалистами или экспертами в области координатной метрологии. Терминология не учитывает всех особенностей советской и российской научной школы.

Специалисты Челябинского научно-исследовательского и конструкторского института средств контроля и измерения в машиностроении (ЗАО «ЧелябНИИконтроль») обладают большим опытом в области координатной метрологии. Уже более двадцати лет в ЗАО «ЧелябНИИконтроль» выполняется проектирование и изготовление новой серии многофункциональных измерительных приборов и систем модульной конструкции, предназначенных для высокоточных измерений деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями, в том

числе специализированных координатно-измерительных приборов (КИП) и систем (КИС). Проводится разработка методического, математического, информационного и программного обеспечения процессов координатных измерений. В рамках плана НИОКР на стадиях проектирования, изготовления и испытаний новых измерительных приборов и систем проводятся масштабные теоретические и экспериментальные исследовательские работы. Результаты научных исследований используются не только при проектировании и производстве новых измерительных приборов и систем, создании ПО для координатных измерений, но и для разработки нормативной документации: методик измерений, поверки и калибровки, технических условий, стандартов.

С момента основания (2006 г.) представители ЗАО «ЧелябНИИконтроль» вошли в состав подкомитета ПК7 «Трубы нарезные нефтяного сортамента» технического комитета РФ по стандартизации ТК357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны» (ПК7/ТК357). В 2015 г. по решению Межгосударственного совета по стандартизации ТК357 приобрел статус межгосударственного технического комитета МТК7 и право разработки межгосударственных стандартов. С 2007 по 2014 гг. представители ЗАО «ЧелябНИИконтроль» участвовали на постоянной основе в заседаниях рабочей группы РГ3 «Резьбовые соединения труб и методы их испытаний», а с 2015 г. вошли в состав новой рабочей группы РГ5 «Контроль резьбовых соединений» (автор стал со-руководителем РГ5). Проводилась активная работа по обсуждению проектов российских (ГОСТ Р) и межгосударственных стандартов, подготовке замечаний, многие из которых были учтены в окончательной редакции принятых нормативных документов.

Приобретенный опыт позволил ЗАО «ЧелябНИИконтроль» приступить к самостоятельной разработке проектов стандартов в области измерений геометрических параметров резьбовых соединений. Для унификации стандартных средств и методов контроля геометрических параметров резьбовых и гладких конических калибров нефтегазового сортамента, а также внедрения в практику работы метрологических подразделений координатных методов измерения, специалистами ЗАО «ЧелябНИИконтроль» в период с 2016 по 2019 гг. были разработаны проекты рабочей, первой и окончательной редакции межгосударственного стандарта «Калибры для соединений с конической резьбой обсадных, насосно-компрессорных, бурильных и трубопроводных труб. Методы измерений геометрических параметров». 1 сентября 2022 года на территории РФ этот стандарт под обозначением ГОСТ 34854-2022 [3] был введен в действие. Проведя анализ достоинств и недостатков предыдущих стандартов, отраслевых методик измерения, нормативных документов передовых инструментальных предприятий в стандарте были объединены в единый комплекс разнообразные традиционные средства и методы измерения геометрических параметров резьбовых калибров, а также добавлены разработанные специалистами ЗАО «ЧелябНИИконтроль» типовые методики координатных измерений. Для ликвидации существующих пробелов в нормативном обеспечении координатных измерений в текст стандарта была включена разработанная на основе положений РД2 БВ00-9-90, современных международных стандартов и результатов проводимых в ЗАО «ЧелябНИИконтроль» научных исследований система взаимосвязанных понятий и терминов в области координатной метрологии, а также теоретические материалы (приведены в Приложении В к стандарту [3]) и примеры практических методик.

Задачи выполняемых ЗАО «ЧелябНИИконтроль» НИОКР не ограничиваются средствами и методами измерений резьбовых поверхностей. Проводятся теоретические и экспериментальные исследования, работы по проектированию и изготовлению координатно-измерительного оборудования, разработке специализированного ПО для контроля геометрических параметров высокоточных деталей и инструментов, в том числе со сложнопольными поверхностями.

Большие сложности возникают при разработке оптимальных методик координатных измерений (МКИ) и специализированного ПО для контроля геометрических параметров зубчатых колес. Это вызвано устарелостью отечественной нормативной научно-технической документации и её несоответствием многим современным рекомендациям международных (ISO) и национальных (ASME, DIN) стандартов. ГОСТ 1643-81 [4] (распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые колёса и зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления) не перерабатывался уже более 40 лет. Зарубежная нормативная база постоянно обновляется, в новые редакции стандартов добавляют описание современных средств и методик измерений, в т. ч. особенности применения КИМ и КИС.

К достоинствам ГОСТ 1643-81 относят удобство нормирования показателей точности ЗК. Последовательность изложения материала, структура многочисленных таблиц, подробное описание методики расчета допусков позволяют даже неопытным инженерам провести правильное нормирование показателей точности. Давно назрела необходимость появления новой редакции российского или межгосударственного стандарта ГОСТ (Р) 1643-20XX, которая сохранив все достоинства предыдущей версии, была бы дополнена современными методами контроля параметров зубчатых колес, прежде всего координатными.

Не дожидаясь доработки Российских стандартов до современного уровня, специалисты ЗАО «ЧелябНИИконтроль» разработали комплект типовых МКИ параметров зубчатых колес. В их основу положены базовые принципы ГОСТ 1643-81, рекомендации нормативных документов немецкого общества VDI/VDE ([5], [6]), а также результаты собственных научно-исследовательских работ.

В последние годы происходит непрерывное совершенствование нормативной базы (пересмотр базовой системы стандартов и разработка новых) с учетом положений новой концепции GD&T (Geometric Dimensioning and Tolerancing – геометрические размеры и допуски).

GD&T – это прежде всего графический язык для однозначного и полного описания требований служебного назначения (функциональности) конструктором в чертежной документации. Все эти требования должны быть обеспечены технологом в процессе производства и их выполнение (годность детали) проверены

специалистами метрологических подразделений в том числе с применением современного координатно-измерительного оборудования. К сожалению, только часть положений концепции GD&T описаны в действующих в Российской Федерации стандартах (ГОСТ 31254-2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) [7], ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012) [8], ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) [9]), гармонизированных с международными стандартами ИСО. Кроме того, ГОСТ Р 53442-2015 уже устарел, а многие положения концепции GD&T в РФ не стандартизированы. Поэтому, более полное описание размерно-точностных параметров детали и типовой структуры ее базовой системы координат для ПО «ТЕХНОкоорд-2D. Расчеты на плоскости» и «ТЕХНОкоорд-3D» приходится разрабатывать с использованием современных положений зарубежной нормативной базы GD&T [10, 11, 12, 13, 14] не дожидаясь ввода в действие их гармонизированных версий. В этих стандартах приведено описание системы новых графических символов для однозначного кодирования требований для обеспечения заданной функциональности (служебного назначения) детали методов математической аппроксимации заменяющих и производных элементов. Следует особо подчеркнуть, что ни в российских ни в международных стандартах не приводятся конкретного описания математических моделей, задаются только общие названия математического метода или алгоритма (причем названия в разных стандартах могут отличаться друг от друга), иногда приводится краткое текстовое описание сущности метода. В итоге, каждый разработчик ПО для координатно-измерительного оборудования (и ЗАО «ЧелябНИИконтроль» в том числе) самостоятельно проводит научно-исследовательские работы, выполняет формирование базового расчетно-математического «ядра», его тестирование и дополнение новыми расчетно-математическими моделями для определения необходимых геометрических параметров [15, 16].

### Библиографический список

1. Руководящий документ: РД 2 БВ00-9-90. Координатные измерения размерных и геометрических параметров. Основные положения. Терминология. – Москва: ВНИИИзмерения, 1990. – 28 с.
2. ГОСТ Р ИСО 10360-1-2017. Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Словарь. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 32 с.
3. ГОСТ 34854-2022 Калибры для соединений с конической резьбой обсадных, насосно-компрессорных, бурительных и трубопроводных труб. Методы измерений геометрических параметров. – М: Российский институт стандартизации, 2022. – 114 с.
4. ГОСТ 1643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 45 с.
5. VDI/VDE 2607 Computer-aided evaluation of profile and helix measurements on cylindrical gears with involute profile. – Dusseldorf: 2000. – 46 s.
6. VDI/VDE 2612 Profile and helix checking of involute cylindrical gears. – Dusseldorf: 2000. – 18 s.
7. ГОСТ 31254-2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения [текст]. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 12 с.
8. ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения [текст]. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 96 с.
9. ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки [текст]. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 42 с.
10. ISO 14405-1:2016(E). Geometrical product specifications (GPS). Dimensional tolerancing: Part 1: Linear sizes. – Geneva: ISO, 2016. – 64 p.
11. ASME Y14.5-2018 (Revision of ASME Y14.5-2009). Dimensioning and tolerancing. Engineering Product Definition and Related Documentation Practices. – New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019. – 348 p.
12. ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Tolerances of form, orientation, location and run-out. – Geneva: ISO, 2017. – 154 p.
13. ISO 5459:2011. Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems. – Geneva: ISO, 2011. – 88 p.
14. ISO/DIS 5459:2016(E). Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems. – Geneva: ISO, 2016. – 107 p.
15. Сурков И. В. Разработка и тестирование в программном обеспечении «ТЕХНОкоорд» новых методов анализа результатов координатных измерений / И.В. Сурков, С.В. Вольф // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – С. 63-80.
16. Сурков И. В. Разработка расчетно-математических моделей для анализа результатов координатных измерений в соответствии с новыми требованиями нормирования точности геометрических параметров деталей / И. В. Сурков // Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2023. – С. 55-92.

## ANALYSIS OF THE STANDARD SYSTEM AND THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Standard system and quality management system are interrelated and fundamentally different, quality management system and different from the standard system, including interactive organization, process, procedures and resources, connection, interaction and support. Effective quality management system can improve the standard system and form a virtuous cycle.

**Keywords:** standard system; quality management system; difference; contact; overall

Standard system refers to the organic whole of science formed within its internal connection within a certain range. For enterprises, it takes technical standards as the main body, including management standards and working standards; the quality management system refers to the management system of commanding and controlling the organization in quality. Here is a superficial analysis of the differences and connections between the two systems.

### 1. Difference between standard system and quality management system

1.1 Quality management system is a subsystem within the management standard scope of the standard system. In addition to the quality management system, the management standard system also includes the implementation of the necessary production management system, technical management system, equipment management system, energy management system, environmental management system, labor and personnel management system and financial management system. That is, the scope of the standard system is much larger than the quality management system.

1.2 The composition of the standard system is the standard. The quality management system is composed of the organization, process, procedures and resources necessary to implement quality management. In terms of composition, it includes four aspects, one is the organization structure for quality management, which is not isolated, but with the organization operation; the second is resources, including human resources, development and development equipment, manufacturing equipment, inspection, measurement equipment; the third is the process, the resource operation process; the fourth is the procedures established for implementation process management, including management procedures and operation procedures. It should be pointed out that the above content that constitutes the quality system already exists objectively in an enterprise. The practical significance of the establishment of the quality management system according to GB / T19001 can be said to establish a more standardized, more scientific and effective quality management system according to this standard.

Enterprise standard system refers to the scientific organic whole formed by the standards within the enterprise according to its internal connection. The enterprise standard system does not emphasize the organizational structure, resources, and processes. The main body of the standard system is the technical standard, but it is based on the objective organizational structure and resources of the enterprise. It can be seen that although the definition of the two systems is different, there is no essential difference.

1.3 The objects of the standard system and the quality management system are different. The object of the standard system is the standard that must be implemented by each subsystem. The object of the quality management system is the products and services covered by the system. The enterprise standard system consists of three sub-systems, namely, technical standard system, management standard system and working standard system. The composition of the quality management system document can be described in three levels. At the top level is the quality manual, which is used to clarify the quality policy of an organization and describe its quality management system. This class of file is not included in the standard system. The second level of documents is the procedure document specifies the activities of the functional departments involved in the implementation of quality system elements (or requirements). The system elements or management matters involved in such documents, such as marketing, design, process (production) control, product verification, inspection, measurement and test equipment, nonconforming product control, etc., are basically the same as the management standards, but the elements (matters) not included in the quality management system, such as energy management, are listed in the management standard system. The third level of documents are the supporting documents of the program documents, including technical standards, work instructions, relevant reports, records, forms, etc., which contain most of the documents in the technical standard system and working standard system. That is to say, the standard system documents cover a larger scope, and the quality management system documents become the main body.

1.4 The purpose of the standard system and the quality management system are different. The purpose of the standard system is to improve the management level of the whole organization, while the quality management system is to provide customers with satisfactory products and services, to ensure customer satisfaction.

### 2. Contact between standard system and quality management system

2.1 Standard system and quality management system are an organic whole, must not be separated to deal. The standard system to the skin, then the quality management system is hair, the skin does not exist, hair will attach, establish an effective quality management system, can make the enterprise standardization system more perfect. If a virtuous cycle is formed, the two can improve each other.

2.2 Both the standard system and the quality management system emphasize the establishment and

implementation in combination with the actual situation of the organization. Even if international standards have been formulated for quality management systems, such as ISO9001:2008, the preparation work has repeatedly stated that "the purpose of formulating quality management system standards is not to standardize the quality management system". That is, we must combine the actual situation of the organization, and avoid being uniform.

2.3 The standard system and the quality management system both emphasize the continuous improvement and improvement. Because both the standard system and the quality management system belong to the superstructure. Once the superstructure does not contribute to the development of the economic foundation, the superstructure must be improved and improved. Make the new superstructure can play a dynamic role in the economic foundation.

2.4 Specific embodiment of the quality management system. Documents at all levels of the quality management system can appear in the form of standards, such as operation instructions and inspection specifications, and often appear in the form of process standards and inspection standards. The procedures and documents of the quality management system of many organizations also often appear in the form of management standards and working standards. These files are written and also often follow standard written rules such as GB/T1.1.GB/T1.2 etc.

2.5 Quality management system belongs to the enterprise standard system.

ISO is called short for the International Organization for Standardization (International Organization for Standardization), which is a global non-governmental organization and a very important organization in the field of international standardization.

The main function of the ISO is to provide a mechanism for people to meet international standards. Its main institutions and operational rules are stipulated in a document called ISO / IEC Guidelines for Technical Work. Its technical structure is 800 technical committees in ISO, each with one Chairman and a Secretariat, 30 member groups undertaking the work of the Secretariat, each in direct contact with the ISO Central Secretariat in Geneva.

Through these organizations, ISO has issued 9,200 international standards, such as ISO metric threads, ISO A4 paper size, ISO container series (95% of world shipping containers currently meet ISO standards), ISO film speed code, ISO Open System Interconnection (OS2) series (widely used in information technology), and the famous ISO9000 quality management series standards. The last sentence is "ISO9000 quality management series standards", which is enough to show that "the quality management system should belong to the enterprise standard system".

In a word, The quality management system and the standard system can coexist, complement and support each other. Standardization is a principle, no matter what system must be standardized, and the enterprise standard system is composed of a large management system, both technical standardization operation documents, and quality management system procedures, and measurement, personnel, finance and other kinds of system, is independent of each other, and related.

### Reference

1. Li Chuntian; Thoughts on Enterprise Standardization [J]; China Standardization, 2000, 02.
2. Wang Linhu, Jin Ling, Enterprise Management Standardization Analysis [J], Water Conservancy Technical Supervision, 2021, 06.
3. Sun Simiao, Wang Man, Standardization Research on Small and Medium Business Management [J], Consumer Guide, 2021, 09.
4. Jiang Jihong; Talking About Standard System and Quality Management System [J], 2010, 23.

*Н. К. Третьяков\**

магистрант

*В. П. Кузьменко\**

к.т.н., доцент

*О. Я. Солёная\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИХ НЕТЯГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Представлен анализ современных методов контроля выходных параметров импульсных источников напряжения и/или тока, распространяющихся на преобразователи локомотивов и моторвагонного подвижного состава электрической и автономной тяги, пассажирских вагонов локомотивной тяги. Рассмотрено влияние пульсаций выходного тока (англ. pk-pk) источников переменного напряжения на вторичные потребители электроэнергии.

**Ключевые слова:** преобразователь, методы контроля, напряжение, нагрузка, режимы работы, коэффициент гармоник, пульсации тока.

*N. K. Trytyakov\**

Student

*V. P. Kuzmenko\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

*O. Ya. Solyonai\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## DEVELOPMENT OF METHODS FOR CONTROL OF OUTPUT PARAMETERS OF STATIC NON-TRACTION CONVERTERS FOR RAILWAY ROLLING STOCK

An analysis of modern methods for monitoring the output parameters of pulsed voltage and/or current sources is presented, which applies to converters of locomotives and multi-unit rolling stock with electric and autonomous traction, and locomotive-hauled passenger cars. The influence of output current ripples (pk-pk) of alternating voltage sources on secondary consumers of electricity is considered.

**Keywords:** converter, control methods, voltage, load, operating modes, harmonic distortion, current ripple.

В настоящее время качество электроэнергии – ключевой аспект в проектировании энергоэффективных систем, что подчеркивает необходимость разработки новых методов контроля импульсных преобразователей. Современное оборудование, используемое в поездах дальнего и пригородного сообщения, должно соответствовать строгим техническим нормативам, включая ТР ТС 001/2011 и ГОСТ 33726-2016, определяющие общие технические требования и методы контроля статических нетяговых преобразователей [1-2].

Согласно ГОСТ 33726-2016, измеряемые показатели выходных каналов источников переменного тока включают напряжение, частоту и коэффициент гармоник напряжения, при этом требования к выходному току импульсных преобразователей отсутствуют. Исследования в среде Matlab Simulink показали, что пульсации выходного тока, вызванные рабочей частотой преобразователя и характеристиками компонентов LC-фильтра, влияют на ток пульсаций емкости ЗПТ подключаемой нагрузки с неуправляемым выпрямителем. Это приводит к увеличению нагрузки на компоненты вторичных источников питания.

Таким образом, для улучшения качества электроэнергии и эффективности систем необходимо не только усовершенствовать существующие технические регламенты и методы контроля, но и разработать новые подходы в области контроля выходного тока и качества сети, о чем свидетельствуют полученные результаты моделирования.

### Библиографический список

1. ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск: Госстандарт; БелГИСС, 2022;
2. ГОСТ 33726—2016. Преобразователи статические нетяговые для железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 7 с.

*А. Ю. Туманов\**

К. т. н., доцент, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ РИСКА ПРОЕКТОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе приведен метод синтеза ансамбля нейронных сетей и средство классификации факторов риска в системах обеспечения устойчивости (СОУ) функционирования объектов в условиях ЧС с использованием многослойных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** качество, обеспечение устойчивости, многослойные нейронные сети, разбиение на классы, последовательность, нейрон, метод.

*A. Yu. Tumanov\**

as. prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## CLASSIFICATION OF RISK FACTORS FOR PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABILITY SYSTEMS USING NEURAL NETWORKS

The paper presents a means of classifying risk factors in systems for ensuring the stability of the functioning of objects in emergencies using multilayer neural networks.

**Keywords:** quality, sustainability, multilayer neural networks, class division, sequence, neuron, method

Актуальность данного исследования заключается в необходимости и целесообразности улучшения качества классификации факторов риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости с применением нейронных сетей.

Целью данной работы является улучшения качества оценки классификации факторов риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости с применением нейронных сетей путем синтеза ансамбля нейронных сетей.

Основная гипотеза исследования заключается в следующем: точность результатов классификации, полученных с применением ансамблей НС более высока по сравнению с одиночными НС, поэтому основными задачами, которые поставлены для выполнения в данном исследовании, являются:

- анализ существующих методов классификации факторов риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости функционирования объектов;
- выявить недостатки существующих методик и средств классификации факторов риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости функционирования объектов;
- внести предложения по разработке усовершенствованных методик и средств классификации факторов риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости с применением нейронных сетей путем синтеза ансамбля нейронных сетей.

Методы.

«В настоящее время разработано большое количество различных видов классификаторов, для построения которых используются как статистические методы (логистическая регрессия, дискриминантный анализ), так и методы машинного обучения (нейронные сети, деревья решений, метод k-ближайших соседей, машины опорных векторов и др.).

Необходимость использования в анализе данных большого числа разнообразных методов классификации, обусловлена тем, что решаемые с её помощью задачи могут иметь свои особенности, связанные, например, с числом классов (бинарная классификация или с несколькими классами) или с представлением исходных данных – их объемом, размерностью и качеством, что требует выбора адекватного классификатора. Поэтому выбор классификатора, соответствующего особенностям решаемой задачи анализа, является важным фактором получения правильного решения» [1].

Кроме того, одним из путей решения данной проблемы может быть построение НС и последовательностей (ансамблей) НС, объединяя нейросетевые алгоритмы по специальным правилам. В работах [2-4] изложены преимущества и недостатки НС-ансамблей и как можно достичь эффективности при их синтезе. Выбор той или иной модели классификации также можно обосновать достижением определённого качества классификации.

Точность является одной из основных метрик качества. Метрики качества классификации используются для оценки эффективности алгоритмов классификации. Они позволяют измерить, насколько точно тот или иной алгоритм классифицирует объекты и насколько хорошо он разделяет классы.

В работе предлагается рассмотреть объединение НС (прямого распространения, Элмана, Джордана) для определения метрик качества определения факторов риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости потенциально опасных и критически важных объектов.

Обычно строится матрица ошибок в виде таблицы верно и неверно классифицированных объектов.

Точность. Обозначим точность –  $A$

Математическая модель оценки точности классификации может быть представлена в следующем символическом виде:

$$A = (T_p + T_n) / (T_p + F_p + F_n + T_n),$$

где  $T_p$  – верно классифицированные объекты как положительные;  $T_n$  – верно классифицированные как отрицательные;  $F_p$  – неверно классифицированные как положительные;  $F_n$  – неверно классифицированные объекты как отрицательные.

В работе построены несколько типов ансамблей с последовательным и параллельным расположением НС. В качестве исследуемой НС рассмотрены многослойные нейронные сети прямого распространения, представленные Структура двухслойной НС оценки риска проекта автоматизированной информационной СОУ функционирования производственного объекта представлена на рис. 1.

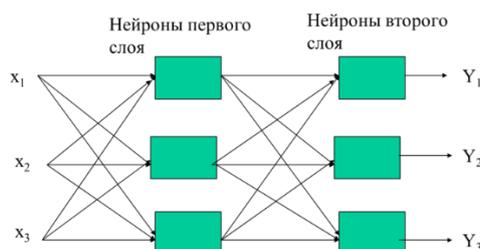


Рис. 1. Структура двухслойной НС оценки риска проекта СОУ функционирования производственного объекта

Ансамбль НС может быть представлен в виде последовательного или параллельного объединения в структуру множества НС, выходы которых соединены со входами последующих по определенным правилам.

Основные результаты, полученные автором.

Построена группировка НС в виде последовательностей НС (НС-ансамблей) источников ЧС, причин неблагоприятных событий, поражающих факторов в системах обеспечения устойчивости функционирования объектов в условиях ЧС. Разработан метод к построению НС-ансамбля, обеспечивающий классификацию и приемлемую точность.

#### Библиографический список

1. Классификация данных при помощи нейронных сетей. <https://loginom.ru/blog/neural-classification>.
2. Bishop C. M. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford: Oxford University Press; 1995. 496 p.
3. Zhou Z.-H. Ensemble Methods: Foundations and algorithms. Chapman & Hall/Crc Machine Learning & Pattern Recognition; 2012. 236 p.
4. Kuncheva L.I. Combining Pattern Classifiers: Methods and algorithms. Hoboken: John Wiley & Sons; 2004.
5. Староверов, Б. А. Алгоритм формирования ансамбля нейронных сетей для информационной системы прогнозирования электропотребления / Б. А. Староверов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2019. – № 1(47). – С. 2. – EDN ZFUZSH.

А. Ю. Туманов\*

К. т. н., доцент, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В работе приведена модель риска при прогнозировании последствий техногенной ЧС с применением приборной системы безопасности для промышленных процессов в системах обеспечения устойчивости функционирования объектов в условиях ЧС с использованием многослойных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** модель, риск, прогнозирование, приборная система безопасности.

А. Yu. Tumanov\*

as. prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## RISK MODELING IN PREDICTING THE CONSEQUENCES OF A MAN-MADE EMERGENCY SITUATION USING AN INSTRUMENT SAFETY SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESSES

The paper presents a risk model for predicting the consequences of a man-made emergency using an instrument safety system for industrial processes in systems to ensure the stability of the functioning of objects in emergency conditions using multilayer neural networks.

**Keywords:** model, risk, forecasting, instrument safety system

**Введение.** Актуальность данного исследования заключается в необходимости и целесообразности улучшения качества модели риска при прогнозировании последствий техногенной ЧС с применением приборной системы безопасности для промышленных процессов в системах обеспечения устойчивости функционирования объектов в условиях ЧС с использованием многослойных нейронных сетей.

Целью данной работы является улучшение качества прогнозирования последствий техногенной ЧС с применением приборной системы безопасности для промышленных процессов в системах обеспечения устойчивости функционирования объектов в условиях ЧС с использованием многослойных нейронных сетей.

Основными задачами, которые необходимо решить для достижения этой цели, являются:

анализ существующих детерминированных и вероятностных моделей риска и средств оценки риска при прогнозировании последствий техногенной ЧС с применением приборной системы безопасности для промышленных процессов в системах обеспечения устойчивости функционирования объектов в условиях ЧС;

разработать нейросетевую модель риска при прогнозировании последствий техногенной ЧС с применением приборной системы безопасности для промышленных процессов в системах обеспечения устойчивости функционирования объектов в условиях ЧС.

**Методы.**

1.1. Исходная модель. В МЭК 61511 математическая модель риска может быть представлена в виде [1,2]:

$$R_0 = (f) \text{ для заданного } C,$$

где  $R$  – риск при отсутствии системы, связанной с безопасностью;  $f$  – частота опасного события без применения системы, связанной с безопасностью;  $C$  – последствие опасного события (последствия должны быть связаны с ущербом, связанным со здоровьем и безопасностью или с ущербом от вреда окружающей среде).

Откорректированная математическая модель риска в методе калиброванного графа с корректировкой на разработку и применение ПСБ на объекте может быть представлена в виде:

$$R_{ПСБ} = (C_i \cdot F_j \cdot P_k \cdot W_n), \quad (1)$$

где  $R_{ПСБ}$  – риск при наличии системы, связанной с безопасностью;  $W_n$  – частота опасного события без применения системы, связанной с безопасностью;  $C_i$  – последствие опасного события (последствия должны быть связаны с ущербом, связанным со здоровьем и безопасностью или с ущербом от вреда окружающей среде);  $P_k$  – вероятность избежать опасного события;  $F_j$  – нахождение в опасной зоне.

1.2. Поражающие факторы ЧС

Рассмотрим чрезвычайную ситуацию техногенного характера при воздействии поражающих факторов источников ЧС (техногенный взрыв, пожар, ионизирующее излучение, осколочное поражение) в различных точках приборостроительного цеха.

1.3. Идентификация/выявление опасности

Необходимо выявить опасное событие, риск которого должен быть снижен реализацией функции безопасности. Для этого рассмотрим ряд опасных событий при воздействии одного ПФ на исследуемый объект и функций безопасности ПСБ представленных в таблице 1.

Таблица 1

Список опасных событий, поражающих факторов и ФБ ПСБ

№ п/п	Описание опасного события	Поражающий фактор	Функция безопасности ПСБ
1	Разрушение зданий и сооружения (цех приборостроительный)	Воздушная ударная волна (ВУВ)	Прогнозирование, измерение и контроль избыточного давления фронте ВУВ в фазе сжатия
2	Разрушение оборудование (цех приборостроительный)	Воздушная ударная волна (ВУВ)	Прогнозирование, измерение и контроль избыточного давления во фронте ВУВ в фазе сжатия

#### 1.4 Основные параметры оценки риска

Определим основные параметры оценки риска [3]:

1. Последствия неблагоприятного события в виде ущерба для имущества.
2. Вероятность того, что ущерб будет получен.

Определение параметра, связанного с тяжестью последствий С.

За основу тяжести последствий, возьмем степени разрушения зданий и сооружений при воздействии ПФ на технические объекты.

Это слабые, средние, сильные и полные разрушения. Перенесем их в таблицу для задания их лингвистического представления и процента разрушения здания соответствующей каждой степени.

#### 1.5 Детерминированная модель

Полукваликативная статическая модель построена на комбинации графа-риска и оценки критериев рисков, связанных с поражающими факторами. Используя предложенную математическую модель (см. формулу 1), на основе четырёх численных показателей производится расчёт сводного параметра критерия риска  $R_{ПСБ}$ . Для наглядности преобразуем модель табличную форму. В таблице 2 приведен пример расчётов риска разрушения зданий и сооружения (цех приборостроительный) по локальному критерию  $R_{ПСБ}$  применением предлагаемой модели.

Модель является универсальной и может быть адаптирована для всех опасных событий техногенной ЧС из таблицы 1.

Таблица 2

Оценка риска разрушения зданий и сооружения (цех приборостроительный) по локальному критерию  $R_{ПСБ}$

№	Параметры рисков	Номера сценариев риска $X (j = 1 \dots 6)$					
		1	2	3	4	5	6
1	Вероятность нахождения в опасной зоне (F)	0,8	0,8	0,9	0,9	0,6	0,5
2	Вероятность предотвращения опасного события (P), 1-P	0,2	0,8	0,3	0,8	0,8	0,7
3	Вероятность (частота) опасного события, если не реализована функция безопасности ПСБ (W)	0,1	1	0,8	0,7	0,8	0,5
4	Тяжесть поражения	0,1	0,5	0,7	0,5	0,9	0,1
5	Вероятность разрушения зданий и сооружения (цех приборостроительный) с учетом тяжести поражения $R_j$	0.0016	0.320	0,151	0,252	0,345	0.017
6	Пороговое значение ( $\leq R_n$ ), $R_j$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
7	Сумма по строке 5	1.0866	1.0866	1.0866	1.0866	1.0866	1.0866
8	$R_{ПСБ} = R_j / \sum_{j=1} R_j$	0,001	0,29	0,138	0,231	0,317	0,015

В строке 5 – показатель — вероятность разрушения зданий и сооружения (цех приборостроительный) с учетом тяжести поражения  $R_j$ , являющееся произведением четырех параметров модели согласно (1). В строке 6 представлены  $R_j$ , полученные показатель  $R_j$ , величины которых меньше либо равен пороговым  $R_n$ . В строке 7 представлены итоговые результаты расчёта показателя  $R_{ПСБ}$ .

Полученные в результате расчёта варианты риска по разным сценариям, могут быть выставлены в приоритетный ряд по критерию оценки риска, слева наибольший (наихудший вариант) и служат исходными данными для следующего этапа исследования.

## 2. Нейронные сети

Рассмотрим многослойную нейронную сеть (НС) прямого распространения.

Данные таблицы 3 переведем в нейросетевой вид и представим в виде совокупности нейронов. Расположим нейроны в виде слоев. Каждому нейрону входного слоя будет соответствовать фактор риска.

Выходному нейрону соответствует показатель «Вероятность разрушения зданий и сооружений (цех приборостроительный) с учетом тяжести поражения». На рис 1. Представлен граф НС «Многослойная сеть прямого распространения».

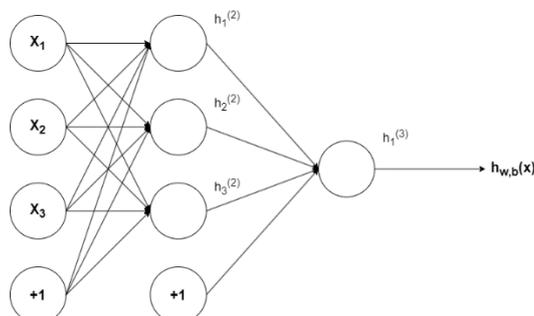


Рис. 1. Многослойная сеть прямого распространения

**Заключение.** В ходе выполнения исследования: выявлены опасные события при воздействии одного ПФ и функции безопасности ПСБ при воздействии ПФ источников ЧС на производственные объекты (цех приборостроительный и оборудование), которые могут вызвать неблагоприятные последствия в виде разной степени разрушения зданий и сооружений и оборудования.

Разработана на основе многослойных НС нейросетевая модель риска и прогнозирования последствий разрушения производственного объекта с применением приборных систем безопасности для повышения устойчивости функционирования в условиях ЧС.

Как средство автоматизации и универсальный аппроксиматор, построенная НС существенно сокращает трудоемкость рутинных операций по определению вероятности разрушения зданий и сооружений (цех приборостроительный) с учетом тяжести поражения.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5.
2. ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3.
3. Махутов Н. А. Проблемы снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 2001. №3. с. 29–41.

А. Ю. Туманов\*

К. т. н., доцент, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКА ПРОЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАЛИБРОВАННЫХ ГРАФОВ

Целью представленной работы является разработка методики синтеза калиброванного графа риска разрушения производственного объекта с применением приборных систем безопасности для проектов по разработке систем обеспечения устойчивости (СОУ) функционирования объектов в условиях ЧС.

**Ключевые слова:** оценка риска, управление рисками, приборная система безопасности, устойчивость функционирования

А. Yu. Tumanov\*

as. prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## DEVELOPMENT OF A PROJECT RISK ASSESSMENT METHOD USING CALIBRATED GRAPHS

The purpose of the presented work is to develop a method for analyzing the risk of projects for the development of systems for ensuring the stability (SOE) of the functioning of objects in emergency situations using calibrated graphs.

**Keywords:** risk assessment, risk management, instrument safety system, stability of operation

Актуальность данного исследования заключается в необходимости и целесообразности улучшения качества оценки риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости с применением калиброванных графов.

Целью данной работы является улучшения качества оценки риска проектов разработки систем обеспечения устойчивости с применением калиброванных графов.

Основными задачами, которые необходимо решить для достижения этой цели, являются:

- синтез графа риска разрушения производственного техногенного объекта без и с применением приборных систем безопасности;
- разработка ПСБ объекта
- оценка риска проектирования СОУ с применением приборных систем безопасности.

Методы.

Для управления процессами обычно создается основная система управления процессом (ОСУП) (basicprocesscontrolsystem; BPCS). Это система, которая реагирует на входные сигналы, поступающие от процесса, от его соответствующего оборудования, от программируемых систем и/или от оператора и вырабатывает выходные сигналы, заставляющие процесс и его соответствующее оборудование действовать желательным образом, но которая не выполняет никаких ФБ ПСБ. Для нашего случая обеспечения устойчивости, ОСУП в терминологии [1,2] это система управления процессом обеспечения устойчивости (СОУ). На рис.1 представлена общая концепция снижения риска с применением ПСБ.



Рис. 1 Общая концепция снижения риска с применением ПСБ

Система управления включает в себя датчики и исполнительные устройства и может быть либо ОСУП, либо ПСБ, либо их комбинацией. На рис.2 представлен пример архитектуры ПСБ.

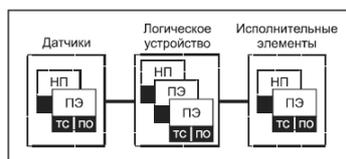


Рис. 2. Пример архитектуры ПСБ

Рассмотрим процесс, включающий здание приборостроительного цеха, в котором установлено необходимое оборудование. Управление процессом осуществляется основной системой управления процессом (ОСУП) в терминах МЭК 61511, которая контролирует устойчивость функционирования объекта.

Приведем краткое описание методики синтеза калиброванного графа риска разрушения производственного объекта с применением приборных систем безопасности

Ниже приведен перечень основных операций, выполняемых для построения граф-модели риска:

- параметризация элементов графа риска;
- структуризация графа риска;
- описание параметров графа риска;
- присвоить параметрам графа риска определенные значения;
- определение вероятностей (частот) неблагоприятных событий;
- калибровка первоначального графа риска,
- откорректировать граф риска с учетом калибровки
- удалить сценарии риска вероятность которых ниже пороговых.

Приведем краткое описание графа риска.

Риск определяется как комбинация вероятности возникновения вреда и серьезности этого вреда [1].

Параметризация. Обычно применительно к технологическому процессу риск является функцией следующих четырех параметров:

- последствия опасной ситуации (C);
- нахождение в опасной зоне (вероятность того, что в подверженной опасности области находятся люди) (F);
- вероятность того, что опасности можно избежать (P);
- интенсивность запросов (число случаев за год, когда опасная ситуация возникает в отсутствие рассматриваемой функции безопасности ПСБ) (W)

Необходимо сформировать данные для построения графа риска в таблицах и откалибровать их.



Рис. 3. Схема оценки риска по основным параметрам граф-модели риска

Основные результаты, полученные автором.

В ходе выполнения исследования:

- выявлены опасные события при воздействии одного ПФ и функции безопасности ПСБ при воздействии ПФ источников ЧС на производственные объекты (цех приборостроительный и оборудование), которые могут вызывать неблагоприятные последствия в виде разной степени разрушения зданий и сооружений и оборудования.
- построен граф риска разрушения производственного объекта при воздействии одного ПФ с применением приборных систем безопасности для повышения устойчивости функционирования в условиях ЧС.
- разработан полукочественный метод оценки риска разрушения производственного объекта с применением приборных систем безопасности для повышения устойчивости функционирования в условиях ЧС.

### Библиографический список

1. Махутов Н.А. Проблемы снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 2001. №3. с. 29-41.
2. Коршунов, Геннадий Иванович. Инновационный метод оптимизация структуры и реализация отказоустойчивой системы управления защитными устройствами особо важных объектов / Г. И. Коршунов, В. А. Мельников, А. В. Наумов : схемы, табл. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 3 (121). С. 224-230.
3. ГОСТ Р МЭК 61508-5—2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5.
4. ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3.

*Felicien Hakizamungu\**

\*Rwanda Standards Board (RSB), République du Rwanda  
Standards training and technical assistance officer

## EFFECT OF STANDARDS IMPLEMENTATION ON FINANCIAL PERFORMANCE OF MANUFACTURING INDUSTRIES IN RWANDA

Standards implementation has been used by manufacturing industries worldwide and in Rwanda in particular to improve quality, efficiency and ultimately organizational performance. However, in Rwanda, customers are still complaining that the quality of manufactured products is sometimes compromised. This may be due to the fact that most of manufacturing firms do not realize the role of standards implementation in manufacturing and delivering consistently quality and competitive products and services meeting customer needs and expectations as well as regulatory and statutory requirements. **Keywords:** standardization in Rwanda, economic benefits, quality, standardization in economics and logistics, value engineering, management.

Nowadays, companies struggle to survive in a global competition. Every company tries to find the best philosophy which is suitable with their strategy to gain any and every advantage among their rivals. Companies should be more focused on understanding their own structure in terms of processes whether they are in the production or service sector. In this situation, Theory of Constraints (TOC) becomes an important theory which focuses on the weakest ring(s) in the chain. TOC views processes as they are rings of the same chain instead of thinking they are independent from each other. At the same time, theory focuses on the weakest points which are bottlenecks for the entire company and try to determine the relationship of these bottlenecks.

Therefore, this integrated management philosophy changes the way of thinking of managers and become an important tool for solving root problems.

Originally TOC is used to plan the production process and allocate resources but its content is improved day by day as the technology evolves and competition between rival companies increases in business world. Nowadays it can be used as a kind of management philosophy and can be integrated with cost accounting system. It is not of importance which sector your company belongs because TOC is actually based on system improvement. Since 30 years, TOC is successfully implemented by almost every sector and with almost every size of companies.

TOC is based on the idea that every system has at least one bottleneck which can be defined as any kind of situation that impedes the system to reach high performance level in terms of its purposes (Goldratt, 1990).

The Theory of Constraints is a methodology for identifying the most important limiting factor (i.e. constraint) that stands in the way of achieving a goal and then systematically improving that constraint until it is no longer the limiting factor. In manufacturing, the constraint is often referred to as a bottleneck. It takes a scientific approach to improvement. It hypothesizes that every complex system, including manufacturing processes, consists of multiple linked activities, one of which acts as a constraint upon the entire system (i.e. the constraint activity is the “weakest link in the chain”).

The TOC provides a powerful set of tools for helping manufacturing companies to make profits in short term and long term. Those tools include the Five Focusing Steps (a methodology for identifying and eliminating constraints); The Thinking Processes (tools for analyzing and resolving problems) and Throughput Accounting (a method for measuring performance and guiding management decisions).

A successful Theory of Constraints implementation has the following benefits:

- Increased profit (the primary goal of TOC for most companies);
- Fast improvement (a result of focusing all attention on one critical area – the system constraint);
- Improved capacity (optimizing the constraint enables more product to be manufactured);
- Reduced lead times (optimizing the constraint results in smoother and faster product flow) and
- Reduced inventory (eliminating bottlenecks means there will be less work-in-process).

In this study, the TOC is well applicable as it is based on system improvement that leads to high performance and continual improvement is one of the pillars of Quality management system standards.

The following section reviews literature and research studies associated with the effect of implementation of standards on financial performance. Various research studies have been done over the past few decades to study the factors that influence standards implementation to ensure quality improvement, operational and business performance of organizations. This section summarizes the same.

Economists have been searching about the sources of economic growth since the end of 18th century. For Adam Smith, the division of labor and the accumulation of capital were the causes of the increasing wealth of nations. The Australian- American Economist Joseph Also Schumpeter further established that innovation within products and processes are prerequisites for economic growth.

During the 1950s, the American Robert M. Solow developed the first mathematical model of economic growth described by three determinants, namely an increase in capital (e.g. machinery and infrastructure), increase in labor and technical progress. The model has shown that research and development stimulate economic growth through creation of new products and production methods among others. However, it has also been shown that, to ensure continual economic

growth, it is not sufficient to create new knowledge; this knowledge must be broadly disseminated so that many companies access it and make use of it. Standards are particularly suitable for disseminating up to date technical knowledge as they are publicly available unlike patents and they are a source of up to date technical information.

As evidenced by macroeconomic studies on impacts of standards to national economic growth carried out in Germany, France; Australia, UK and Canada, standards make a strong contribution to national economic growth. The Table 1 below gives a summary of key national studies and the contribution of standards to GDP growth.

Table 1

**Contribution of standards on countries' economies**

Country	Publisher	Timeframe	Growth rate of GDP	Contribution of standards
Germany	DIN ( 2000)	1960-1996	3.3%	0.9%
France	AFNOR (2005)	1950-2007	3.4%	0.8%
United Kingdom	DTI ( 2005)	1948-2002	2.5%	0.3%
Canada	Standards council of Canada ( 2007)	1981-2004	2.7%	0.2%
Australia	Standards Australia (2006)	1962-2003	3.6%	0.8%

As indicated in the above table, the contribution of standards to the growth rate in each country is equivalent to 0.9% in Germany, 0.8 % in France and Australia, 0.3 % in UK and 0.2% in Canada. New empirical studies have confirmed that standards implementation has a positive impact on economic growth. The larger the standards collection, the greater the impact will be.

The DIN (2011) study which updated DIN (2000) above estimated the value of labour, capital, standards, patents and licences to outputs as measured by Gross Value Added (GVA). The findings indicated that standards have a significant association with economic output. It was shown that 1% change in stock of standards is positively associated with 0.7% to 0.8% change in economic growth following German reunification.

AFNOR (2009) investigated the impact of standards on economic growth as measured by Total Factor Productivity (TFP). The results indicate that on average since 1950, 1% change in stock of standards is positively associated with 0.12 % in total factor productivity.

New Zealand (2011) study confirmed the above findings and the results show that 1% change in stock of standards is associated with a 0.10 % increase in Total Factor Productivity (TFP) and therefore a 0.054 % increase in labour productivity.

In terms of GDP growth, the economic benefits of standardization represent about 1 % of GDP in Germany and it has been determined that standards made a greater contribution to economic growth than patents or licenses. In France, the contribution of standards to national economic growth show that Standardization directly contributes to growth in the French economy, for up to 0.81 %, or almost 25 % of GDP growth while in Canada, growth in the number of standards accounted for 17 % of the labour productivity growth rate and about 9 % of the growth rate in economic output (real GDP) over the 1981 to 2004 period.

In UK, over the period from 1921 to 2013, standards appear to have contributed towards to 37.4% of annual labour productivity growth in the UK economy which translates into approximately 28.4% of annual GDP growth. In 2013, that would translate to an extra £8.2 billion of GDP emanating from the proper use of standards (BSI, 2015).

At East African Community level, a recent study commissioned by East African Business Council on impact assessment of harmonized East African Standards for 10 most traded products on the business Community established that harmonized standards make both qualitative and quantitative contributions on the business (EABC, 2016).

The findings of the study indicated that the use of EAC harmonized standards improved competitiveness and market access of products manufactured as per the EAC standards. It revealed an increment in intra EAC trade values from US \$ 291.2 million in 2010 to US \$ 340.4 million in 2014 which corresponds to an increment of 17%. In addition, the selected products contributed to the increment in extra-EAC trade values from US\$ 851.6 million in 2010 to US\$ 950.8 million in 2014 which corresponds to an increment of 12%. The total export value (intra and extra EAC trade) of the sampled products increased to US\$ 1,291 million in 2014 from US\$ 1,142 million in 2010 which was 13% increment

It was also established that time taken for clearing certified products bearing recognized marks of National Standards Bodies of Partner States reduced from 10 days before standards were harmonized to between 2 to 4 hours after standards harmonization and this corresponds to 99% time reduction. In addition the cost for inspecting the goods also reduced to almost zero compared to an average of US\$ 500 per consignment before standards were harmonized.

## References

1. Adams M. (1999). Determinants of ISO accreditation in the New Zealand manufacturing sector, *Omega*, International Journal of Management Science, Vol. 27, pp. 285–292.
2. Ahire, S., Golhar, D., & Waller, M. (1996). Development and Validation of TQM Implementation Constructs. *Decision Sciences*, 27(1), 23–56.
3. Anderson, J.C., Rungtusanatham, M., & Schroeder, R.G. (1994). *A Theory of Quality Management Underlying the Deming Management Method*. *Academy Of Management Review*, 19(3), 472–509.

*Felicien Hakizamungu\**

\*Rwanda Standards Board (RSB), République du Rwanda  
Standards training and technical assistance officer

## THE IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF STANDARDS ON FINANCIAL PERFORMANCE OF THE COMPANY «RULIBA CLAYS LTD»

The objective was to determine the relationship between standards implementation and financial performance of Ruliba Clays (This company produced building materials). The only way of coming up to the conclusion is to evaluate the contribution of each dimension of standards implementation on the financial performance of Ruliba Clays.

**Keywords:** Ruliba clays, standardizations in company, effects before and after standardization.

The main objective was to determine the relationship between standards implementation and financial performance of Ruliba Clays. The only way of coming up to the conclusion is to evaluate the contribution of each dimension of standards implementation on the financial performance of Ruliba Clays. To determine the relationship between the management commitment and financial performance of Ruliba Clays, the coefficient of single independent variable, its standardized coefficient was calculated using SPSS 16.0 and their linear relationship was drawn basing on the general equation of linear function which  $y = a + bx$ . The results are shown in the Table 1.

*Table 1*

**Relationship between Management commitment and financial performance**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.012	.733		9.571	.000
	MC	.319	.057	.457	5.651	.000

Source; Survey data, 2017

Results in Table 1 indicate the model relating to the management commitment and financial performance [1-4]. Following the linear regression analysis of management commitment and financial performance, the fitted model was determined as:  $FP = 7.012 + 0.319MC + e$

To determine the relationship between the customer focus and financial performance of Ruliba Clays, the coefficient of single independent variable, its standardized coefficient was calculated using SPSS 16.0 and their linear relationship was drawn basing on the general equation of linear function which  $y = a + bx$ . The results are shown in the Table 2.

*Table 2*

**H02: Customer focus has no effect on financial performance**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients
		B	Std. Error	Beta
1	(Constant)	6.653	.714	
	CF	.383	.060	.502

Source: survey data, 2017

Results in Table 2 indicate the model relating to customer focus and Firm's Performance. The model had an  $R^2 = 0.246$ , which means that the model provides a moderate fit. Following the linear regression analysis of customer focus and firm's performance, the fitted model was determined as:  $FP = 6.653 + 0.383CF + e$ .

To determine the relationship between the process management and financial performance of Ruliba Clays, the coefficient of single independent variable its standardized coefficient was calculated using SPSS 16.0 and their linear relationship was drawn basing on the general equation of linear function which  $y = a + bx$ . The results are shown in the Table 3.

Results in Table 26 indicate the model relating to Process management and Firm's Performance. The model had an  $R^2 = 0.411$ , which means the model provides a moderate fit. Following the linear regression analysis of Process management and firm's performance, the fitted model was determined as:  $FP = 3.214 + 0.637PM + e$ .

To determine the relationship between the engagement of people and financial performance of Ruliba Clays, the coefficient of single independent variable its standardized coefficient was calculated using SPSS 16.0 and their linear relationship was drawn basing on the general equation of linear function which  $y = a + bx$ . The results are shown in the Table 4.

**Relationship between process management and financial performance**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.214	.856		3.757	.000
	PM	.637	.069	.645	9.277	.000

Source: survey data, 2017

Table 4

**H04 testing” Engagement of people has no effect financial performance “**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.213	.834		1.455	.148
	EP	.758	.063	.736	11.943	.000

Source: survey data, 2017

Results in Table 4 indicate the model relating to the engagement of people and Firm's Performance. The model had an  $R^2 = 0.537$ , which means that the model provides a moderate fit. Following the linear regression analysis of engagement of people and firm's performance, the fitted model was determined as:  $FP = 1.213 + 0.758EP + e$ .

The equation shows that the engagement of people had a coefficient ( $\beta_0$ ) of 0.758. This means that a unit change in the engagement of people would result in a 75.8% change in Firm's financial performance. The t-statistic and corresponding p-value were t-value, = 11.943 and p value= 0.001 respectively. Therefore, at 5 percent level of significance, the null hypothesis was rejected, implying that the engagement of people has a positive significance relationship on financial performance of Ruliba Clays.

The equation shows that the process management had a coefficient ( $\beta_0$ ) of 0.637. This means that a unit change in process management would result in a 63.7% change in Firm's financial performance. The t-statistic and corresponding p-value were t-value, = 9.277 and p value= 0.001 respectively. Therefore, at 5 percent level of significance, the null hypothesis was rejected, implying that process management had a positive significance relationship on financial performance of Ruliba Clays.

With regard to the first objective on assessing the factors and reasons that motivated Ruliba to adopt the use of standards in daily practices; 87.2% of respondents strongly agreed that in Ruliba Clays, Standards are implemented as a catalyst for change while 90.6% of respondents strongly agreed that Ruliba Clays, uses Standards in daily practices, processes and activities and standards have contributed in changing the organizational quality culture. Asked on key economic reasons for integrating standards in the company processes; 86.8% of respondents strongly agreed that standards are implemented mainly to gain advantage in international markets through promoting quality of their products, increasing capability to export and entry in new markets; anticipating customer needs and expectations, facilitating innovations and new product development, increasing efficiency and improving customer and supplier relationships management.

### References

1. Black S. A., Porter L. J. (1996). Identification of the Critical Factors of TQM, *Decision Sciences*, Vol. 27, No. 1, pp. 1–21.
2. Buttle F. (1997). ISO 9000: marketing motivations and benefits, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 9, pp. 936–947.
3. Brown, A., Van D. W. T. & Loughton, K. (2004). 'Smaller enterprises' experiences with ISO 9000' *International Journal of Quality R and reliability Management*. Vol.15 No.3, pp. 273-85.
4. Casadess M., Giménez G. (2000), The benefits of the implementation of the ISO 9000 standard: empirical research in 288 Spanish companies, *The TQM Magazine*, Vol. 12, No. 6, pp. 432–441.
5. Chow-Chua, C., Goh, M. & Wan, B. W. (2003). Does ISO 9000 certification improve business performance? *International Journal of Quality and Reliability management*, Vol. 28 No. 8, pp. 936–953.

*Е. А. Харитонова\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ КАК НЕОБХОДИМАЯ СИСТЕМА В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ

Рассмотрены преимущества и недостатки электронного документооборота, описаны причины его повсеместного внедрения и описана его роль в управлении качеством в приборостроении и машиностроении.

**Ключевые слова:** документация, цифровизация, управление качеством, электронный документооборот

*Е. А. Kharitonova\**

student

*S. A. Nazarevich\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT AS A NECESSARY SYSTEM IN A POST-INDUSTRIAL SOCIETY

The advantages and disadvantages of electronic document management are considered, the reasons for its widespread implementation are described, and its role in quality management in an enterprise is described.

**Keywords:** documentation, digitalization, quality management, electronic document management

Главной ценностью современного постиндустриального общества является информация, а производительность труда напрямую зависит от скорости её передачи и обработки. В наше время необходимо оптимизировать и автоматизировать передачу, рассмотрение, согласование и подписание документов, так как множество действий на предприятиях требует строгой стандартизации и документированных подтверждений, и обоснований. Именно поэтому в последние несколько лет перед компаниями встала острая необходимость внедрять систему электронного документооборота (далее – СЭД), ведь только идя в ногу со временем и пользуясь средствами цифровизации можно сохранить конкурентоспособность компании и удержать позиции на мировом и отечественном рынке.

В 2020 году произошел заметный рост объемов рынка систем электронного документооборота в России в связи с повсеместным переходом на удаленный режим работы. По сравнению с 2019 годом объем выручки вырос на 11,5%. В дальнейшем темпы роста замедлились, и на данный момент ежегодное увеличение объемов рынка составляет около 10%, что видно из графика на рисунке 10 [1].



Рис. 1. Объем рынка СЭД

По данным опроса на 2021 год только 26,8% компаний не использовало электронный документооборот (далее – ЭДО), а 63% компаний в той или иной мере уже внедрили в свою работу электронный документооборот, что становится видно при рассмотрении рисунка 2 [2].



Рис. 2. Проникновение ЭДО в российский бизнес

Внедрение ЭДО оказывает значительное влияние на управление качеством производственных процессов и бизнес-процессов. Например, при использовании специального модуля, основанного на цикле PDCA, предприятие получает такие преимущества как:

- оптимизация деятельности ключевых аспектов системы менеджмента качества (далее – СМК), а также упрощение внедрения и функционирования СМК;
- вовлечение всех сотрудников организации в управление СМК;
- обеспечение удобства работы с документами для менеджеров по качеству, отделов системы качества, представителей со стороны руководства;
- обеспечение планирования, анализа и сбора данных, а также принятия решений на основе полученной информации [3].

Помимо этого, на всех уровнях компании ЭДО также обеспечивает:

- улучшение процесса утверждения документации благодаря её централизованному хранению;
- быстрое получение необходимых материалов, удобство внесения изменений и контроль за распространением документов;
- усиление контроля за выполнением обязанностей благодаря прозрачности работы сотрудников с файлами;
- экономия средств, затрачиваемых на обработку бумаг и организацию архива;
- предотвращение дублирования данных.

Тем не менее, СЭДО имеет некоторые недостатки, такие как:

- дороговизна внедрения и поддержания системы в работоспособном состоянии;
- сложность внедрения СЭДО, из-за которой процесс может быть не доведён до конца, что создаёт сотрудникам неудобства при работе;
- необходимость внедрения СЭДО у контрагентов, либо необходимость ведения и электронной и бумажной документации при работе с компаниями, не имеющими электронного документооборота
- необходимость временных и финансовых затрат на обучение сотрудников работе в новой системе
- возможные проблемы сохранности документации при сбоях в работе техники или проникновении вируса, необходимость резервного копирования.

Несмотря на ряд сложностей, которые могут возникнуть при внедрении систем электронного документооборота, количество компаний, использующих ЭДО, неуклонно растет, что говорит об эффективности СЭДО. Об этом также говорит стремление государства законодательно упростить внедрение и использование систем электронного документооборота [4]. Это означает, что в скором времени СЭДО будут внедрены в большинстве компаний, что обеспечит улучшение ведения документации на предприятиях, тем самым позволит повысить производительность труда по всей стране.

#### Библиографический список

1. Рынок СЭД России 2023-2024: аналитический обзор. URL:<https://iaassaaspaas.ru/po-dlya-biznesa/sed/rynok-sed-rossii-2023-2024-analiticheskiy-obzor?ysclid=lry037pk8h145239406> (дата обращения 28.01.2024).
2. СЭД (рынок России.) URL:[https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:СЭД\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:СЭД_(рынок_России)) (дата обращения 27.01.2024).
3. Варфоломеева В. А, Иванова Н. А. Электронный документооборот, его преимущества, недостатки, риски // Журнал прикладных исследований. 2022. № 6–3. С. 192–197.
4. Приказ Минфина РФ от 12.01.2023 г. № 3н "О внесении изменений в Порядок выставления и получения счетов-фактур в электронной форме по телекоммуникационным каналам связи с применением усиленной квалифицированной электронной подписи, утвержденный приказом Министерства финансов Российской Федерации от 5 февраля 2021 г. N 14н"

*А. В. Чабаненко* \*

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КВАЛИМЕТРИЯ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Квалиметрия в аддитивном производстве критически важна для оценки и обеспечения качества производимых изделий. Квалиметрия способствует разработке стандартов и методов для оптимизации производственных процессов и улучшения конечной продукции.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, квалиметрия, послойный синтез объектов, контроль геометрии.

*A. V. Chabanenko*\*

Candidate of technical sciences, associate professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## QUALIMETRY IN ADDITIVE MANUFACTURING

Qualimetry in additive manufacturing is critically important for evaluating and ensuring the quality of manufactured products. Qualimetry contributes to the development of standards and methods for optimizing production processes and improving final products.

**Keywords:** additive technologies, qualimetry, layered synthesis of objects, geometry control.

Квалиметрия в аддитивном производстве играет центральную роль в обеспечении высокого качества готовых изделий и процессов, что особенно важно в свете расширения использования этой технологии в различных промышленных секторах. Основная задача квалиметрии заключается в разработке, применении и мониторинге качественных характеристик продукции, создаваемой аддитивными методами. Это включает в себя контроль за качеством используемых материалов, точностью и стабильностью производственных процессов, а также соответствие физических и механических свойств готовых изделий заявленным стандартам.

В квалиметрии аддитивного производства применяются как традиционные методы контроля качества, так и инновационные подходы, основанные на использовании передовых технологий измерения и анализа. Например, широко используются методы 3D-сканирования для контроля геометрических размеров и формы изделий, а также спектральные и микроскопические методы для анализа качества материалов. Важным аспектом является также применение компьютерной томографии для неразрушающего контроля внутренней структуры изделий, что позволяет выявлять скрытые дефекты и несоответствия.

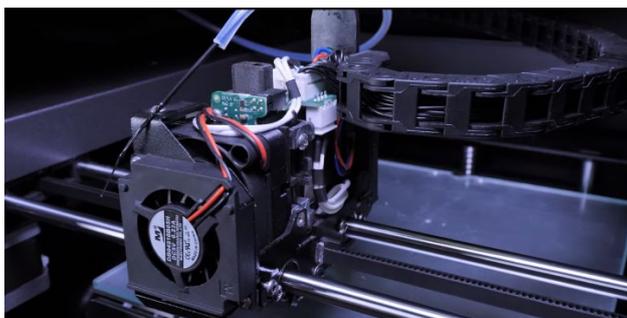
Особое внимание в квалиметрии уделяется стандартизации процессов аддитивного производства. Разработка четких и строгих стандартов позволяет не только обеспечивать высокое качество готовой продукции, но и способствует упрощению взаимодействия между различными участниками производственной цепочки. Это касается как производителей оборудования и материалов, так и конечных потребителей. Стандартизация также играет ключевую роль в международной торговле и сертификации продукции.

Важную роль в квалиметрии аддитивного производства играет анализ данных и машинное обучение. Сбор и анализ больших объемов данных о процессах печати и качестве готовых изделий позволяют не только оперативно выявлять и исправлять ошибки, но и оптимизировать производственные процессы. Применение алгоритмов машинного обучения способствует автоматизации процессов контроля качества и увеличивает эффективность производства.

С учетом быстрого развития технологий аддитивного производства, квалиметрия постоянно адаптируется к новым вызовам и требованиям. Инновационные материалы, сложные геометрии изделий и новые технологии печати требуют постоянного совершенствования методов контроля качества. В этом контексте проводится большая работа по исследованию и разработке новых методов и инструментов квалиметрии.

Таблица ниже представляет основные методы и инструменты квалиметрии в аддитивном производстве, их ключевые особенности и области применения:

В целом, квалиметрия в аддитивном производстве представляет собой комплексный подход, охватывающий все аспекты производственного процесса, от выбора материалов до контроля готовой продукции. Это не просто обеспечение соответствия определенным стандартам, но и активное участие в развитии и совершенствовании технологий аддитивного производства. С постоянным развитием и улучшением методов квалиметрии, можно ожидать дальнейшего повышения качества и эффективности аддитивного производства, что будет способствовать его более широкому применению в самых разных отраслях промышленности.



*Рис. 1. Экструдер 3D принтера*

Вывод: Квалиметрия в аддитивном производстве является важным элементом, обеспечивающим качество и надежность готовых изделий. Она включает в себя различные методы и инструменты, от 3D-сканирования до компьютерной томографии, и играет ключевую роль в стандартизации процессов, сертификации продукции и оптимизации производства. Продолжающееся развитие методов квалиметрии способствует улучшению качества продукции и расширению возможностей аддитивных технологий.

#### **Библиографический список:**

1. Чабаненко, А. В. Управление качеством корпусных элементов РЭА / А. В. Чабаненко // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество», 2018. №2. С. 90-94.
2. Семенова Е. Г., Чабаненко А. В., Назаревич С. А. Выявление ключевых показателей качества технологического процесса производства корпуса РЭА на основе FDM РАДИОПРОМЫШЛЕННОСТЬ Издательство: Центральный научно-исследовательский институт экономики, систем управления и информации «Электроника (Москва) ISSN: 2218-5453 Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 4. С. 53-59.

*А. В. Чабаненко \**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**МЕТРОЛОГИЯ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Метрология в аддитивном производстве является ключевым фактором, обеспечивающим точность, качество и инновационное развитие в производстве. Она играет важную роль в контроле размеров и формы изделий, стандартизации процессов, а также в разработке новых материалов и технологий.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, метрология, послойный синтез объектов, контроль геометрии.

*A. V. Chabanenko\**

Candidate of technical sciences, associate professor

\* St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

**METROLOGY IN ADDITIVE MANUFACTURING**

Metrology in additive manufacturing is a key factor in ensuring accuracy, quality and innovative development in manufacturing. It plays an important role in controlling the size and shape of products, standardizing processes, and developing new materials and technologies.

**Keywords:** additive technologies, metrology, layered synthesis of objects, geometry control.

Метрология в аддитивном производстве является ключевым элементом, обеспечивающим точность и качество изготавливаемых изделий. Важность метрологии в этой области обусловлена уникальными характеристиками аддитивных технологий, таких как слоистое построение объектов и использование разнообразных материалов. Основной задачей метрологии здесь является контроль размеров, формы и качества поверхности изготавливаемых деталей. Для этого применяются различные методы измерения, включая контактные и бесконтактные, а также оптические технологии, такие как 3D-сканирование. Эти методы позволяют получать точные данные о геометрических параметрах изделий, что критически важно для обеспечения их соответствия заданным требованиям и стандартам. В аддитивном производстве также активно используются методы неразрушающего контроля, такие как компьютерная томография, позволяющие оценить внутреннюю структуру изделий и выявить возможные дефекты. Современные методы метрологии в аддитивном производстве также включают в себя разработку специализированных программных решений для обработки полученных измерений и их сравнения с цифровыми моделями. Это позволяет не только контролировать качество изделий на различных этапах производства, но и оптимизировать процессы проектирования и изготовления. Введение интегрированных систем метрологии в процесс аддитивного производства способствует повышению его эффективности, сокращению времени на изготовление деталей и снижению производственных затрат. Таблица ниже демонстрирует основные методы метрологии, используемые в аддитивном производстве, их преимущества и области применения.

Метод метрологии	Преимущества	Области применения
3D-сканирование	Высокая точность, быстрота измерений	Контроль размеров, формы изделий
Компьютерная томография	Визуализация внутренней структуры	Неразрушающий контроль, выявление дефектов
Оптические методы	Бесконтактные измерения, высокая точность	Измерение поверхностной шероховатости
Контактные методы	Подходят для сложных геометрий	Точные измерения в сложных участках

Интеграция метрологических систем в аддитивное производство также обеспечивает возможность постоянного мониторинга процесса печати, что критически важно для обнаружения и предотвращения дефектов в реальном времени. Это позволяет проводить корректировку процессов на ранних стадиях, минимизируя материальные и временные затраты. Благодаря применению передовых методов метрологии, аддитивное производство превращается в высокотехнологичный, контролируемый и надежный процесс, способный удовлетворять самые строгие промышленные стандарты. Особенно это актуально в таких отраслях, как аэрокосмическая промышленность, медицинское оборудование, автомобилестроение, где требования к точности и надежности изделий особенно высоки. Применение метрологии в аддитивном производстве также способствует разработке новых материалов и технологий печати, поскольку предоставляет возможность точного анализа их свойств и влияния на конечные характеристики изделий. Это, в свою очередь, приводит к инновациям в разработке продукции и расширению возможностей аддитивных технологий. Современные тренды в метрологии включают развитие авто-

матризованных и интеллектуальных метрологических систем, способных самостоятельно адаптироваться к изменениям в производственном процессе и повышать эффективность контроля качества. Такие системы основываются на принципах машинного обучения и искусственного интеллекта, что позволяет анализировать большие объемы данных и принимать решения на основе комплексного анализа. Все это способствует не только улучшению качества изделий, но и ускорению производственных процессов, снижению издержек и повышению конкурентоспособности продукции на рынке.

Продвижение аддитивных технологий с учетом метрологических аспектов открывает новые горизонты для кастомизации продукции, позволяя производить изделия с уникальными характеристиками, точно соответствующими индивидуальным требованиям заказчиков. Это особенно значимо в таких сферах, как биомедицина и протезирование, где необходимо создавать изделия, идеально подходящие под анатомические особенности конкретного пациента. Метрология в этом контексте выступает как гарант того, что каждое изготовленное изделие будет отвечать заданным параметрам с высочайшей степенью точности.

Развитие метрологии в аддитивном производстве также способствует улучшению экологической устойчивости производственных процессов. Благодаря точному контролю за использованием материалов и оптимизации производственных процессов, удается значительно сократить отходы и повысить эффективность использования ресурсов. Это особенно важно в условиях глобальных вызовов, связанных с необходимостью снижения воздействия производства на окружающую среду.

Кроме того, метрология в аддитивном производстве тесно связана с усилиями по стандартизации и сертификации. Разработка и внедрение стандартов качества и безопасности для аддитивно произведенных изделий является ключевым аспектом для расширения применения этих технологий в различных отраслях промышленности. Стандартизация процессов и продукции, подкрепленная надежными метрологическими практиками, способствует укреплению доверия к аддитивным технологиям как к важному инструменту современного производства.

Вывод: Метрология играет важнейшую роль в аддитивном производстве, обеспечивая высокую точность и качество изготавливаемых изделий. Применение различных методов измерения, включая 3D-сканирование, компьютерную томографию и оптические методы, позволяет контролировать все ключевые параметры изделий. Это способствует не только повышению качества продукции, но и оптимизации процессов проектирования и изготовления, сокращению времени на производство и уменьшению затрат.

#### **Библиографический список**

1. Чабаненко, А.В. Управление качеством корпусных элементов РЭА / А. В. Чабаненко // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество», 2018. №2. С. 90–94.

*Д. С. Шукина\**

Магистрант

*С. А. Назаревич\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ФОРМИРОВАНИЕ ФРОНТИРОВ СРЕДИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕННОСТНЫХ ИННОВАЦИЙ

В работе определено понятие социотехнической ценностной инновации. На основе анализа поисковых запросов пользователей, новостных публикаций, патентных заявок, научных публикаций, вакансий на рынке труда и инвестиций в инновации были выявлены основные технологические тренды и связанные с ними ценностные инновации.

**Ключевые слова:** тренды, тенденции, технологические тренды, фронтинг инноваций, новые технологии.

*D. S. Shchukina\**

Master's student

*S. A. Nazarevich\**

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## FORMATION OF FRONTIERS AMONG SOCIO-TECHNICAL VALUE INNOVATIONS

The work defines the concept of socio-technical value innovation. Based on the analysis of user search queries, news publications, patent applications, scientific publications, vacancies in the labor market and investments in innovation, the main technological trends and associated value innovations were identified.

**Keywords:** trends, tendencies, technological trends, innovation frontiers, new technologies.

На сегодняшний день, формирование ключевых тенденций развития современных технологий является неотъемлемой составляющей технологического прогресса. Необходимость аналитического исследования и выявления закономерностей появления инноваций и потребительских запросов остро ощущается не только для крупных компаний, а также для среднего и малого бизнеса [1].

Под социотехническими ценностными инновациями понимаются изобретения и технологии, основанные на взаимодействии социальных групп и новых технических решений для реализации потребительских запросов. Ценностные инновации помимо потребительских запросов формируют новые взгляды потребителей на реализацию уже существующих решений и влияют на общественное восприятие классических решений.

Технологические тренды формируются на основе анализа экономических процессов в стране и зависят от фундаментальных и технических факторов. Они отражены в государственных документах, прогнозах и стратегиях развития, а также в отчетах крупных компаний и международных финансовых структур. В настоящее время влияние на формирование трендов оказывают также популярные блоггеры, которые определяют направления в использовании инноваций для своей аудитории [4].

Понятие формирования тенденций развития определенных областей в сферах обеспечения качества жизни потребителей может достаточно широко описываться и в недостаточной мере отражать частные случаи их использования. Для этого необходимо сегментировать тенденции, тренды и ценностные инновации формирующие их.

По результатам исследования крупных компаний и на основании предоставленных ими отчетах были сформированы основные технологические тренды, связанные с повсеместной цифровизацией и автоматизацией производственных процессов. Исследования основываются на анализе статистической информации о количестве научных работ, инвестиций, патентного анализа, экономическим показателям по сбыту и производству, а также политическими факторами, которые также имеют влияние на формирование трендов и тенденций [3].

Примерами существующих и наиболее влиятельных трендов являются: переход к использованию искусственного интеллекта, а также генеративного искусственного интеллекта, внедрение машинного обучения, развитие low-code платформ, использование Web3, а также дизайн безопасности, основывающийся на изначальной уязвимости проверяемых систем.

Каждый из представленных технологических трендов влечет формирование ценностных инноваций, отражающих их. Так примером ценностных инноваций для использования искусственного интеллекта являются системы обработки естественного языка, компьютерного зрения и автоматического принятия решений. Современные нейросети и чат-боты, способные генерировать и общаться с пользователем, например, Chat GPT, Writesonic, YouChat и их аналоги будут отражать тенденцию развития генеративного искусственного интеллекта. Для внедрения машинного обучения ценностными инновациями будут являться программы, такие как TensorFlow, scikit-learn, PyTorch, Keras, Microsoft Azure Machine Learning.

Формирование фронтиров для представленных ценностных инноваций основывается на дальнейшем анализе потребительских оценок наиболее значимых критериев при формировании тренда. Изучение данной сферы

способствует разработкам обоснованных стратегии развития как крупных компаний, так и небольших организаций, занимающих определенную нишу не только в инновационном секторе потребления, а также и для повышения экономической эффективности за счет использования ценностных инноваций на производствах.

#### **Библиографический список**

1. Korobkin D., Fomenkov S., Golovanchikov A. Method of identification of patent trends based on descriptions of technical functions. // J. Phys. Conf. Ser. 1015, 7, 2018, pp.1–6.
2. Mysior M., Hnat W., Koziółek S. Method of Identification of Useful Functions in the Scope of Technical System Development. // New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies. 2018. pp. 204–215.
3. Технологические тренды 2023 – версия McKinsey Digital // Цифровая экономика URL: <https://d-economy.ru/news/tehnologicheskie-trendy-2023-versija-mckinsey-digital/> (дата обращения: 09.12.2023).
4. Сологуб Елена Владимировна Теоретические подходы к формированию потребительской ценности товара/услуги // Russian Journal of Economics and Law. 2019. № 2.

*Э. Юхра\**

Аспирант, Республика Боливия

*А. В. Вячеславов\**

к. х. н., доцент кафедры Метрологии, приборостроения и управления качеством

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## УМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ЕГО СВЯЗЬ С ЦИФРОВОЙ МЕТРОЛОГИЕЙ

Четкое понимание таких технологий, как искусственный интеллект, аналитика больших данных и промышленный Интернет вещей, позволяет понять роль каждой из них в развитии интеллектуального производства. Эти технологии в сочетании с метрологией позволят интеллектуальным производственным системам повысить качество измерений и снизить количество ошибок. Учитывая необходимость разработки современных систем контроля и мониторинга, предлагается схема характеристик и факторов, которые необходимо учитывать в процессе проектирования таких систем с функциями самокалибровки и метрологического самоконтроля.

**Ключевые слова:** Интеллектуальное производство, цифровые технологии, самоконтроль, самокалибровка.

*Е. Yujra\**

Postgrade student, Republic of Bolivia

*A. V. Vyacheslavov\**

Ph D in Chemical sciences, Associated professor of the Department of Metrology, Instrumentation and Quality Management

\*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

## SMART MANUFACTURING AND ITS RELATION TO DIGITAL METROLOGY

A clear understanding of technologies such as artificial intelligence, big data analytics and the Industrial Internet of Things allows us to understand the role of each one in the development of smart manufacturing. These technologies combined with metrology will enable smart manufacturing systems to improve measurement quality and reduce errors. Considering the need to develop advanced control and monitoring systems, a scheme of characteristics and factors to be considered in the design process of such systems with self-calibration and metrological self-monitoring functions is proposed.

**Keywords:** Intelligent manufacturing, digital technologies, self-monitoring, self-calibration.

Передовые технологии, такие как искусственный интеллект, аналитика больших данных и интернет вещей, позволили создать умную промышленность и интеллектуальное производство. Их развитие также привело к появлению огромных объемов информации. Эта информация становится критически важной во многих областях, таких как экономика, машиностроение и, конечно, метрология. Именно поэтому в данной статье анализируются технологии, используемые для развития интеллектуального производства, а также изучается их связь с метрологией как наукой о повышении качества продукции на основе точных и достоверных измерений.

Сначала необходимо определить разницу между «умной промышленностью» (или «Индустрия 4.0») и интеллектуальным производством.

Цель Индустрия 4.0 – создать умные фабрики, которые будут более эффективными, гибкими и адаптивными при помощи цифровых (умных) технологий [1]. В ее разработке используются следующие технологии: (1) большие данные и искусственный интеллект, (2) робототехника и автоматизация, (3) моделирование, (4) горизонтальная и вертикальная системная интеграция, (5) интернет вещей, (6) облачные вычисления, (7) кибербезопасность, (8) аддитивное производство и (9) дополненная и виртуальная реальность [2].

Тем временем цель интеллектуального производства заключается в повышении качества, скорости и экономической эффективности производственных процессов. Для этого оно использует следующие технологии: промышленный Интернет вещей (IIoT), искусственный интеллект (ИИ) и аналитика больших данных (АБД) [3]. Мы считаем, что важно понимать эти технологии и их роль в интеллектуальном производстве.

IIoT – это приложение IoT исключительно для промышленности, в котором используются умные датчики, исполнительные механизмы и другие устройства для улучшения промышленных и производственных процессов. То есть эти устройства объединяются в сеть для сбора, передачи и анализа данных, которые помогают повысить эффективность и надежность [4].

С другой стороны, ИИ – это моделирование процессов человеческого интеллекта машинами, особенно компьютерными системами [5]. В контексте интеллектуального производства ИИ означает способность машин выполнять задачи, похожие на человеческие. ИИ имеет несколько потенциальных применений в производстве, включая промышленную автоматизацию, предиктивное техническое обслуживание и более точное прогнозирование спроса.

АБД является ключевым компонентом интеллектуального производства, поскольку позволяет собирать, обрабатывать и анализировать большие объемы данных, генерируемых производственными процессами и оборудованием. Например, некоторые методы анализа больших данных были исследованы в интеллектуальных производственных системах, при разработке методов оптимизации данных [6].

Из приведенных выше концепций видно, что обеспечение качества данных, которые взаимодействуют в интеллектуальном производстве, является необходимостью. Поскольку эти данные являются результатами измерений, выполненных в процессе производства, метрология будет той наукой, которая сможет обеспечить их качество, т.е. точность и достоверность.

Данные в текущем времени определяются как «сырье для дальнейшей разработки в интеллектуальных производствах» поэтому научное сообщество установило принципы, согласно которым данные должны поддаваться поиску, а также быть доступными, совместимыми и многократно используемыми (аббревиатура от английского FAIR). Метрология расширяет эти принципы, обеспечивая прослеживаемость измерений до международной системы единиц (SI), их повторяемость и воспроизводимость путем межлабораторных сличений и оценку неопределенностей измерений.

Применение в метрологии таких технологий, как ИИ и алгоритмы АБД для выполнения и интерпретации измерений, привело к развитию цифровой метрологии. В эпоху цифровых технологий и ИИ комплексные самокалибруемые датчики и виртуальные измерения приобретают все большее значение в метрологии [7]. Поэтому необходимо знать, какие направления исследований в настоящее время проводятся для развития цифровой метрологии.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) поставило себе пять задач по цифровизации метрологии в России, которые включают в себя: (1) – цифровую трансформацию метрологических услуг, в том числе создание инфраструктуры для цифровых сертификатов калибровки, создание «метрологического облака»; (2) – метрологию в анализе больших данных – разработку методов их анализа и машинного обучения для Big Data; (3) – метрологию коммуникационных систем нового поколения, в том числе для сетей 5G; (4) – метрологию интеллектуальных средств измерений, обеспечивающих самонастройку и самокалибровку; (5) – метрологию для моделирования и виртуальных приборов [8].

Из приведенной выше задачи мы обратим внимание на четвертую задачу, поскольку интеграция метрологии в интеллектуальное производство предполагает использование автоматизированных систем и инструментов для измерений, сбор данных в режиме реального времени, повышение точности и аккуратности, гибкость и экономию средств. В этом контексте рассматриваются понятия *автоматизированной метрологии* (АМ), метрологического самоконтроля и метрологической самокалибровки.

АМ относится к использованию автоматизированных измерительных систем для выполнения измерений. Эти системы призваны минимизировать ошибки и отклонения в процессе измерений, обеспечивая согласованность и достоверность данных. Кроме того, они могут быть интегрированы в производственную линию для получения данных о качестве выпускаемой продукции в режиме реального времени, например, неразрушающего контроля [9]. К преимуществам этих систем относятся: достоверные и надежные результаты, повышенная точность данных, минимизация ошибок, эффективное производство, масштабируемость и гибкость, прослеживаемость измерений, сбор данных в режиме реального времени и повышение качества.

*Метрологическая самокалибровка* может пониматься как автоматическое определение погрешности измерений средства измерений и его неопределенности. Калибровка является важным аспектом метрологии, можно выделить несколько ключевых понятий, связанных с калибровкой и метрологией: прослеживаемость, неопределенность и погрешность измерений.

Тайманов Р. Е. и др. пишут, что под метрологическим самоконтролем понимается способность измерительных приборов или датчиков автономно проверять и, при необходимости, корректировать свои метрологические характеристики. Они также обосновывают, что метрологический самоконтроль позволит сократить затраты на *метрологическое обслуживание* средств измерений, одновременно повысив достоверность результатов измерений [10].

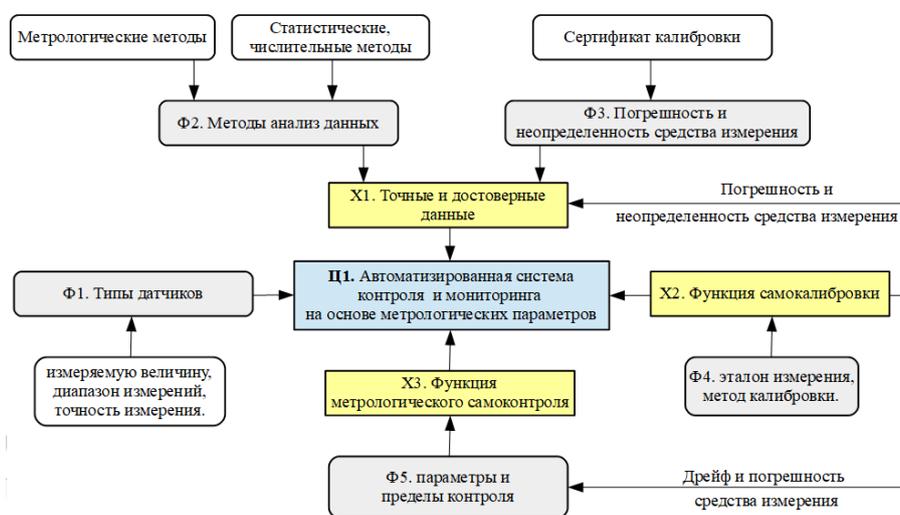


Рис. 1. Схема характеристик и факторов, которые необходимо учитывать при проектировании автоматизированной системы контроля и мониторинга на основе метрологических параметров

В исследованиях говорится о развитии автоматических систем контроля, основанных на анализе данных в реальном времени благодаря ПоТ и АБД. Однако важность и влияние неопределенности измерений в этих системах не описаны.

Под метрологическим самоконтролем обычно понимают способность измерительного прибора или датчика к самопроверке или самонастройке. Однако авторы не уточняют, какие метрологические параметры должны учитываться при разработке измерительных систем с функцией метрологической самоконтроля.

С нашей точки зрения, на практике концепция самокалибровки предполагает, как минимум, сравнение двух элементов. Один из них выполняет роль стандартного элемента, а второй выступает в качестве калибруемого средства измерений. При этом в сетях измерительных датчиков могут быть рассмотрены различные режимы калибровки, например, принятие среднего арифметического значения «n» количества датчиков в качестве стандартного измерения. Затем это значение (стандартное измерение) может быть использовано в качестве «истинного значения» (опорного, «базового») для определения погрешности измерений отдельных датчиков (рис. 1).

Проанализировав развитие цифровой метрологии как основного инструмента совершенствования интеллектуального производства и соответствующих технологий (ИИ, ПоТ, АБД), приводится общее описание характеристик (X), которыми должна иметь автоматизированная система контроля и мониторинга на основе метрологических параметров (Ц), и факторов (Ф), которые необходимо проанализировать при ее разработке (см. рис. 1).

### Библиографический список

1. IBM-International Business Machine. What is Industry 4.0? (2020). URL: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0> (дата обращения: 15.12.2023).
2. Dubey G., Gupta R. K., Kumar S., Kumar M. (2022). Study of industry 4.0 pillars and their uses in increasing productivity and reducing logistics defects. *Proceedings*, Vol. 63, pp. 85–91.
3. Wang B., Tao F., Fang X., Liu C., Liu Y., Freiheit T. (2021). Smart Manufacturing and Intelligent Manufacturing: A Comparative Review. *Engineering*, Vol. 7, pp. 738–757.
4. Praveen M., Rohit S., Singh R., Gehlot A., Chandra S., Waleed A., et. al. (2021). Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of *The Art*. *Computer Communications*, Vol. 166, pp. 125–139.
5. Li, Bh., Hou, Bc., Yu, Wt. et al. (2017). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. *Frontiers Inf Technol Electronic*, Vol. 18, pp. 86–96.
6. Юхра Р. Э., Гоголинский К.В. (2023). Алгоритм обнаружения выбросов в больших массивах результатов измерений (данных) с применением статистических методов анализа. *Приборы*, 9, С. 35-45.
7. Grasso Toro F., Lehmann H. (2021). Brief overview of the future of metrology. *Measurement: Sensors*, Vol. 18, pp. 1–4.
8. Barbosa C., Sousa M., Almeida M., Calili R. (2022). Smart Manufacturing and Digitalization of Metrology: A Systematic Literature Review and a Research Agenda. *Sensors*, Vol. 22, pp. 1–40.
9. Metrology.news. The Increasing Role of Metrology Automation in Smart Manufacturing. (2023). URL: <https://metrology.news/the-increasing-role-of-metrology-automation-in-smart-manufacturing> (дата обращения: 17.01.2024).
10. Taymanov R., Sapozhnikova K. (2010). Metrological self-check and evolution of metrology. *Measurement*, Vol. 43, pp. 869–877.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕТРОЛОГИИ

UDC 004.8

*Anish Nair\**

*Ramkumar P.\**

*Sivasubramanian Mahadevan\*\**

*Chander Prakash\*\*\**

*Saurav Dixit\*\*\*\**

*Gunasekaran Murali\*\*\*\*\**

*Kaushal Kumar\*\*\*\*\**

\*Mechanical Engineering, Kalasalingam Academy of Research and Education, Krishnankoil 626126, India;

\*\*Automobile Engineering, Kalasalingam Academy of Research and Education, Krishnankoil, 626126, India;

\*\*\*School of Mechanical Engineering, Lovely Professional University, Phagwara 144411, India;

\*\*\*\*Division of Research & Innovation, Uttarakhand University, Dehradun 248007, India

\*\*\*\*\*Department of Mechanical Engineering, K. R. Mangalam University, Gurgaon 122103, India;

## TYPES OF MACHINE LEARNING FOR PREDICTING THE EFFICIENCY OF HEATED PRESSURE VESSELS

This article describes in detail the choice of machine learning models for predicting the efficiency of a heat pipe system in a concentric tubular heat exchanger. Experiments were carried out with a heat exchanger using methanol as a working fluid. The angle value ranged from 0° to 90°, the temperature values ranged from 50°C to 70°C, and the flow rate ranged from 40 to 120 liters per minute. Several experiments were conducted with different combinations of input parameters, and the efficiency was measured for each test. Several machine learning algorithms were taken into account for forecasting. The experimental data were divided into subsets, and the performance of the machine learning model was analyzed for each of the subsets. For a general analysis that included all three parameters, the random sampling algorithm returned the best results with an average error of 1.176 and a standard error of 1.542.

**Keywords:** heat pipe; heat exchanger; machine learning; efficiency.

The heat pipes were studied with various angles, wick constructions and operational fluids [1–4]. In a similar study, the highest heat transfer coefficient at 60° and a 50% fill ratio was reported [4]. In studies involving pulsating HP with DI water, it was reported that the lowest thermal resistance of 0.077 K/W was achieved at inclined angles [5]. Traditionally, statistical and heuristic techniques have been used by researchers for the development of such prediction models. Traditional methods rely on the method of generating a relational equation, and this model may not fit the entire data points correctly, leading to non-uniform prediction. Machine learning is the newer technique, which allows us to obtain a better representation of the process as it helps to identify tricky correlations that may exist within the dataset. ML methods develop patterns for prediction rather than developing a single equation, which further leads to much better flexibility in prediction. The development of prediction and optimization models is a better way of understanding any mechanical system as it is used as a reference for future researchers and industry experts as a means of better understanding the process. Machine learning (ML) methods and techniques have been reported in various areas of manufacturing in an attempt to implement Industry 4.0 [6]. ML has also been used as a tool for manufacturing diagnostics [7] and this is also an advanced data analytics solution [8]. ML application has also been reported by researchers in many thermal-based applications in predicting the performance of fins [9] and the air injection effect [10] in heat exchangers. A detailed review [11] shows how ML methods have been vastly adopted in various heat exchanger processes for the prediction of different performance indicators.

Based on the literature it was observed that ML modelling for heat pipe exchangers with methanol as a working fluid is an area which needs attention. Hence, this article depicts the process for the development of an ML model that can model the effectiveness of the heat exchanger process. Multiple models are developed, and they are further compared to select the best among them. The algorithms are implemented through the WEKA open-source software, which contains the algorithms for various ML methods [32,33].

The heat pipe is fabricated and substitutes the concentric tube of the traditional heat exchanger, as shown in Figure 1. Copper material is employed for the heat pipe, and iron, which is galvanized, is employed for the shell. The total pipe length is 1000 mm, in which 700 mm is inserted inside the shell side of the evaporator section and 300 mm at the condenser section. The diameter of the heat pipe is 19 mm and 17 mm at the outer and inner edges, respectively. The evaporator and condenser shell have diameters of 50 mm and 35 mm, respectively. The total length of the evaporator and condenser shell section is 1000 mm and 300 mm, respectively. Two fluid tanks are fabricated for

hot and cold fluid sections. The hot fluid tank (5 L) has an immersion electric heater with a 2000 W capacity. Two rotameters with a capacity of 3 LPM are used for measurement and flow control. The temperatures are measured using thermocouples at all points of the heat pipe heat exchanger.

For both investigations, methanol is used. Methanol is charged with fill ratios of fifty per cent of the evaporator zone volume. Thermophysical properties of the working fluid are described in Table 1 [12]. The minimum tilt angle is set at 0° (horizontal) and the maximum tilt angle is set at 90° (vertical). The angle varied in increments of 10°. The mass flow rate is set at a minimum value of 40 L per hour and a maximum of 120 L per hour.

The intermediate values for mass flow rate that are used in the experiment are 60, 80 and 100 L per hour. Similarly, the maximum value of the set temperature is 70 °C and the minimum value of temperature is 50 °C. The intermediate values of temperature at which the other experiments are conducted are 55 °C, 60 °C and 65 °C. The various parametric levels chosen for the experiment are described in Table 2. The experiments are carried out with each combination of the parameter levels, leading to a total of 250 experiments. The effectiveness of each of the settings is measured and based on this database the ML model is executed.

Table 1

Parametric levels used in experiment

S. No	Factors	Minimum	Maximum	Mean	CKO
1	Angle (A)	0	90	45	28.78
2	Mass flow rate (MF)	40	120	80	28.341
3	Temperature (T)	50	70	60	7.085
4	Effectiveness (Methanol)	6.84	38.98	20.13	6.177

The identification of the best machine learning model for a heat exchanger process is discussed in this article. Heat exchanger experiments with methanol as the working fluid are conducted with consideration of various factors such as angle, temperature and mass flow rate and the effectiveness of each of the experiments is measured. The value of the angle is varied from 0 to 90 in increments of 10. Values of temperature are varied in increments of 5, starting from 50 to 70. Mass flow rate is varied from 40 to 120 in increments of 20. The experiments are conducted for each of the combinations of the input parameters and the effectiveness is measured for each trial. From the experiment data, a machine learning model is developed to identify the algorithm which best fits the experiment. Thirty algorithms were taken into consideration and the experimental values were analysed for each of the algorithms. The experimental data were divided into subsets and the performance of the machine learning model was analysed for each of the subsets. Single-parameter subset analysis revealed that angle had the most correlation with effectiveness as the MAE (3.671) and RMSE (4.417) were minimum. For the single-parameter analysis, the random forest algorithm was found as the best fit. Similarly, for the two-parameter subset, it was inferred that the angle-temperature combination had the most correlation with effectiveness and the MAE and RMSE were 2.373 and 2.921, respectively. For this, the additive regression method was identified as the best machine learning model. For the overall analysis that included the all three parameters, the random forest algorithm returned the best results with an MAE of 1.176 and RMSE of 1.542. The results show that machine learning models can be successfully used for representing the physical experiments in a numerical model. With the presence of increasing databases, more such studies can be conducted in the future to create robust databases that best depict the process.

## References

- Dixit, S.; Stefan'ska, A. Digitisation of contemporary fabrication processes in the AEC sector. *Mater. Today Proc.* 2022, 56, 1882–1885. [CrossRef]
- Rahimi, M.; Asgary, K.; Jesri, S. Thermal characteristics of a resurfaced condenser and evaporator closed two-phase thermosyphon. *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 2010, 37, 703–710. [CrossRef]
- Venkatachalapathy, S.; Kumaresan, G.; Suresh, S. Performance analysis of cylindrical heat pipe using nanofluids—An experimental study. *Int. J. Multiph. Flow* 2015, 72, 188–197. [CrossRef]
- Charoensawan, P.; Khandekar, S.; Groll, M.; Terdtoon, P. Closed loop pulsating heat pipes: Part A: Parametric experimental investigations. *Appl. Therm. Eng.* 2003, 23, 2009–2020. [CrossRef]
- Shang, F.; Fan, S.; Yang, Q.; Liu, J. An experimental investigation on heat transfer performance of pulsating heat pipe. *J. Mech. Sci. Technol.* 2020, 34, 425–433. [CrossRef]
- Wang, J.; Ma, Y.; Zhang, L.; Gao, R.X.; Wu, D. Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *J. Manuf. Syst.* 2018, 48, 144–156. [CrossRef]
- Ademujimi, T.T.; Brundage, M.P.; Prabhu, V.V. A Review of Current Machine Learning Techniques Used in Manufacturing Diagnosis BT—Advances in Production Management Systems. In *The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*; Lödding, H., Riedel, R., Thoben, K.-D., von Cieminski, G., Kiritsis, D., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017; pp. 407–415.

10. Zacarias, A.G.V.; Reimann, P.; Mitschang, B. A framework to guide the selection and configuration of machine-learning-based data analytics solutions in manufacturing. *Procedia CIRP* 2018, 72, 153–158. [CrossRef]
11. Krishnayatra, G.; Tokas, S.; Kumar, R. Numerical heat transfer analysis & predicting thermal performance of fins for a novel heat exchanger using machine learning. *Case Stud. Therm. Eng.* 2020, 21, 100706.
12. El-Said, E.M.S.; Elaziz, M.A.; Elsheikh, A.H. Machine learning algorithms for improving the prediction of air injection effect on the thermohydraulic performance of shell and tube heat exchanger. *Appl. Therm. Eng.* 2021, 185, 116471. [CrossRef].
13. Wang, Z.; Zhao, X.; Han, Z.; Luo, L.; Xiang, J.; Zheng, S.; Liu, G.; Yu, M.; Cui, Y.; Shittu, S.; et al. Advanced big-data/machine-learning techniques for optimization and performance enhancement of the heat pipe technology – A review and prospective study. *Appl. Energy* 2021, 294, 116969. [CrossRef]
14. Frank, E.; Hall, M.A.; Witten, I.H. *The WEKA Workbench. Online Appendix for Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 4th ed.; Morgan Kaufmann: Burlington, VT, USA, 2016.

*Е. Л. Варустина*

кандидат исторических наук, доцент  
Санкт-Петербургский государственный университет

*В. М. Монахов*

кандидат исторических наук, доцент  
Санкт-Петербургский государственный университет

## МЕТРОЛОГИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ АНТРОПОЛОГИИ

В статье рассматриваются вопросы о причинах происхождения способности к измерению, связанных со свойствами неживой и живой природы и ролью антропогенного фактора в развитии метрологического знания. Показаны сложности в современном понимании единства метрологии, связанные с разнородностью методов измерений в области естествознания, техники, инженерных наук (где преобладает подход, основанный на сопоставлении физических величин) и в областях социального и гуманитарного знания, искусства и культуры, где доминирует обращение к понятиям для осуществления сравнения и оценки различных явлений и предметов, когда результаты измерений далеко не всегда могут быть выражены в физических величинах. Сформулированы предложения по возможным путям развития новых теоретических концептов метрологии и обеспечению метрологической грамотности в современных условиях.

**Ключевые слова:** мера, измеримость, природосообразность метрологических технологий, всеобщность измерений, метрологический словарь, понятие как инструмент измерения и познания.

*E. L. Varustina*

Associate Professor, St. Petersburg State University

*V. M. Monakhov*

Associate Professor, St. Petersburg State University

## METROLOGY IN THE SPACE OF ANTHROPOLOGY

The article examines questions about the reasons for the origin of the ability to measure, related to the properties of inanimate and living nature and the role of the anthropogenic factor in the development of metrological knowledge. The difficulties in the modern understanding of the unity of metrology are shown, associated with the heterogeneity of measurement methods in the field of natural science, technology, engineering (where the approach based on the comparison of physical quantities predominates) and in the fields of social and humanitarian knowledge, art and culture, where the appeal to concepts for comparison and evaluation of various phenomena and objects, when measurement results cannot always be expressed in physical quantities. Suggestions are formulated on possible ways to develop new theoretical concepts of metrology and ensure metrological literacy in modern conditions.

**Keywords:** measure, measurability, natural conformity of metrological technologies, universality of measurements, metrological dictionary, concept as a tool of measurement and cognition.

Взгляд на мир как на сложную систему позволяет яснее увидеть то, как складывается картина мира человека. Формирование человеческой идентичности, индивидуального и коллективного самосознания является результатом активной познавательной деятельности человека и все известные нам сегодня науки включая и науки о природе, инженерные и технические науки, а не только гуманитарные и социальные, являются одновременно и науками о человеке. Ведь человек часть природы, он существует в мире, подчиняющемся в том числе и физическим законам. Не случайно выдающийся советский психолог, создатель системной модели человекознания Б.Г.Ананьев определял человека как явление психо-био-социальное [1].

Измеримость, как *всеобщее* свойство мира, неотъемлемой частью которого является человек, становится одним из условий самой возможности существования феномена измерения [5. С.28]. Второе условие, делающее измерение осуществимым проистекает из природы человека, его био-психо-физиологической организации. Человек создан и изначально наделен органами чувств, позволяющих ему находиться в непрерывном и сложном взаимодействии с внешней средой. Человеку, некогда помещенному в мир, необходимо научиться ориентироваться в пространстве и времени, преодолевать силу стихий, пользоваться плодами природы, то есть познавать окружающий мир, выживать в нем и пытаться его изменить в стремлении обустроить этот внешний мир под себя, то есть субъективировать его.

Освоение человеком окружающего пространства, «окультуривание» его, становление социально-экономических устоев жизни в человеческом социуме привело к возникновению инструментов, помогающих обрести навыки ориентации не только в плане геолокационном, то есть в пространстве физическом, но решать вопросы, связанные с развитием товарообменных и иных социокультурных коммуникаций. Потребовалось некоторым образом обеспечить эквивалентность этих обменов, что породило к жизни процедуры измерения и сравнения/сопоставления.

Активность и практическая деятельность человека, иначе говоря антропогенный фактор, обусловили появление инструментов измерения, обозначенных как «мера» [15. С.600], выступавшая в роли «мерила» (о взаимосвязи значений понятий «мера» и «мерило» подробнее см.: 14. С.252-253). Все выше изложенное позволяет утверждать, что измерительные технологии, изучением которых занимается метрология как научная дисциплина, по происхождению своему являются технологиями *природосообразными*, либо, что, наверное, в смысловом отношении точнее, *природоподобными*. Но их актуализация стала возможной благодаря человеку и формированию и развитию связанной с его деятельностью культуры.

Понимание природного происхождения способности к измерению ведет нас к заключению о том, что ей присуще свойство универсальности, или *всеобщности*. Подтверждение всеобщности этого свойства мы можем найти, например, наблюдая за жизнью хищных животных и птиц, поведение которых в момент охоты определяется сигналами, возникающими в нервной системе под воздействием информации, воспринимаемой их органами чувств. Животные, птицы, хищные рыбы и даже насекомые как бы *примериваются* к ситуации, чтобы мобилизовать достаточный ресурс энергии, необходимый для приведения к действию всех систем своего организма, позволяющих совершить решающий бросок и нанести сокрушительный удар для получения контроля над столь возжеланным объектом добычи.

Разумеется, что речь в данном случае идет о *поведенческом феномене инстинктивной природы*. Но при этом важно понимать, что инстинкт не тождествен безусловному рефлексу, а представляет собою явление, характеризующееся «переплетением врожденных и приобретенных в процессе индивидуального развития организма компонентов» и нередко рассматривается как «зародыш» ума [17. С. 282].

Это последнее допущение побуждает нас сделать вывод о постепенности и плавности перехода от инстинктивного к *осознанному поведению*, что принято связывать с появлением и развитием *homo sapiens*. Дополнительным аргументом в поддержку «плавности» указанного выше перехода является феномен *интуитивного знания*, выступающего важным фактором формирования поведенческих стратегий и на этапе осознанного поведения. К термину интуиция обращаются «с целью сказать о появлении некоего знания в уме человека, происхождение которого остается необъяснимым» [17. С.306-310] и одним из источников его может быть как раз закрепленный в психике человека опыт инстинктивного поведения. Яркие и убедительные примеры этому могут быть почерпнуты из такой сферы жизнедеятельности человека как спорт, где навык «примеривания» является одним из залогов успеха. И даже вроде бы далеко отстоящие от спортсменов и уже почти преодолевшие границы и пределы человеческой природы французские интеллектуалы эпохи постмодернизма породили понятие «базовые интуиции научных теорий».

По нашему убеждению, феномен измеримости проявляет себя на этапах как инстинктивного и интуитивного, так и осознанного поведения, обитая в пространстве интуитивных переживаний. Инструментами измерений здесь выступают сенсорные системы организма. Весь этот механизм продолжает функционировать и на этапе осознанного поведения, когда появляется «мера», как материальный (физический) эквивалент в качестве *инструмента измерения физических величин*, что и открыло путь к появлению метрологии, которая, по авторитетному мнению Ф.И. Петрушевского, есть «описание всякого рода мер по их наименованиям, подразделениям и взаимному отношению» [10. С.4]. В наши дни метрология понимается «как наука об измерениях и область деятельности по обеспечению единства измерений» [8. С.21].

Принципиальным моментом в понимании сущности метрологии является признание наличия объективных природных предпосылок к ее появлению, которые проистекают прежде всего из способности к измерению. Но сам процесс измерений смог стать реальностью в силу того, что он обнаружил себя важнейшим инструментом познавательной деятельности человека. Можно согласиться с утверждением о том, что «вся история цивилизации представляет собой непрерывный процесс становления и развития измерений». [9. С. 50]. Результатом этой глубочайшей интегрированности метрологического знания в пространство практически всех сфер жизни человеческого социума стало то, что в наши дни метрология выступает в качестве «фундаментальной основы» [7. С. 204-205], обеспечивающей функционирование всех областей науки, культуры, искусства, экономики и промышленности, социальной сферы (медицина и образование), военного дела, управления.

Стремительное развитие новых технологий способствует возникновению новых возможностей измерений там, где человек был ограничен природным диапазоном органов чувств и каналов общения с внешним миром. Метрологические технологии расширяют возможности более эффективной и продуктивной деятельности человека в пространстве его ойкумены.

Метрология с момента ее возникновения прошла длительный путь, в начале которого она была простым «описанием всякого рода мер» и на протяжении многих веков оставалась в этом статусе [3]. Развитие науки и технологий, технический прогресс обусловили стремительное расширение областей метрологической деятельности и методов ее осуществления. Прежняя «описательная» метрология стала фундаментом вспомогательной специальной исторической дисциплины [11. С. 456-457], получившей название «историческая метрология» [6, 16], из состава которой в отдельную дисциплину была выделена «хронология» [2. С.87]. Дифференциация и специализация направлений метрологической деятельности привела к утрате понимания единства метрологического знания. Так авторитетный Российский Гуманитарный Энциклопедический словарь определяет метрологию исключительно как специальную историческую дисциплину, не упоминая вовсе иных многочисленных областей современного ее применения [11. С.456-457]. Подтверждение этому можно найти в статьях о метрологии, которые мы можем разыскать в различных энциклопедических и толковых словарях. Большой энциклопедический

словарь, например, содержит две одноименных статьи: одна о метрологии, к «основным проблемам которой относится: создание общей теории измерений, образование единиц физических величин и систем единиц, разработки методов и средств измерений, методов определения точности измерений, основ обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений» [4. С.725], а в другой статье утверждается, что метрология – это вспомогательная историческая дисциплина, «изучающая развитие систем мер...» [4. С.725]. Вопрос о том, существует ли какая-либо содержательная связь или взаимодействие между этими двумя «метрологиями», Словарь деликатно обходит стороной. Примеры столь стремительного расхождения некогда монолитной области знания можно было бы множить, но уже и те, что здесь приведены, свидетельствуют о том, что фундаментальный принцип «единства измерений» не осознается в полной мере как опорный элемент всей совокупности и целостности, расширяющей свои владения метрологии как области науки и практической деятельности [12. С.308].

Объяснение этому следует искать в том, что сама процедура измерения стала восприниматься как «совокупность действий, выполненных при помощи средств измерений...» [4. С. 437], что породило к жизни целую отрасль науки и техники под названием «измерительная техника» [4. С.437]. Развитие этого направления, а затем и появление информационных и вычислительных технологий, позволило осуществить автоматизацию управления сложными производственно-техническими системами и процессами. Наше восхищение и удивление от всех новых достижений научно-технической революции не должно, однако, мешать нам помнить, что все эти достижения есть результат труда и творческой деятельности человека, а значит и метрология должна осмысляться в неразрывной связи с методами наук о человеке, что требует обращения к базовым принципам системной модели человекознания.

Едва ли кто-то возьмется оспаривать утверждение, что всякое измерение есть по сути своей сравнение. Но и в этом утверждении присутствуют, что называется, нюансы. Когда речь идет о физических величинах, то как будто бы понятно, что мы сравниваем. А как быть с измерениями в социальных, гуманитарных науках, психологии, образовании, различных родах искусства и литературы? Ведь здесь «измерение» осуществляется на основе «сравнения» понятий и образов, их распознавания и сопоставления с извлекаемым из недр памяти и сознания инвариантом, выступающим в роли эталона («мерила»), и является сложнейшей когнитивной операцией. Как соотнести результаты измерений, выраженные в формате, принятом в Словаре основных исторических понятий Р.Козеллека [13], посвященном исследованию и описанию примерно 130 основных исторических понятий, с форматами измерений, в которых результат будет выражен количеством физических единиц?

Автором (Р.Козеллеком) были сформулированы основные принципы историко-понятийного подхода [13. С. 24-25, 33-35], в рамках которого именно понятия рассматриваются в качестве инструмента измерения и оценки как количественных, так и качественных состояний человеческого социума и его культуры. Как и метрология в целом, видящая свою роль в метрологическом обеспечении различных областей научной и практической деятельности, история понятий стремится к своей основной цели – быть «полезной для исторических и социальных наук» [13. С. 33], т.е. она решает задачу их обеспечения достоверными сведениями. В данном случае работа с историческими понятиями – это работа над повышением «точности» измерительных инструментов. Такая задача решается и в пространстве материальном, где ведется неустанная работа по совершенствованию измерительных приборов и иных физических средств измерения. В данном случае нам важно увидеть тождественность базовых принципов реальной измерительной деятельности и деятельности, воспринятой и отраженной сознанием.

Что же касается уже упомянутого выше примера с историческими понятиями, то в этом случае важно иметь в виду их многомерность и многозначность, поскольку любое понятие «связывает разнообразие исторического опыта и сумму теоретических и практических предметных связей в единство, которое только в этом понятии существует как таковое и является действительно познаваемым» [13. С. 37-38]. Кроме того, важной особенностью понятий является динамика смыслов, обозначаемых тем или иным словом и их эволюция во времени (фактор темпоральности). Обращает на себя внимание и то, что словесное описание того или иного отдельного понятия в уже упомянутом словаре Р.Козеллека [13] может достигать 60 страниц. Пользоваться столь громоздкими инструментами измерения непросто. Но есть надежда, что и в этом деле удастся добиться прорыва с учетом быстрого развития информационных технологий Big Data, технологий искусственного интеллекта и новых когнитивных технологий. Что не вполне ясно в данный момент – в каких величинах измерять понятия. Хотя они и выступают в роли некоей «меры» или эталонного образца, однако с помощью понятий довольно сложно установить совпадение всех тех элементов, соединение которых в puzzle и сформировало бы ощущение аутентичности и эквивалентности. Но сама по себе процедура сравнения предполагает выявление признаков сходства (похожести) по множеству параметров, что скорее напоминает приемы атрибуции предметов искусства и памятников материальной культуры, либо терапевтическую диагностику в медицине с выявлением признаков тех или иных недугов. Но в любом случае мы имеем дело с измерением, пусть и осуществляемым «на глазок». Рассмотренные выше пространства – физического мира и человеческого сознания объединяют общие принципы: непрерывности, связности, ориентированности, но остро необходимым активный поиск инструментов интеграции, позволяющих обеспечить соразмерность и согласованность процессов и явлений, протекающих в обозначенных уже выше пространствах. Здесь как раз уместно вспомнить о сформулированной Мишелем Фуко идее эпистемологических порогов. Дело в том, что «для большинства областей гуманитарного познания сложен переход от «эпистемологизации» к «научности» и тем более – от «научности» к «формализации» [17. С. 720-721].

Помочь поиску путей решения этой грандиозной задачи могла бы и некоторая перезагрузка метрологии как области научного познания. Метрология должна переосмыслить свою миссию, которая во многом определяется осознанием фактора измеримости как всеобщего свойства мира. Отсюда проистекает грандиозность перспектив,

связанных с возможностью активной включенности во все аспекты жизнедеятельности человеческого социума. Необходимо продолжать и преумножать междисциплинарное взаимодействие, которое создает надежный фундамент метрологии в качестве метадисциплинарного направления науки и практики, что позволит достичь нового уровня понимания единства и целостности метрологического знания и в полной мере использовать его мировоззренческий и интеллектуальный потенциал для воспитания нового поколения ученых и специалистов, способных понимать целостность мира, открытых к размышлению и творческой деятельности, обладающих фундаментальностью профессиональной эрудиции и гибкостью навыков, обеспечивающих высокую степень адаптивности.

В практическом плане осуществление поиска подходов к решению столь грандиозных задач можно было бы начать путем подготовки проекта Нового Метрологического Словаря, работа над которым позволила бы с позиций современного уровня достижений науки, технологий, культуры и общественной жизни создать обширную панораму нынешнего состояния метрологической науки и практики, дать описание основных понятий современного метрологического знания, представить фундаментальные теоретические концепты метрологической науки, отразить перспективы метрологии как междисциплинарного явления, показать ее тесное взаимодействие с другими областями знания, как науками о природе, так и науками социальными и гуманитарными, выявить роль и место метрологии в развитии новых технологий, в том числе гуманитарных, представить материалы, позволяющие увидеть деятельность учреждений и центров, где ведется работа по дальнейшему развитию метрологической науки и технологий, познакомить с основными этапами возникновения, становления и развития метрологической науки, дать очерки идей и биографий людей, значимых для понимания истории и современного состояния метрологического знания.

Предлагаемый проект даст необходимый импульс к наполнению современным содержанием того пространства, которое обозначается понятием общая метрология, а также позволит систематизировать и увидеть пути взаимодействия многочисленных и нередко удаленных друг от друга ветвей метрологического древа. Включенность метрологии практически во все сферы жизнедеятельности человека и человеческого социума в целом ставит в повестку дня вопрос изучения и мониторинга ситуации не только с подготовкой специалистов в этой области, но и необходимости обеспечить метрологическую грамотность всего социума в целом. Из сказанного следует, что актуальным делом становится метрологическое просвещение, разработка программ и стандартов формирования метрологической грамотности, которая выступает важнейшим фактором обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

#### Библиографический список

1. Ананьев Б. Г. Человек как предмет познания. СПб.: Питер, 2018 – 288 с.
2. Большаков А. М. Вспомогательные исторические дисциплины: археология, архивоведение, география историческая, геральдика, дипломатика, метрология, нумизматика, палеография, сфрагистика, эпиграфика. Тверь: Тверское изд-во, 1922. – [2], II, 121 с. // <http://elib.shpl.ru/tu/nodes/36106>.
3. Бабенко Л. Г. Большой толковый словарь русских существительных Идеографическое описание. Синонимы. Антонимы. М.: АСТ-Пресс, 2008. – 864 с.
4. Большой энциклопедический словарь. 2-е изд., перераб., и доп. М.: Большая Российская энциклопедия; СПб.: Норинт, 2002. – 1456 с. // <https://rus-big-enc-dict.slovaronline.com>.
5. Даль В. И. Толковый словарь живого великорусского языка. Т.1-4. М.: Русский язык, 1978–1980. Т. 2. И-О. 1979. – 779 с.
6. Каменцева Е. И., Устюгов Н. В. Русская метрология. М.: Высшая школа, 1975. – 328 с. // <https://textarchive.ru/c-2129766-pall.html>.
7. Круглов А. Ю., Варустина Е. Л., Монахов В.М. Метрологическое знание как инструмент формирования универсальных познавательных компетенций // Метрологическое обеспечение инновационных технологий. IV Международный форум. СПб.: ГУАП, 2022. – С. 204–205.
8. Окрепилов В. В. Основы метрологии. СПб.: ГУАП, 2008. – 380 с.
9. Перемилина Т. О. Метрология, стандартизация и сертификация. Томск: ФДО, ТУСУР, 2016. – 150 с.
10. Петрушевский Ф.И. Общая метрология. СПб.: Типография Эдуарда и Праца и К°, 1849. Часть 1-2. – 825 с. // <https://reallib.org/reader?file=1504469&pg=4>
11. Российский гуманитарный энциклопедический словарь. В 3 Т. М.: Владос; СПб.: Филол. ф-т СПбГУ, 2002. Т. 2. 3-П. 2002. – 719 с.
12. Словарь иностранных слов. 17-е изд., испр. М.: Русский язык, 1988. – 608 с.
13. Словарь основных исторических понятий. Избранные статьи/ Под ред. Р.Козеллека. 2-е изд. В 2 т. М.: Новое литературное обозрение, 2016. Т. 1. 2016. – 728, [2] с.; Т. 2. 2016. – 752, [2].
14. Словарь русского языка. Изд. второе, испр., доп. В 4 Т. / Под ред. А. П. Евгеньевой. М.: Русский язык, 1981-1984. Т. 2. К-О. 1982. – 736 с.
15. Фасмер М. Этимологический словарь русского языка. Изд. третье, стер. В 4 т. СПб.: Terra-Азбука, 1996. Т. 2. Е-Муж. – 671 с.
16. Черепнин Л. В. Русская метрология. М.: Трансжелдориздат НКПС, 1944. – 94 с. // [https://vk.com/doc-42618421\\_530661877?hash=nzJDbCZuGUhYtUnqz2ZsaM2IJWwqzgeHJbgeZZ4xpg8](https://vk.com/doc-42618421_530661877?hash=nzJDbCZuGUhYtUnqz2ZsaM2IJWwqzgeHJbgeZZ4xpg8).
17. Энциклопедия эпистемологии и философии науки. М.: «Канон+», РООИ «Реабилитация», 2009. – 1248 с. // [https://platon.net/load/knigi\\_po\\_filosofii/slovari\\_ehnciklopedii/ehnciklopedija\\_ehpistemologii\\_i\\_filosofii\\_nauki\\_pod\\_red\\_i\\_t\\_kasavina/23-1-0-1177](https://platon.net/load/knigi_po_filosofii/slovari_ehnciklopedii/ehnciklopedija_ehpistemologii_i_filosofii_nauki_pod_red_i_t_kasavina/23-1-0-1177).

*Е. Ю. Ватаева\**

старший преподаватель

*Н. Л. Гречкин\**

старший преподаватель

*В. Ф. Шишлаков\**

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ИМПУЛЬСНЫХ САУ ПРИ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В работе рассматривается применение алгоритма синтеза параметров регулятора импульсных САУ при полиномиальной аппроксимации характеристик нелинейных элементов. Приводятся результаты синтеза.

**Ключевые слова:** импульсные системы, нелинейные системы автоматического управления, полиномиальная аппроксимация, обобщенный метод Галеркина.

*E. Yu. Vataeva\**

Senior Lecturer

*N. L. Grechkin\**

Senior Lecturer

*V. F. Shishlakov\**

Dr. Sci., Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ALGORITHM FOR SYNTHESIS OF IMPULSE ACS WITH POLYNOMIAL APPROXIMATION OF NONLINEAR CHARACTERISTICS

The paper discusses the use of an algorithm for synthesizing the parameters of an impulse automatic control system controller for polynomial approximation of the characteristics of nonlinear elements. The results of the synthesis are given.

**Keywords:** impulse systems, nonlinear automatic control systems, polynomial approximation, generalized Galerkin method.

В теории автоматического управления существует большое количество методов синтеза и анализа линейных систем. Однако, когда речь заходит о нелинейных системах автоматического управления (САУ), то в данной области не существует единых подходов к решению задачи синтеза систем, содержащих в своем составе нелинейные элементы. Поэтому задача разработки таких методов остается актуальной и на сегодняшний день [1,2]. В данной работе рассматривается практическое применение рекуррентных соотношений интегралов Галеркина при полиномиальной аппроксимации нелинейных характеристик, полученных в работе [3], которые позволяют свести все вычисления при минимизации целевой функции к выполнению простых алгебраических операций. Общая схема решения данным методом рассмотрена в [4]. Имеем нелинейную САУ с импульсным элементом (рис. 1).

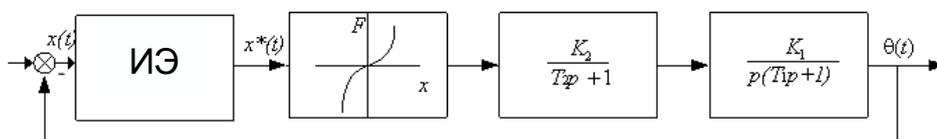


Рис. 1. Исследуемая нелинейная САУ, где  $K_1, T_1$  – неизменяемые параметры,  $K_2, T_2$  – варьируемые параметры регулятора, ИЭ – идеальный импульсный элемент

Требуется обеспечить в системе время переходного процесса не более 2 с, перегулирование не более 10%. В соответствии с общей схемой решения задачи синтеза, задаем желаемым программным движением вида

$$x^0(t) = 1.02e^{-3.5t} \cos(7.5t - 0.2)1(t)$$

Далее формируется невязка вида

$$\Psi = x^0(t)[p(T_1p+1)(T_2p+1)] + K_1K_2 \cdot F[x^{0*}(t)] - f(t)[p(T_1p+1)(T_2p+1)],$$

после получаем систему [4] из двух уравнений, которые позволяют определить искомые параметры  $K_2=0,15$ ,  $T_2=0,04$ с. График переходного процесса с синтезированными параметрами представлен на рис. 2.

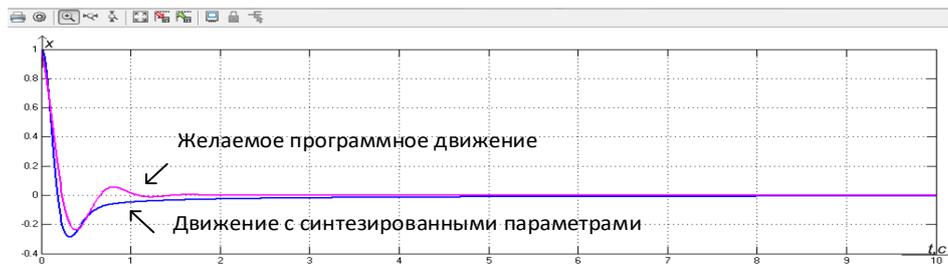


Рис. 2. Желаемое программное движение и движение с синтезированными параметрами

Таким образом, продемонстрирована работоспособность предложенного алгоритма для решения задачи параметрического синтеза САУ с импульсным элементом при полиномиальной аппроксимации нелинейных характеристик. Были получены параметры  $K_2= 0,15$ ,  $T_2= 0.04с.$ , которые обеспечивают заданный режим работы в динамическом режиме, исследуемой САУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

#### Библиографический список

1. Liu, Zhitao & Huang, Deqing & Xing, Yifan & Zhang, Chuanke & Wu, Zhengguang & Ji, Xiaofu. (2015). New Trends in Nonlinear Control Systems and Applications. Abstract and Applied Analysis. 2015. 1-2. 10.1155/2015/637632.
2. Iqbal, Jamshed & Ullah, Mukhtar & Khan, Said & Baizid, Khelifa & Ćuković, Saša. (2017). Nonlinear control systems – A brief overview of historical and recent advances. Nonlinear Engineering. 6. 10.1515/nleng-2016-0077.
3. Синтез нелинейных импульсных систем при полиномиальной аппроксимации / Е.Ю. Ватаева, В.Ф. Шишлаков, Н.В. Решетникова, Д.В. Шишлаков // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 9. С. 834—842.
4. Параметрический синтез операторов управления импульсных САУ при полиномиальной аппроксимации характеристик нелинейных элементов / Е.Ю. Ватаева, В.Ф. Шишлаков, Н.В. Решетникова, Д.В. Шишлаков // Датчики и системы. 2022. №5(264). – С. 12 – 18.

*И. А. Вельмисов\**

д.т.н., профессор

*М. Е. Невейкин\**

к. т. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВЫБОР ПОРЯДКА АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ МАКСИМИЗАЦИИ НИЖНЕЙ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ГРАНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕТЕРМИНАЦИИ

Рассмотрена задача выбора порядка модели авторегрессии. Установлено, что мерой наилучшего приближения к верхней границе точности, которая теоретически может быть достигнута при предсказании очередного «слоя» поля данных, служит максимум выражения для оценок коэффициента детерминации, а задача выбора оптимального порядка модели авторегрессии сводится к вариационной задаче отыскания этого максимума.

**Ключевые слова:** модель авторегрессии, случайные данные, временной ряд, коэффициент детерминации.

*I. A. Velmisov\**

Dr. Sc. Tech., Prof.

*M. E. Neveykin\**

PhD, Tech., Associate Professor

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## CHOOSING THE ORDER OF THE AUTOREGRESSIVE MODEL BY MAXIMIZING THE LOWER CONFIDENCE LIMIT OF THE DETERMINATION COEFFICIENT

The problem of choosing the order of the autoregression model is considered. It is established that the measure of the best approximation to the upper bound of accuracy, which theoretically can be achieved when predicting the next «layer» of the data field, is the maximum expression for estimating the coefficient of determination, and the problem of choosing the optimal order of the autoregression model is reduced to the variational problem of finding this maximum.

**Keywords:** adaptive antenna array, vector of weight coefficients, efficiency, noise interference

Во многих задачах, связанных с обработкой случайных данных, используется метод авторегрессионного (АР) анализа, важной проблемой практического применения которого является выбор порядка  $L$  АР-модели, в случае одномерного временного ряда имеющей вид

$$x_t = \sum_{l=1}^L \lambda_l x_{t-l} + \varepsilon_t,$$

где  $x_t$  – предсказанный отсчет сигнала;  $\lambda_l$  – коэффициент авторегрессии,  $\varepsilon_t$  – ошибка предсказания.

Сложность проблемы вычисления  $L_{\text{опт}}$  при ограниченном общем числе отсчетов  $N$ -предикторов временного ряда  $\{x_n(t)\}$  состоит в том, что малые значения  $L$  приводят к спектральной оценке с неудовлетворительной разрешающей способностью, тогда как для больших  $L$  помимо значительного возрастания объема вычислений возникают статистические неустойчивости в спектральной оценке процесса, представимой в виде конечного обратного тригонометрического ряда [1-4].

Таким образом, мерой наилучшего приближения к той верхней границе точности, которая теоретически может быть достигнута при предсказании очередного «слоя» поля данных (3), служит максимум выражения (15), а задача выбора оптимального порядка АР-модели сводится к вариационной задаче отыскания этого максимума. Исходными данными для работы алгоритма можно считать значения оценок коэффициента детерминации

$$\hat{R}_{xx}^2 = 1 - \frac{\det R}{|R|_{00}},$$

где  $R = NxQ$  - корреляционная матрица отраженного сигнала;  $|R|$  – матрица алгебраических дополнений элементов матрицы  $R$  в ее определителе.

После расчета  $\min\{R_{xx}^2\}$  для всех  $L$  выбирается  $\max\{\min\{R_{xx}^2\}\}$ , при этом считаем, что значение  $L$ , соответствующее этому максимуму есть  $L_{\text{опт}}$ .

### Библиографический список

1. Джейнс Э.Т. О логическом обосновании методов максимальной энтропии // ТИИЭР. Т.70. №9. 1982. С. 33–51.
2. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений / Пер. с англ. – М.: Наука, 1966.
3. Бриллинджер Д.Р. Временные ряды. Обработка данных и теория / Пер. с англ. – М.: Мир, 1980.
4. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Статистические выводы в связи / Пер. с англ. – М.: Наука, 1973.

*Н. Л. Гагулина\**

ведущий научный сотрудник

\*Институт проблем региональной экономики Российской академии наук

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ<sup>1</sup>

Экономика знаний предъявляет новые требования к компетенциям специалистов, которые приходят на производство. Исследование посвящено одному из средств удовлетворения запросов экономики знаний, важному инструменту в руках бизнес-аналитика – моделированию технологических процессов.

**Ключевые слова:** экономика знаний, технологии, процесс, моделирование, бизнес-аналитик.

*N. L. Gagulina\**

PhD in Physico-mathematical sciences /Associate Professor

Leading researcher

\*Institute for Regional Economic Studies Russian Academy of Sciences

## TRAINING OF SPECIALISTS FOR THE KNOWLEDGE ECONOMY: CREATING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

The knowledge economy imposes new requirements on the competencies of specialists who come to manufacturing. The research is devoted to one of the means of satisfying the demands of the knowledge economy, that is an important tool in the hands of a business analyst – creating of technological processes.

**Keywords:** knowledge economy, technology, process, business analyst.

**Введение.** Моделирование технологических процессов (далее – МТП) представляет собой область знаний и практики, которая занимается созданием и анализом моделей, описывающих различные аспекты технологических процессов в отраслях промышленности. Цель, на которую направлено МТП – понять и научиться прогнозировать поведение технологической системы, оптимизировать ее работу и принимать обоснованные решения на основе анализа результатов моделирования. В экономике знаний происходит ускоренная интенсификация производства на базе цифровизации, что требует новых знаний, умений и навыков у будущих специалистов [1]. МТП имеет большое практическое значение, так как является необходимой составляющей подготовки большинства технически ориентированных образовательных программ, а соответствующие навыки востребованы во многих отраслях, таких как производство, энергетика, химия, пищевая промышленность и другие [2]. Изучение МТП для нужд экономики знаний наиболее актуально в связи с тем, что моделирование помогает на основе применения информационных технологий оптимизировать процессы производства, улучшать качество продукции, снижать затраты и повышать эффективность работы технологической системы в целом [3].

**Основная часть.** В современном мире, где данные становятся все более объемными и сложными, МТП становится важным инструментом в руках бизнес-аналитика. С помощью моделирования технологических процессов для будущих специалистов решается пять основных типов задач:

1. Прогнозирование результатов технологических процессов: МТП позволяет создавать математические модели, которые могут прогнозировать результаты процессов на основе имеющихся данных. Это представляет практический интерес для бизнес-аналитики с точки зрения прогнозирования потребности в ресурсах, объемов производства, оценки времени выполнения проектов или предсказания эффективности новой технологии;

2. Оптимизация производственных процессов средствами цифровизации: на основе современного специализированного программного обеспечения МТП позволяет проводить различные эксперименты и сценарные анализы для оптимизации производственных процессов. Введение данных о различных вариантах настройки оборудования является отправной точкой для определения оптимальных параметров работающей системы и улучшить производительность;

3. Идентификация и устранение «узких мест»: использование моделей и запуск программ симуляции позволяет проводить анализ причин сбоев или дефектов в технологических процессах в виртуальной среде., оценивать и неэффективность и предлагать решения для устранения «узких мест»;

4. Анализ рисков: моделирование технологических процессов может быть использовано для анализа рисков и оценки влияния потенциальных изменений в технологических системах на бизнес-показатели. Для этого применимо проведение сценарных анализов, моделирование возможных сценариев, оценка вероятности влияния различных рисков на бизнес-результаты.

5. Принятие обоснованных решений: современные инструменты моделирования позволяют создавать сложные математические модели, учитывающие не только физические и технические аспекты процессов, но и

<sup>1</sup> Публикация подготовлена в соответствии с государственным заданием ФГБУН ИПРЭ РАН по теме «Разработка теоретико-методологической базы анализа, моделирования и прогноза качества жизни» № Г.Р. FMGS-2024-0003.

социальные, экономические и организационные факторы. Такие модели позволяют оценивать и анализировать влияние различных факторов на результаты процессов и принимать обоснованные решения на основе полученных данных.

В профессиональной сфере бизнес-аналитика МТП является неотъемлемой частью работы при описании и визуализации технологических систем, сетей, процессов, узлов и их составляющих. Особое значение имеет умение применять математические модели и алгоритмы для анализа поведения системы на основе имеющихся данных и управлять этими процессами для достижения желаемых результатов [4]. Так можно избежать неоправданных потерь и добиться коммерческого успеха гораздо быстрее, нежели применяя традиционные методы и средства. Сегодня есть целый ряд программных продуктов, которые позволяют проводить эксперименты с различными вариантами изменений в процессах без непосредственного воздействия на реальные системы. Так, сюда можно отнести Aspen Plus, COMSOL Multiphysics, MATLAB, Simulink, SolidWorks Simulation, Dymola и т.д. Применение подобных программных продуктов позволяет сократить время и ресурсы, необходимые для внедрения изменений, оценить их эффективность на ранних стадиях разработки.

И, конечно, МТП представляет собой инструмент для лучшего понимания и коммуникации с различными участниками бизнес-процессов. Использование приемов и методов, находящихся в арсенале МТП, помогает создавать единое информационное пространство, улучшает видение процессов и целей для всей команды. В целом, освоение и применение моделирования технологических процессов дает бизнес-аналитикам инструменты для более глубокого анализа, оптимизации и принятия обоснованных решений в контексте управления бизнесом.

Наряду с положительными эффектами, которые возникают как результат владения моделированием технологических процессов, необходимо отметить, что это не является универсальным решением для всех бизнес-задач. Успех применения методологии МТП определяется наличием достаточно точных данных о процессах, возможностями учета особенностей конкретного делового окружения. Кроме того, моделирование не может полностью заменить творческий подход и опыт бизнес-аналитика, но является мощным инструментом для поддержки принятия обоснованных решений.

**Выводы.** Проведен анализ проблем производства в экономике знаний, выявлены преимущества и недостатки моделирования технологических процессов в повышении качества подготовки будущих специалистов.

#### Библиографический список

1. Окрепилов В. В., Гагулина Н. Л. О роли стандартизации в поиске новых подходов к решению проблем экономики знаний // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. № 1. 2023. С. 40–46. DOI: 10.52897/2411-4588-2023-1-40-46.
2. Пашеева Т. Ю., Маханькова И. В. Научное обеспечение экономики как фактор устойчивого развития региона // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2023. № 3(74). С. 116–126. DOI: 10.52897/2411-4588-2023-3-116-126.
3. Аганбегян А. Г. О значимости современного моделирования в решении назревших экономических и социальных задач // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2023. № 2 (73). С. 4–7.
4. Окрепилов В. В., Горбашко Е. А., Калязина Е. Г. Обеспечение качества образования в вузе на основе применения Agile-практик // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития № 4 (71) 2022. С. 114 – 121. DOI: 10.52897/2411-4588-2022-4-114-121.

*Е. А. Гущина\***Л. А. Решетов\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**К ВОПРОСУ О НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОМ ПОПОЛНЕНИИ БАЗЫ ДАННЫХ**

Рассматривается процедура наиболее эффективного отбора вектора данных среди предлагаемых для включения в уже существующую базу. Эффективность понимается как наименьшее снижение качество классификации вектора при включении новых данных и при возможном воздействии случайных мешающих факторов.

**Ключевые слова:** пополнение базы данных, ошибки классификатора, окаймлённая матрица.

*E. A. Gushina**L. A. Reshetov*

PhD, Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**ON THE ISSUE ON THE MOST EFFECTIVE REPLENISHMENT OF THE DATABASE**

The procedure for the most effective selection of a data vector among those proposed for inclusion in an existing database is considered. Efficiency is understood as the least reduction in the quality in the vector classification when new data is included and under the possible influence of random interfering factors.

**Keywords:** database replenishment, classifier errors, bordered matrix

Большинство известных задач линейной регрессии использует метод наименьших квадратов (МНК) благодаря его простоте и хорошим качественным показателям. В последние годы МНК стали использовать для создания и пополнения баз данных различного назначения [1]. Одним из перспективных направлений применения МНК является организация библиотек композитных материалов. Поиск нужного вектора данных о свойствах композита и методы эффективного пополнения библиотеки составляют определённую математическую задачу и требуют её описания. В настоящей работе мы рассматриваем процедуру наиболее эффективного отбора вектора данных предлагаемых для включения в уже существующую базу данных. Эффективность понимается как наименьшее снижение качества классификации вектора при включении новых данных и возможном воздействии случайных мешающих факторов.

Для построения алгоритма распознавания по методу наименьших квадратов необходимо определить функцию ошибок в виде квадратичной формы [2] и найти её минимум

$$\min_x (y - Ax)^T(y - Ax) \quad (1)$$

Здесь  $A$  матрица размера  $m \times n$ ,  $m > n$  и столбцы матрицы  $A$  содержат числовые данные о свойствах композитов. Индикаторный вектор  $x$  имеет все нулевые элементы кроме одной единицы, положение которой указывает номер искомого вектора. Вектор  $y$  является вектором запрашиваемых данных вместе со случайной помехой измерения  $\varepsilon$ . Решение МНК задачи хорошо известно [2]

$$x = C^{-1}A^T y, \quad C = A^T A, \quad (1)$$

где  $A^T$  транспонированная матрица. Ковариационная матрица случайного вектора  $x$  равна  $C^{-1}$  и диагональные элементы этой матрицы определяют дисперсии оценки  $x$  и также дают представление о качестве опознавания входного вектора. Пусть матрица  $A$  пополнена ещё одним столбцом  $A_{n+1}$  с номером  $n+1$ . Определим степень влияния дополнительного информационного столбца матрицы  $A$  на величину диагональных элементов ковариационной матрицы  $C^{-1}$ . Представим матрицу  $C$  в блочной форме

$$C_{11} \quad C_{12}$$

$$C_{21} \quad C_{22}$$

где матрица  $C_{11} = A^T A$  соответствует исходной базе данных, а матрицы  $C_{12} = A^T A_{n+1}$ ,  $C_{21} = (C_{12})^T$ ,  $C_{22} = (A_{n+1})^T (A_{n+1})$  уже пополненному набору данных. Для вычисления матрицы  $C^{-1}$  используем формулу Фробениуса [3] обращения окаймлённой матрицы. Блочные элементы матрицы  $C^{-1}$  имеют вид:

$$\begin{matrix} (C_{11})^{-1} + (C_{11})^{-1} C_{12} B^{-1} C_{21} (C_{11})^{-1} & - (C_{11})^{-1} C_{12} B^{-1} \\ - B^{-1} C_{21} (C_{11})^{-1} & B^{-1} \end{matrix}$$

где матрица  $\mathbf{B}$  (в нашем случае число) равна  $\mathbf{B} = \mathbf{C}_{22} - \mathbf{C}_{21}(\mathbf{C}_{11})^{-1}\mathbf{C}_{12}$ . Для демонстрации возможностей полученного результата рассмотрим простой пример. Будем считать, что все столбцы матрицы  $\mathbf{A}$  и дополнительный столбец  $\mathbf{A}_{n+1}$  это нормированные векторы и их норма равна единице. Тогда элементами вектора  $\mathbf{C}_{12}$  и вектора  $\mathbf{C}_{21}$  будут косинусы углов между вектором  $\mathbf{A}_{n+1}$  и одним из столбцов исходной матрицы  $\mathbf{A}$ . При этом  $\mathbf{C}_{22} = 1$ . Чтобы получить ещё более прозрачный результат примем следующее допущение: столбцы матрицы  $\mathbf{A}$  полагаем ортонормированными и, следовательно, матрица  $\mathbf{C}_{11}$  будет единичной матрицей. Нетрудно заметить, что определяющую роль в дополнительном увеличении дисперсии шума классификатора в данном случае играет матрица:

$$\mathbf{B}^{-1} = [1 - \sum \cos^2 \Theta_{i,n+1}]^{-1}, \quad i = 1, n. \quad (3)$$

Углы  $\Theta_{i,n+1}$  регулируют степень угловой близости вектора  $\mathbf{A}_{n+1}$  и любого вектора из подпространства столбцов матрицы  $\mathbf{A}$ . Надо отметить, что сумма в формуле (2) не может быть больше единицы, но может находиться в её окрестности. Полученная нами формула (2) позволяет сделать следующие выводы об эффективности включения в состав базы данных одного из предлагаемых векторов:

- 1) Чем больше угол  $\Theta_{i,n+1}$ , тем меньше влияние дополнительного вектора на увеличение погрешностей классификатора;
- 2) Угловое расстояние  $\Theta_{i,n+1}$  следует проверять попарно, так как уменьшение угла  $\Theta_{i,n+1}$  хотя бы для одного вектора из существующей базы данных может привести к серьёзной потере качества классификатора;
- 3) Увеличение размера базы данных  $n$  обязательно повышает требования к величине углового расстояния между элементами этой базы.

#### Библиографический список

1. Николаенко С. А., Кадурич А. В., Архангельская Е. Г. Глубокое обучение нейронных сетей СПб: ПИТЕР, 2018, 478 с.
2. Галанина В. А., Решетов Л. А., Соколовская М. В. Скорость настройки градиентных алгоритмов распознавания изображений в системах машинного зрения // Сборник докладов Четвертой Всероссийской научной конференции «Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем» – СПб, 2023, с. 39–43
3. Воеводин В. В., Кузнецов Ю. А. Матрицы и вычисления. М.: Наука, 1984, 318 с.

*С. В. Дворников\**

д. т. н., профессор

*Д. В. Васильева\**

аспирант, старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НИВЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Представлены результаты разработки научно- методического аппарата формирования векторов признаков, в интересах автоматизации процедур обнаружения природных катастроф по результатам обработки кадров видео изображений.

**Ключевые слова:** формирование векторов признаков, обработка кадров видеоизображений, распознавание образов.

*S. V. Dvornikov\**

Doctor of Tech. Scien., Prof.

*D. V. Vasilyeva\**

graduate student, senior lecturer

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## LEVELING OF IMAGE PROCESSING RESULTS IN MEASURING SYSTEMS

The results of the development of a scientific and methodological apparatus for the formation of feature vectors are presented, in the interests of automating procedures for detecting natural catastrophs based on the results of processing video image frames.

**Keywords:** feature vector generation, video image frame processing, pattern recognition.

Одна из насущных проблем мониторинга окружающей среды заключается в выявлении с экологическими нарушениями [1], вызванными последствиям техногенных катастроф, в частности, нефтяными разливами в акватории морей и океанов.

Контроль больших территорий, приводит к обоснованному использованию беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [2], ведущих аэрофотосъемку подстилающей поверхности.

В рамках решения указанной проблематики авторами разработан подход, основанный на элементах теории распознавания образов. Преимущество такого подхода основано на минимизации процедур обучения [3], используемых в измерительных системах.

В [4], данный подход реализован на различиях контраста векторов признаков текущего и эталонного изображения. Так, в [5], для формирования векторов признаков используются упорядоченные гистограммы яркости изображений. Такое декоррелирующее преобразование позволяет акцентироваться на тех позициях гистограммы, битовые значения которых определяют внесение в изображение изменение, вызванное тем или иным техногенным бедствием.

Проведенные исследования показали, что высокая контрастность формируемых векторов признаков делает измерительные системы чувствительными к изменению окружающего фона, что ведет к повышению вероятности ложных тревог. На рис. 1–3 показаны три изображения акватории моря, полученные утром днем и вечером.

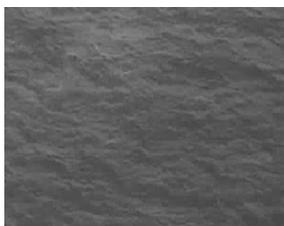


Рис. 1. Акватория моря утром



Рис. 2. Акватория моря днем



Рис. 3. Акватория моря вечером

В подтверждении гипотезы был проведен эксперимент по обработки 300 различных изображений местности, получаемых в различное время суток. Затем для каждого изображения формировались векторы, которые нивелировались путем их смещения в нулевое значение, после чего вычислялся их модуль разности. Наибольшие различия не превысили 6%, что позволило сделать вывод о состоятельности решения.

### Библиографический список

1. Васильева Д. В., Дворников С. В., Дворников С. С., и др. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 30–40.

2. Васильева Д. В., Дворников С. В., и др. Обнаружение морских дронов в оптическом диапазоне // Морской вестник (Morskoy Vestnik) – декабрь 2023. – №4 (88). – С. 90-92.
3. Vasilyeva D. V., Dvornikov S. V., Yakushenko S. Al., Dvornikov S. S. Automation of detection procedures based on the results of processing images from video surveillance systems. Сборник тезисов докладов III Международного форума «Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве». 08.11.2023 г. Ч. 1. ГУАП. 2023.
4. Васильева Д. В., Дворников С. В., Дворников С.С. Обоснование технических требований к РЛС обнаружения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2023. – № 4. – С. 97–104. – EDN NZSBEJ.
5. Васильева Д. В., Дворников С. В., Дворников С.С. и др. Формирование векторов признаков для систем видеонаблюдения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2023. – № 4. – С. 62–68. – EDN NZSBEJ.

*А. Ф. Денисенко\**

д.т.н., профессор,

*Р. В. Ладыгин\**

старший преподаватель,

*М. В. Якимов\**

к.т.н. доцент

\*Самарский государственный технический университет

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Показан этап сбора экспериментальных данных для обучения нейронной сети. Создана сеть на основе многослойного персептрона, оценивающая работу шпиндельного узла.

**Ключевые слова:** пирометр, индикаторная головка, нейросеть, ошибка, персептрон, эксплуатация.

*A. F. Denisenko\**

full professor,

*R. V. Ladyagin\**

lecturer,

*M. V. Yakimov\**

Ph.D. Tech., Associated Prof

\*Samara State Technical University

## OBTAINING EXPERIMENTAL DATA FOR NEURAL NETWORK ASSESSMENT OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE SPINDLE ASSEMBLY

The stage of collecting experimental data for training a neural network is shown. A network based on a multilayer perceptron has been created that evaluates the operation of the spindle assembly.

**Keywords:** pyrometer, detecting head, neural network, error, perceptron, operation.

В работе показано применение нейронной сети для оценки ШУ при эксплуатации.

Обучающими данными для нейросети служили результаты эксперимента в ходе которого изучалось взаимное влияние входных факторов – частоты вращения, времени работы станка и нагрузки на переднюю опору на выходные переменные: температуру измеряемую при помощи пирометра с термопарой К-типа установленной в отверстие глубиной 10 мм на расстоянии 20мм от наружного кольца подшипника; биение опоры ШУ измеряемое, как среднее значение 3-х проворотов шпинделя вручную; смещение передней опоры ШУ, измеряемое в фиксированной точке на шпинделе, при воздействии приложенной силы. Биение и смещение опоры ШУ измерялось индикаторными головками с ценой деления 1мкм. Сила воздействия на переднюю опору ШУ задавалась устройством ТЖ1000, через оправку установленную в шпинделе.

Температура наружного кольца подшипника принимала значения вплоть до 60°C при 150мин работы на максимальной частоте в 1800об/мин. Значения биения до включения станка в работу составили 5,7 мкм, после времени работы, когда температура превышала 35-40°C, значения по биению составили 8,16 мкм. Увеличение показателя биения обусловлено нагревом колец и тел качения подшипников. Значения смещения передней опоры ШУ были пропорциональны приложенной силы и колебались от 2мкм при 500Н, до 21мкм при 4000Н, независимо от температуры.

Данные, полученные в ходе проведения эксперимента, были записаны в файл математического пакета Statistica, в котором и проводилось дальнейшее построение и анализ нейросети.

Как показал анализ построенных сетей, критериям наилучшей [1] отвечает сеть со структурой многослойного персептрона [2] MLP 3-7-3, у которой число нейронов на входном и выходном слоях соответствует числу переменных и 7 нейронов на скрытом слое. Данная сеть имеет минимальные ошибки на обучающем (0,6642), тестовом (0,9893) и контрольном множествах (1,3191).

Построенная нейросеть хорошо прогнозирует результат для выходных переменных, относительная ошибка на контрольном примере составляет: 1,7% для переменной  $T$  – температуры; 6,3% для  $delta$  – биения ШУ; и для переменной  $E$  – смещения опоры ШУ ошибка не превышает 9.8%. Столь малые ошибки говорят о качественно построенной структуре сети, позволяющей оценивать эксплуатационные характеристики ШУ.

### Библиографический список

1. Нейронные сети. Statistica Neural Networks: Методология и технология современного анализа данных / Под редакцией В.П. Боровикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392., ил.
2. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.-1104с.: ил.

*М. Ю. Егоров\**

кандидат технических наук, доцент

*Д. С. Завойкин\*\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

\*\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТРОЛОГИИ

Рассмотрена цифровизация метрологии, принципы машинного обучения, топология и алгоритмы построения нейронных сетей, оценка их точности и стабильности измерений. Приведены примеры практического машинного обучения для детектирования фазы в рефлектометре и оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений.

**Ключевые слова:** машинное обучение, искусственный интеллект, нейронная сеть, методы машинного обучения.

*M. Yu. Egorov\**

Ph.D., Associate Professor

*D. S. Zavoikin\*\**

student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation, St. Petersburg state forest technical University, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

\*\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## USING MACHINE LEARNING TO IMPROVE THE STABILITY AND ACCURACY OF MEASUREMENTS IN METROLOGY

The issues of digitalization of metrology, the principles of machine learning, topology and algorithms for building neural networks, in particular, the assessment of their accuracy and stability of measurements, are considered. Examples of practical application of machine learning for phase detection in a reflectometer and evaluation of material properties based on the results of indirect measurements are given.

**Keywords:** machine learning, artificial intelligence, neural network, machine learning methods.

**Введение.** Современная метрология проходит через процесс цифровизации, что определяется использованием цифровых технологий и совершенствованием существующих методов измерений и обработки результатов. Одним из элементов данной цифровой трансформации [1] является использование машинного обучения для улучшения точности получаемых измерений. Дальнейшая роль метрологического обеспечения в развитии индустрии четвертого поколения очевидна. С развитием технологии в ответственных отраслях промышленности решается проблема нормативно-технического обеспечения: создание единой терминологии, строгих стандартов производства и метрологического обеспечения.

**Целью работы** является рассмотрение принципов машинного обучения в реализации методов переработки данных, а также оценка повышения точности и стабильности измерений при использовании машинного обучения.

**Методы машинного обучения и оценка качества моделей.** К основным методам машинного обучения относятся регрессия, классификация и кластеризация. В зависимости от поставленной задачи происходит выбор необходимого метода. Методы регрессии относятся к категории контролируемого машинного обучения [2]. Они помогают предсказать или объяснить конкретное числовое значение на основе набора предшествующих данных. Методы классификации также относятся к категории контролируемого машинного обучения, но они предсказывают или определяют принадлежность к классу. Методами кластеризации обучение происходит без предварительной информации о процессе, данный метод группирует наблюдения со схожими характеристиками.

Для оценки наиболее часто используемого метода регрессии применяют метрики: средняя квадратичная ошибка  $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a(x_i) - y_i)^2$ ; средняя абсолютная ошибка  $MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a(x_i) - y_i|$ ; коэффициент детерминации (нормированная среднеквадратическая ошибка)  $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (a(x_i) - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ ; средняя абсолютная процентная

ошибка  $MAPE = 100\% \cdot \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n |a(x_i) - y_i|}{\sum_{i=1}^n |y_i|}$ ; корень из средней квадратичной ошибки  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ .

На основании данных метрик возможно оценивание применения выбранной модели машинного обучения и нейронной сети взамен иных алгоритмов.

**Структура искусственных нейронных сетей и решение метрологических задач.** Искусственная нейронная сеть (ИНС) – созданная вычислительная среда, основа которой – искусственные нейроны, связанные в соответствии с принятой топологией сети. Такие связи характеризуются весом, определяющим степень взаимодействия между нейронами.

Для корректной работы ИНС в её цикле необходим этап обучения, при прохождении которого коэффициенты связей принимают оптимальное значение. В общем случае метрологических задач основополагающий процессом – измерение, которое можно представить в виде  $Y = f(X_1, \dots, X_N)$ . Для модели советуемой данной формуле существует способ измерения  $Y$  по данным  $X_1, \dots, X_N$ . В общем случае измеряемых величин несколько, а также возможно возникновение сложных задач, где функция измерения недостаточно формализована. Появляется необходимость в технологии ИНС, позволяющей построить функцию измерения на основе хранящейся во входных величинах информации.

Для оценки трещиностойкости по косвенным измерениям выбрано несколько моделей машинного обучения: полносвязная нейронная сеть, см. рис., случайный лес и обобщённое повышение градиента. Наилучшую точность оценки свойств по косвенным измерениям показал алгоритм обобщённого повышения градиента. Алгоритм на основе ИНС показал значительно меньшую точность, однако, при большом количестве данных метод обладает большей точностью, чем методы неглубокого обучения.

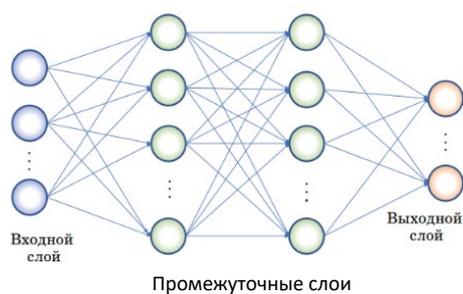


Рис. Полносвязная нейронная сеть

**Обсуждение результатов.** В рассмотренных примерах машинное обучение позволило значительно увеличить точность и стабильность получаемых измерений. Неглубокие методы обучения показали эффективность в решении узконаправленных задач, полносвязные нейронные сети оптимальны при увеличении этапа обучения. Широкий выбор различных методов машинного обучения обеспечивает практичный подход к решению метрологических задач с достаточной точностью и стабильностью.

**Вывод.** Анализ существующих разработанных систем искусственного интеллекта показал необходимость в полноте и качестве нормативно-технических документов для установления эффективности реализации машинного обучения.

#### Библиографический список

1. Кузин А. Ю., Крошкин А. Н. Искусственный интеллект как один из элементов цифровой трансформации в метрологии // Инновационное приборостроение. 2022. Т. 1, № 1. С. 27–35.
2. Будкин Ю. В., Сергеев И. В., Карамов Р. И. Применение методов машинного обучения для повышения точности оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений // Информационные системы и процессы. 2023. № 3–4 (73). С. 27–32.

*М. В. Загураева\**

Ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ РАБОТ СТУДЕНТОВ

В работе описаны современные методы и методики, позволяющие применить метрологический подход к процессу автоматизированной проверки студенческих работ на соответствие предъявляемым к ним требованиям.

**Ключевые слова:** эталон, выпускная квалификационная работа, критерий соответствия.

*M. V. Zaguraeva\**

Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## CREATION OF REFERENCE VALUES OF PARAMETERS FOR AUTOMATED CHECKING OF STUDENT WORKS

The paper describes modern methods and techniques that make it possible to apply a metrological approach to the process of automated checking of student works for compliance with the requirements imposed on them.

**Keywords:** standard, final qualifying work, compliance criterion.

Процесс проверки выпускной квалификационной работы (ВКР) студента на соответствие многочисленным требованиям, предъявляемым к данному типу работ, является чрезвычайно длительным и трудоемким. Поэтому крайне велик соблазн автоматизировать подобную тяжелую рутинную работу с помощью современных компьютерных средств, в частности, с помощью применения систем искусственного интеллекта. Однако на пути такой автоматизации встречается ряд проблем.

Рукопись выпускной квалификационной работы представляет собой совокупность разнородных слабоструктурированных данных. Это может представлять определенную сложность при формировании сценариев проверки. Поэтому, при анализе конкретной ВКР все входные параметры должны быть приведены к стандартному виду [1].

На начальном этапе необходимо проанализировать требования, выполнение которых подлежит проверке и оценке [2]. Перечень заявленных требований приведен в таблице 1.

Таблица 1

Таблица требований

№	Код	Наименование	Описание
1	T <sub>1</sub>	Название файла	Файл, содержащий работу, должен быть назван в соответствии с заданным форматом.
2	T <sub>2</sub>	Объем	Количество страниц документа входит в заданный интервал с фиксированной нижней и гибкой верхней границами.
3	T <sub>3</sub>	Форма бланков	Форма бланков титульного листа индивидуального задания соответствует утвержденному шаблону.
4	T <sub>4</sub>	Тема/руководитель	Название темы и руководитель соответствуют приказу о назначении тем и руководителей.
5	T <sub>5</sub>	Структура	Структура ВКР бакалавра: наличие обязательных разделов в установленном порядке.
6	T <sub>6</sub>	Антиплагиат	Уровень оригинальности текста не ниже установленного порогового значения.
7	T <sub>7</sub>	Тематика	Соответствие содержания работы тематике направления.

Основываясь на проведенном выше перечне требований, был сформирован комплекс критериев. Критерии могут быть классифицированы по разным признакам:

1. По принадлежности:

- критерии оценки оформления;
- критерии оценки содержания.

2. По важности (степени влияния):

– блокирующие – невыполнение условий хотя бы одного критерия из этой группы, означает блокировку процесса анализа на любом этапе анализа и признание данной ВКР не прошедшей проверку на соответствие;

– умеренные – невыполнение условий критерия из данной группы свидетельствует об определенных ошибках, требующих существенной коррекции;

– допустимые – невыполнение условий критерия из данной группы также свидетельствует об определенных ошибках, устранение которых не требует особых усилий.

Степень влияния определяется на основании экспертных оценок и локальных нормативных актов университета, перечисленных ранее.

3. По значению:

– соответствие единственному точному значению

– интервальные – соответствие интервалу допустимых граничных значений.

Выбор критериев для автоматизированного оценивания был основан на экспертном мнении членов и секретарей государственной аттестационной комиссии. Полный список критериев с указанием эталонных и допустимых значений сведен в таблицу 2.

Таблица 2

**Комплекс критериев оценки**

№	Код (греб)	Код (крит)	Описание	Степень влияния	Принадлежность	Формат значения результата проверки	Диапазон допустимых значений
1	T <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	Соответствие шаблону названия файла	допустимая	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
2	T <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	Количество страниц	умеренная	содержание	Число (натур.)	[40, 41,..110]
3	T <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>	Соответствие бланка титульного листа шаблону	умеренная	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
4		K <sub>4</sub>	Соответствие бланка индивидуального задания шаблону	умеренная	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
5	T <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	Соответствие ФИО руководителя, указанным на титульном листе, приказу	блок	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
6		K <sub>6</sub>	Соответствие темы, указанной на титульном листе, приказу	блок	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
7		K <sub>7</sub>	Соответствие ФИО руководителя, указанным на титульном листе, приказу	блок	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
8		K <sub>8</sub>	Соответствие № группы, на титульном листе, приказу	умеренная	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
9		K <sub>9</sub>	Соответствие формы обучения, на титульном листе, приказу	умеренная	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
10		K <sub>10</sub>	Соответствие номера приказа о назначении тем на листе задания, приказу	умеренная	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
11		K <sub>11</sub>	Соответствие даты приказа о назначении тем на листе задания, приказу	умеренная	оформление	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
12	T <sub>5</sub>	K <sub>12</sub>	Наличие содержания	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
13		K <sub>13</sub>	Наличие введения	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
14		K <sub>14</sub>	Наличие заключения	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
15		K <sub>15</sub>	Наличие введения	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
16	T <sub>6</sub>	K <sub>16</sub>	Уровень оригинальности текста рукописи	блок	содержание	Число (рационал.)	[70,..100]
17	T <sub>7</sub>	K <sub>17</sub>	Проверка совпадения тематики по ключевым словам	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА

18	К <sub>18</sub>	Проверка по концептам, на основе экспертной оценки	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА
19	К <sub>19</sub>	Проверка по библиографическому списку	умеренная	содержание	ИСТИНА / ЛОЖЬ	ИСТИНА

Современный уровень развития информационных систем, в том числе, систем искусственного интеллекта [3], позволяет лишь отчасти заменить проверку на автоматизированную, но с их помощью можно сократить рутинную работу секретаря государственной аттестационной комиссии. Для грамотной работы систем автоматизированной оценки чрезвычайно важно грамотно сформулировать перечни эталонных и допустимых значений анализируемых параметров (критериев оценки). В связи со сказанным выше, результаты представленной работы могут быть использованы для оптимизации учебного процесса в его финальной стадии – защите выпускных квалификационных работ [4].

#### Библиографический список

1. Загураева М. В., Турнецкая Е. Л. Прикладная информатика: выпускная квалификационная работа бакалавра. СПб.: ГУАП, 2023. 48 с.
2. Приложение. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. Уровень высшего образования. Бакалавриат. Направление подготовки “09.03.03 Прикладная информатика” | ГАРАНТ [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70929524/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (Дата обращения: 21.01.2024)
3. Яковлев А. В. Современные направления развития прикладной информатики. СПб.: ГУАП, 2021. 87 с.
4. Загураева М. В., Татарникова Т. М. Применение методов искусственного интеллекта для экспертной оценки соответствия выпускной квалификационной работы бакалавра установленным требованиям и профессиональным компетенциям // Сборник докладов Третьей Международной научной конференции Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 23. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. с. 33–36.

А. Ю. Зилинберг\*

к. т. н., доцент,

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТОЧНОГО ЭНКОДЕРА

Рассматривается метод реализации и алгоритмы функционирования высокоточного энкодера прямого считывания [1, 2]. Принцип работы энкодера, обеспечивающий высокую точность кодирования угла (2 миллиона дискрет «на круг»), основан на использовании внутренней пиксельной структуры ПЗС-матрицы оптического датчика.

**Ключевые слова:** энкодер прямого считывания, оптический датчик, ПЗС-матрица.

A. Yu. Zilinberg\*

Ph. D. Tech., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## HIGH-PRECISION ENCODER IMPLEMENTATION VARIANTS

The implementation method and algorithms for the operation of a high-precision direct reading encoder are considered. The principle of operation of the encoder, which provides high accuracy of angle encoding (2 million discretely "per circle"), is based on the use of the internal pixel structure of the CCD matrix of the optical sensor.

**Keywords:** direct reading encoder, optical sensor, CCD array.

Для многих технических задач в настоящее время требуются высокоточные энкодеры прямого считывания, реализующие алгоритмы кодирования угла поворота кодового диска (рисунок 1, 2). В частности, в процессе разработки рассматривались два альтернативных подхода к их построению:

- кодирование угла поворота диска с записью угла непосредственно в кодовую штриховую дорожку,
- штриховая разметка углов поворота диска с маркировкой углового положения штрихов.

При анализе функционирования и точности алгоритма кодирования использовалось моделирование всех разработанных частных алгоритмов обработки ТВ-изображения с выхода ПЗС-матрицы (рис. 3–5):

**1. Компонентная имитация ТВ-изображения** с матрицы оптического датчика.

1.1. Задание кодовой случайной последовательности.

1.2. Формирование структуры реального изображения  $\{u(i, j)\}$ , в том числе: а) имитация шума ПЗС-матрицы, б) имитация пыли на торце диска (рисунок 4), в) модификация ТВ-изображения при наличии угла скручивания.

**2. Моделирование алгоритмов считывания изображения** кодовой дорожки ПЗС-матрицей оптического датчика для разных параметров компонент кодовой дорожки (рисунок 5).

**3. Проводится моделирование алгоритмов обработки сигналов** с выхода оптического датчика (рис. 4, 5).

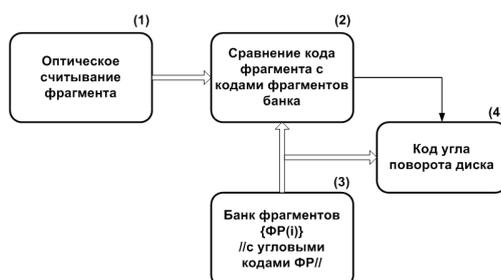


Рис. 1. Основные операции при оценке угла поворота кодового диска

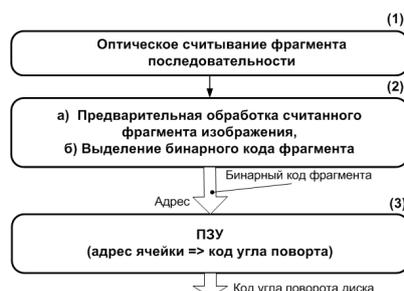


Рис. 2. Определение угла поворота кодового диска

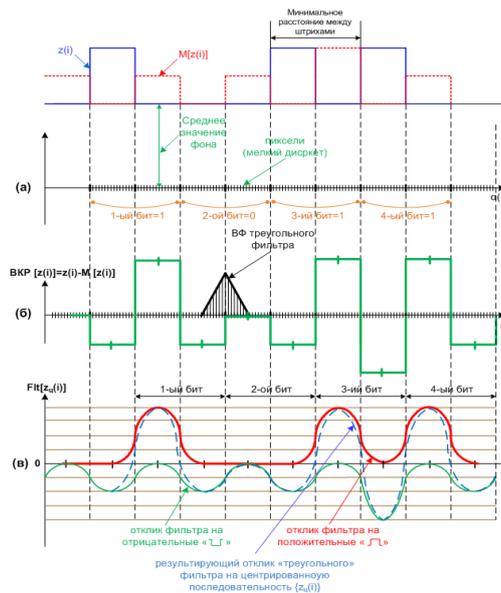


Рис. 3. Этапы обработки изображения торца диска. Эпюры на выходе частных алгоритмов обработки штрихов

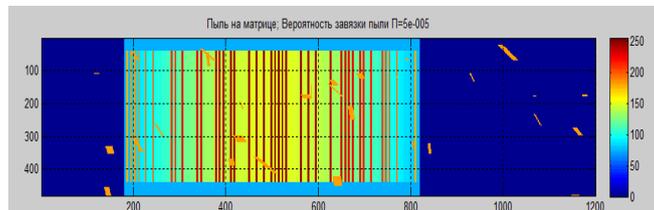


Рис. 4. Вероятность пылинок в пикселе –  $5 \cdot 10^{-5}$

Яркость пылинок – 180 ЕМР ПЗС-матрицы.

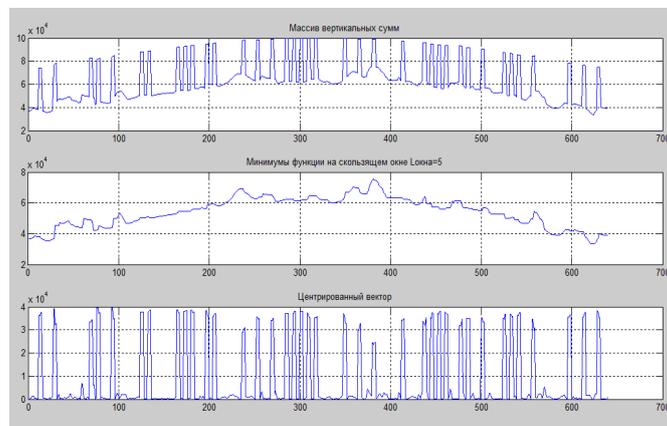


Рис. 5. Считанные и обработанные сигналы кодовой дорожки

Результаты моделирования показали, что предложенные варианты алгоритма реализации энкодера позволяют получить точность кодирования угла  $2^{21}$  дискрет на круг при диаметре кодового диска 80 мм.

### Библиографический список

1. Кнорринг В. Г. Цифровые измерительные устройства. Учебное пособие. СПб: СПбГПУ, 2003.
2. Клаассен К. Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике, М.: Постмаркет, 2000.

*О. А. Кононов\**

канд. техн. наук, доцент

*О. А. Шевантаева\**

Студент

*Е. П. Барышева\**

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕТРОЛОГИИ

В данной статье рассмотрено влияние искусственного интеллекта на метрологию. Также описаны несколько способов использования искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, метрология, алгоритм, машины.

*О. А. Кононов\**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*О. А. Shevantaeva\**

Student

*Е. П. Barysheva\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN METROLOGY

This article examines the impact of artificial intelligence on metrology. Several ways of using artificial intelligence are also described.

**Keywords:** artificial intelligence, methodology, algorithm, machines.

Развитие цифровых технологий, больших данных, искусственного интеллекта (ИИ) и машиночитаемой информации приводит к быстрым социальным изменениям. Метрология, необходимая для международной торговли и обеспечения точности измерений, сталкивается как с проблемами, так и с возможностями в рамках этой цифровой трансформации [1].

Метрология – наука об измерениях и их точности с широкими применениями в различных отраслях промышленности. Традиционные методы метрологии тратят много времени и склонны к человеческим ошибкам.

ИИ, сокращение от «искусственный интеллект», включает в себя машины, которые запрограммированы думать и учиться, как люди, имитируя человеческий интеллект. ИИ можно использовать для разработки интеллектуальных алгоритмов, которые уменьшают погрешности измерений, выявляют ошибки измерений и оптимизируют системы измерения. Алгоритмы машинного обучения могут изучать закономерности на основе больших наборов данных, что позволяет проводить более эффективные и точные измерения. Алгоритмы глубокого обучения могут использовать нейронные сети для извлечения значимых характеристик из сложных данных измерений, что позволяет лучше выявлять аномалии или выбросы измерений [2].

Искусственный интеллект можно использовать в метрологии несколькими способами:

1. Автоматический контроль. Алгоритмы искусственного интеллекта могут анализировать изображения или данные датчиков для автоматической проверки и обнаружения дефектов или отклонений в изготовленных деталях, что снижает необходимость ручного контроля.

2. Прогнозируемое обслуживание. ИИ может отслеживать и анализировать данные датчиков метрологического оборудования, чтобы прогнозировать и предотвращать сбои оборудования, обеспечивая упреждающее обслуживание и сводя к минимуму время простоя.

3. Анализ данных. Алгоритмы искусственного интеллекта могут анализировать большие объемы метрологических данных для выявления закономерностей, тенденций и корреляций, помогая оптимизировать процессы и повысить качество.

4. Оптимизация калибровки. ИИ может оптимизировать графики калибровки метрологического оборудования на основе моделей использования и данных о производительности, обеспечивая точность и сокращая ненужные циклы калибровки.

5. Оценка неопределенности измерений. Методы искусственного интеллекта могут помочь оценить неопределенность измерений, учитывая различные влияющие факторы, что способствует более точным и надежным метрологическим измерениям.

6. Интеллектуальные датчики. Искусственный интеллект можно использовать для разработки интеллектуальных датчиков, которые смогут автономно регулировать параметры измерений, адаптироваться к изменяющимся условиям и выполнять самокалибровку, повышая точность и эффективность измерений.

7. Объединение данных. ИИ может интегрировать данные из нескольких метрологических источников, таких как координатно-измерительные машины (КИМ) и оптические сканеры, чтобы обеспечить более полное и точное понимание измеряемых объектов.

8. Мониторинг в реальном времени. Алгоритмы искусственного интеллекта могут непрерывно отслеживать метрологические процессы и предоставлять оповещения или обратную связь в режиме реального времени, обеспечивая соответствие стандартам и спецификациям измерений.

9. Машинное обучение для моделей измерения. Методы искусственного интеллекта, такие как машинное обучение, могут использоваться для разработки точных моделей измерений на основе исторических данных, что позволяет проводить точные измерения без обширной калибровки.

10. Виртуальная метрология. ИИ может моделировать и прогнозировать результаты метрологии с использованием моделей цифровых двойников, что позволяет проводить виртуальные измерения и в некоторых случаях снижает потребность в физическом метрологическом оборудовании.

Интеграция искусственного интеллекта с метрологией может совершить революцию в методах измерений, способствуя повышению точности, эффективности и надежности. Однако для обеспечения надежности и надежности метрологических систем с поддержкой ИИ необходимо решить такие проблемы, как качество данных, интерпретируемость и проверка моделей ИИ [3].

### **Библиографический список**

1. Стандартизация искусственного интеллекта: перспективы развития. URL: <https://cipr.ru/news/standartizaciya-iskusstvennogo-intellekta-perspektivy-razvitiya/> (дата обращения: 17.01.2024).

2. Artificial Intelligence and Machine Learning in Semiconductor Manufacturing: Inspection and Metrology. URL: <https://www.semiconductor-digest.com/artificial-intelligence-and-machine-learning-in-semiconductor-manufacturing-inspection-and-metrology/> (дата обращения: 17.01.2024).

3. A novel approach to using artificial intelligence in coordinate metrology including nano scale. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224123006152> (дата обращения: 17.01.2024).

А. В. Копыльцов\*

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ПОРОЖДАЕМОГО ЗАРЯДАМИ НА МЕМБРАНЕ ЭРИТРОЦИТА

Построена математическая модель и проведены расчеты напряженности магнитного поля ( $H$ ), порождаемого зарядами на мембранах эритроцитов, движущихся по узким капиллярам. Расчеты проведены для одиночного эритроцита в капилляре, последовательности эритроцитов в капилляре при разных значениях гематокрита и в плоских параллельных капиллярных сетях. Получены зависимости максимального и минимального значений  $H$  от плотности капиллярной сети.

**Ключевые слова:** математическая модель, магнитное поле, заряд эритроцита, мембрана эритроцита, узкий капилляр.

A. V. Kopyltsov\*

Dr. Sc. Tech., Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## MATHEMATICAL MODELING OF THE MAGNETIC FIELD GENERATED BY CHARGES ON THE ERYTHROCYTE MEMBRANE

A mathematical model was constructed and calculations were made of the magnetic field strength ( $H$ ) generated by charges on the membranes of red blood cells moving along narrow capillaries. Calculations were carried out for a single erythrocyte in a capillary, a sequence of erythrocytes in a capillary at different hematocrit values and in flat parallel capillary networks. The dependences of the maximum and minimum values of  $H$  on the density of the capillary network were obtained.

**Keywords:** mathematical model, magnetic field, erythrocyte charge, erythrocyte membrane, narrow capillary.

При движении эритроцитов по узким капиллярам они перекатываются подобно гусенице трактора со скоростью достигающей 50 оборотов в секунду [1]. Заряды, расположенные на мембране эритроцита, порождают магнитное поле, напряженность которого зависит от скорости эритроцита, его объема и площади поверхности, частоты вращения мембраны эритроцита, заряда мембраны эритроцита, количества дискретных зарядов на мембране эритроцита и других микродинамических параметров [2].

При расчетах в качестве модели эритроцита использовался усеченный круговой цилиндр с образующими:  $L_{max}$  (максимальная) и  $L_{min}$  (минимальная). Радиус ( $r$ ), объем ( $V_{RBC}$ ) и площадь мембраны ( $S_{RBC}$ ) эритроцита,  $L_{max}$  и  $L_{min}$  в узком капилляре связаны соотношениями:

$$V_{RBC} = \pi r^2 L_{min} + \pi r^2 (L_{max} - L_{min}) / 2,$$

$$S_{RBC} = \pi r^2 + 2\pi r L_{min} + \pi r (L_{max} - L_{min}) + \pi r (\sqrt{4r^2 + (L_{max} - L_{min})^2}) / 2,$$

$$L_{min} = V_{RBC} / (\pi r^2) - 2((S_{RBC} - \pi r^2 - 2V_{RBC} / r) / (\pi r) - 4r^2)^2,$$

$$L_{max} = V_{RBC} / (\pi r^2) + 2((S_{RBC} - \pi r^2 - 2V_{RBC} / r) / (\pi r) - 4r^2)^2.$$

Напряженность магнитного поля  $H$ , порождаемого зарядом  $Q$ , движущимся со скоростью  $VEL$  на расстоянии  $R$ , равна

$$H = \frac{Q VEL \sin \alpha}{4\pi R^2},$$

где  $\sin \alpha$  – синус угла между  $VEL$  и  $R$  (закон Био-Савара-Лапласа).

Предполагается, что дискретные заряды на мембране эритроцита движутся вместе с мембраной в плоскостях параллельных плоскости симметрии эритроцита и итоговая напряженность определяется как векторная сумма напряженностей, порождаемых отдельными зарядами.

Расчеты проводились при входных параметрах (Таблица 1) и в результате расчетов были получены выходные параметры (таблица 2).

## Входные параметры модели

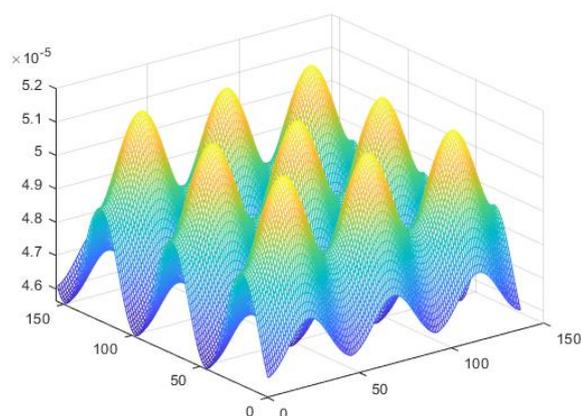
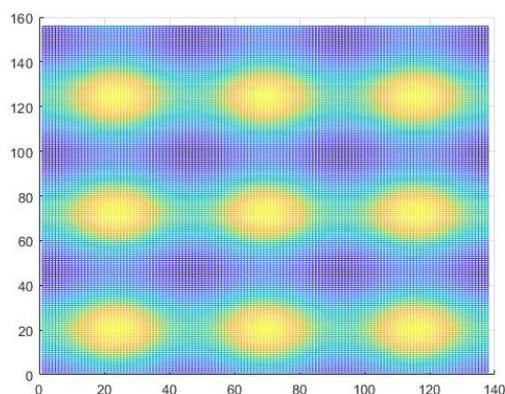
Параметры (интервалы изменения параметров)	Величины параметров, используемых при расчетах
Объем эритроцита (80 - 110 мкм <sup>3</sup> )	94 мкм <sup>3</sup>
Диаметр эритроцита в капилляре (3 – 6 мкм)	4 мкм
Площадь поверхности эритроцита (120 – 150 мкм <sup>2</sup> )	135 мкм <sup>2</sup>
Скорость эритроцита в капилляре (0 – 1000 мкм/с)	100 мкм/с
Заряд мембраны эритроцита ( $3 \times 10^{-15} - 3,5 \times 10^{-12}$ Кл)	$3,2 \times 10^{-12}$ Кл
Число траекторий движения зарядов (11 – 501)	101
Гематокрит в капиллярах (0 – 20%)	14,67%
Расстояние между центрами капилляров (30-80 мкм)	31, 41, 51, 61 мкм

Таблица 2

## Выходные параметры модели.

Параметры	Значения параметров
Минимальная образующая $L_{min}$	3,4 мкм
Максимальная образующая $L_{max}$	11,5 мкм
Число зарядов на поверхности эритроцита $N_{za}$	38594
Напряженность магнитного поля $H$	$0 - 2 \times 10^{-5}$ А/м

Расчеты проводились в окрестности плоской капиллярной сети образованной капиллярами радиуса  $r$  с расстояниями между центрами капилляров  $D_c$ . Распределения  $H$  (А/м) в плоскости  $z=34 \times 10^{-6}$  м и их проекции на плоскости  $XOY$ ,  $XOZ$ ,  $YOZ$  при гематокрите  $Ht=14,67\%$  и  $D_c=41$  мкм ( $41 \times 10^{-6}$  м) (Рис. 1-4).

Рис. 1. Распределение  $H$  (А/м) в плоскости  $z=34 \times 10^{-6}$  м,  $Ht=14,67\%$ ,  $D_c=41 \times 10^{-6}$  м.Рис. 2. Проекция  $H$  на плоскость  $XOY$ .

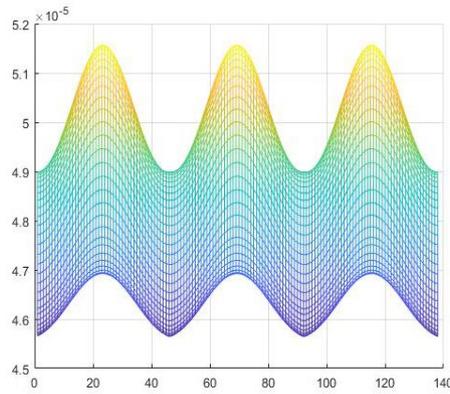


Рис. 3. Проекция  $H$  на плоскость  $XOZ$

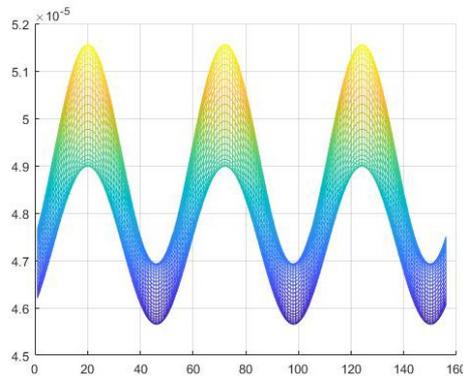


Рис. 4. Проекция  $H$  на плоскость  $YOZ$

Зависимости максимального  $H_{max}$  и минимального  $H_{min}$  значений  $H \times 10^{-5}$  А/м (в плоскости  $z=34 \times 10^{-6}$  м,  $Ht=14,67\%$ ) от расстояния между центрами капилляров  $D_c$  (мкм) имеют вид (рис. 5):

$$H_{max} = -0,087 \times D_c + 8,82, \quad H_{min} = -0,114 \times D_c + 9,48.$$

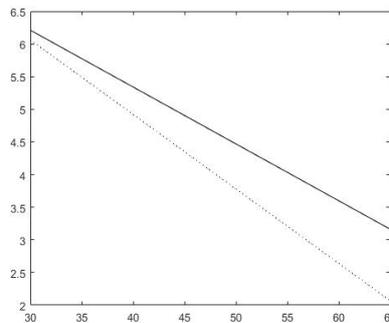


Рис. 5. Зависимости  $H_{max}$  (сплошная линия) и  $H_{min}$  (пунктирная линия) от  $D_c$ .

Из проведенных расчетов видно, что при увеличении  $D_c$  величины  $H_{max}$  и  $H_{min}$  убывают, а их разность  $H_{max} - H_{min}$  увеличивается. Это объясняется тем, что при увеличении  $D_c$  влияние соседних капилляров становится менее существенным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

#### Библиографический список

1. Копыльцов А. В. Математическое моделирование магнитного поля в окрестности узкого капилляра при различных значениях гематокрита // Инженерный вестник Дона, 2023, №8, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/p8y2023/8597](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/p8y2023/8597) (дата обращения 09.01.2024).
2. Kopyltsov A. V. Mathematical modeling of the interaction of magnetic fields of red blood cells // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. V.421. 052007 (дата обращения 09.01.2024).

*А. Ф. Крячко\**

д. т. н., профессор,

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОТКРЫТЫХ РЕЗОНАТОРОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВКЛЮЧЕНИЕМ

На основе строгой математической модели открытого резонатора с плазменным круговым включением проанализированы его спектральные (собственные частоты и добротности собственных колебаний) и дифракционные (резонансные поля) характеристики.

**Ключевые слова:** открытый резонатор, базисная функция, численное решение, собственная частота, декремент затухания.

*A. F. Kryachko\**

Dr. Sc., Prof., head of department

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## SPECTRAL CHARACTERISTICS OF NATURAL OSCILLATIONS OF OPEN RESONATORS WITH DIELECTRIC INCLUSION

On the basis of a rigorous mathematical model of an open resonator with a plasma circular inclusion, its spectral (natural frequencies and eigenfrequencies) and diffraction (resonance fields) characteristics are analysed.

**Keywords:** open resonator, basis function, numerical solution, natural frequency, attenuation decrement.

Известны приближенные интегральные уравнения фредгольмового типа для стационарного скалярного поля на идеально отражающих поверхностях зеркал открытых резонаторов (ОР) [1]. Эти уравнения установлены из скалярной теории дифракции Кирхгофа и на их основе методом последовательных приближений вычислены некоторые собственные функции и комплексные собственные частоты для следующих случаев: а) плоские прямоугольные зеркала; б) круглые плоские зеркала; в) конфокальные сферические и параболические зеркала. С использованием разложения Шмидта для вполне непрерывных (компактных) операторов, в работе [2] приближенные интегральные уравнения неконфокального ОР сведены к матричному уравнению. Основная трудность этого подхода состоит в том, что неизвестен явный вид базисных функций.

Важное значение имеют исследования спектральных характеристик ОР при наличии aberrаций зеркал резонатора (перекосы, сдвиги, неоднородности зеркал и т.п.). При малых aberrациях зеркал ОР большинство результатов получено методом возмущений или с помощью параболического уравнения. В общем случае соответствующие приближенные интегральные уравнения решаются с применением ЭВМ. Численное решение проводится стандартными методами – методом последовательных приближений (итерационная методика Келлога) или заменой ядра интегрального уравнения на вырожденное. Следует отметить, что если ОР имеет несколько колебаний с очень малыми потерями, то указанные численные методы становятся малоприменимыми, так как они приводят к известной проблеме поиска близких по модулю собственных значений комплексной матрицы. В теории дифракции развит ряд строгих математических методов [3], позволяющих приблизиться к построению математических моделей процессов распространения и дифракции волн в открытых структурах для наиболее интересного (с точки зрения различных приложений в СВЧ технике) резонансного диапазона, когда длина волны возбуждающего электромагнитного поля соизмерима с характерными размерами структуры. Одним из самых главных аспектов этого направления исследования является изучение спектральных и резонансных характеристик ОР в зависимости от неспектральных параметров. Изучено поведение собственной частоты и декремента затухания азимутальных поверхностных волн открытого резонатора, внутри которого расположен плазменный цилиндр [4].

### Библиографический список

1. Михлин С. Г. Курс математической физики. – С-Пб.: Лань, 2002. 576 с.
2. P.N. Melezhik, V.S. Miroshnichenko, Y.B. Senkevich. Open resonators with conducting cylindrical inserts. 1. Two-dimensional model. // Radiophysics and Quantum Electronics 48, 2005, pp. 529–536.
3. A. V. Brovenko, P. N. Melezhik, A. Y. Poyedinchuk. Spectral problems in the theory of wave diffraction by layered media. // Elecommunications and Radio Engineering 72 (20), 2013, pp. 1821-1838.
4. Беляков Н. И., Ермак С. В., Крячко А. Ф., Ревунов Г. М., Шакин О. В. Предельные свойства дифракционных открытых резонаторов // Оптические методы исследования потоков: Труды XVII Международной научно-технической конференции, 26–30 июня 2023. – М.: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. С.437-444.

**Б. В. Лобанов\***

кандидат физико-математических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК

В работе рассмотрена методика получения спектра оптического поглощения для линейных (полиацены) и спиральных (гелицены) полиароматических углеводородов, который может быть использован для идентификации углеводородной структуры при экспериментальном измерении. Показана зависимость оптического спектра и ширины запрещенной зоны от длины углеводородной цепочки.

**Ключевые слова:** углеродные наносистемы, сильно коррелированное состояние, энергетический спектр, спектр оптического поглощения, запрещенная зона.

**B. V. Lobanov\***

PhD, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## MEASUREMENT OF OPTICAL ABSORPTION SPECTRA OF POLYAROMATIC HYDROCARBON CHAINS

The method of obtaining optical absorption spectra of linear (polyacenes) and spiral (helicenes) polyaromatic hydrocarbons is considered. This method can be used for experimental identification of hydrocarbon chain structure. The dependence of optical absorption spectrum and band gap on the length of hydrocarbon chain is shown.

**Keywords:** carbon nanosystems, strongly correlated state, energy spectrum, optical absorption spectrum, band gap.

Одной из важных задач при получении углеродных наноматериалов является их экспериментальная идентификация, разделение по особенностям структуры. Одним из таких методов является измерение спектра оптического поглощения. Спектры оптического поглощения определяются электронной структурой наноматериала, которая, в свою очередь, зависит от взаимного расположения атомов и характера связей между ними. В углеродных системах, к которым можно отнести и углеводородные цепочки различной структуры, атомы углерода находятся в состоянии с  $sp^2$ -гибридизацией. В таких системах значительный вклад в электронные и оптические свойства вносят  $\pi$ -электроны блуждающих связей. Как показано в [1], поведение данных электронов может быть последовательно описано моделью Хаббарда, учитывающей два основных процесса – междоузельные перескоки электронов и внутриузельное кулоновское отталкивание.

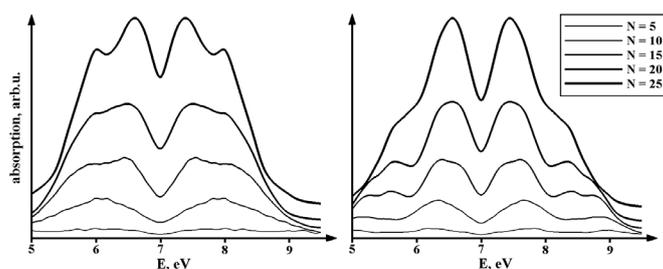


Рис. 1. Спектры оптического поглощения линейных и спиральных углеводородных цепочек в зависимости от их длины

Следуя методике, изложенной в работах [1,2], нами в настоящей работе получены энергетические спектры углеводородных цепочек различной длины и симметрии: рассмотрены линейные (полиацены) и спиральные цепочки (гелицены). Исходя из энергетического спектра, получены спектры оптического поглощения (рис. 1). Также исследована зависимость ширины запрещенной зоны в энергетическом спектре в зависимости от длины и типа цепочки. Согласно полученным данным, запрещенная зона в гелиценах оказывается приблизительно на 0.2 эВ меньше, чем в линейных цепочках. Ширина запрещенной зоны может быть оценена из экспериментальных измерений по длинноволновой границе спектра оптического поглощения.

### Библиографический список

1. Б. В. Лобанов, А.И. Мурзашев. Энергетический спектр и оптические переходы в изомерах фуллерена  $C_{80}$  // Физика твердого тела. 2013. Т. 55, № 4. С. 797–805.
2. Б. В. Лобанов. Энергетический спектр полиаценов конечной длины как систем с сильными электронными корреляциями // Сборник докладов IV Всероссийской научной конференции «Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем» (18–22 апреля 2023 г.). С. 93–96.

А. Л. Ляшенко\*

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЛАГОМЕРА

Рассмотрен процесс разработки математической модели теплофизических процессов, протекающих в древесине при сушке, на основе которой разработана информационно-измерительная система влагомера.

**Ключевые слова:** влагомер, математическая модель, измерительная система, дифференциальное уравнение, системный анализ, обработка информации.

A. L. Lyashenko\*

PhD, Tech., Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЛАГОМЕРА

The process of developing a mathematical model of thermophysical processes occurring in wood during drying is considered, on the basis of which an information-measuring system for a moisture meter has been developed.

**Keywords:** moisture meter, mathematical model, measuring system, differential equation, system analysis, information processing.

Древесина и изготовленные из неё пиломатериалы обладают рядом теплофизических параметров. От численных значений данных параметров напрямую зависит качество производимых изделий, таких как мебель или музыкальные инструменты. Ряд приборов, например влагомеры, после применения оставляют на поверхности материала отверстия от шипов глубиной до 10 мм, что существенно снижает качество исследуемого образца и при этом полученный результат измерений не позволяет судить о распределении влаги по всему объёму образца [1]. В связи с этим в работе рассматриваются вопросы измерения теплофизических параметров методами неразрушающего контроля с последующей разработкой распределённой информационно-измерительной системы (ИИС).

Для разработки ИИС произведено составление математического обеспечения включающего в себя математические модели теплофизических процессов, протекающих в древесине. При этом было учтено влияние технологических факторов на величину перепадов температуры и влажности по толщине образца. Перенос тепла внутри древесины характеризуется коэффициентами теплопроводности  $\lambda$  и температуропроводности  $a$ , связанными между собой соотношением [2]:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (1)$$

Для моделирования перемещения теплоты и влаги в образце запишем уравнения (2, 3) с учётом удельного влагосодержания  $u$ , коэффициентов диффузии  $D$ , удельной теплоты испарения  $r$  и удельной теплоёмкости  $c$ .

$$\frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 T(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right) + \varepsilon \left( \frac{r}{c} \right) \cdot \frac{\partial u(x, y, z, t)}{\partial \tau} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = D \cdot \left( \frac{\partial^2 T(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right) + \\ + D \cdot \delta \cdot \left( \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} + \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial y} + \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Полученные результаты математического моделирования будут использованы при разработке информационно-измерительной системы влагомера и последующей разработке системы управления сушкой древесины.

### Библиографический список

1. Чемоданов А. Н. Сушка древесины: Справочные материалы. – Йошкар-Ола.: МарГТУ, 2005. – 240 с.
2. Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550с.

*П. А. Носуленко*

Студент

*Д. В. Бутенина*

Кандидат физико-математических наук, доцент

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СУБТИТРОВ К ВИДЕО

Статья посвящена разработке автоматизированной системы создания субтитров для видеоконтента на основе комплекса из нескольких нейронных сетей.

**Ключевые слова:** качество, метрология, искусственный интеллект, рекуррентные нейронные сети, субтитры.

*P. A. Nosulenko*

Student of the Department of Applied Informatics

*D. V. Butenina*

PhD, Phys.-Math., Associate Professor

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR VIDEO SUBTITLING

The article is devoted to the development of an automated system for creating subtitles for video content based on set of multiple neural networks.

**Keywords:** quality, metrology, artificial intelligence, recurrent neural networks, subtitles.

Использование видеоконтента становится все более популярным, что создает потребность в субтитрах. Ручное создание субтитров трудоемко и времязатратно, поэтому возрастает необходимость в разработке автоматизированной системы создания субтитров. Система сможет облегчить процесс, увеличить его скорость и обеспечить высокое качество субтитров, делая видео контент более доступным для широкой аудитории, включая людей с нарушениями слуха или изучающих иностранные языки.

Для наших целей нужно разработать сложную систему из нескольких нейронных сетей, каждая из которых отвечает за отдельную задачу. На сегодняшний день существует большое количество архитектур нейронных сетей под самые разные задачи [1]. Для обработки естественного языка применяется архитектура рекуррентной нейросети, [2]. Во-первых, они оценивают произвольные предложения на основе того, насколько часто они встречались в текстах, что дает меру грамматической и семантической корректности. Такие модели используются в машинном переводе [3]. Во-вторых, языковые модели генерируют новый текст. Для работы нейронной сети, ее нужно сперва обучить на собранном заранее наборе данных или датасете [4]. При этом аудиофайлы включают различные голоса, акценты, темп речи и фоновые шумы. А в текстовые файлы помещается информация о том, что говорится в каждой записи, кто это говорит и тайминги предложений. Эти текстовые файлы будут использоваться для связи аудиофайлов с точными транскрипциями.

Задача первой нейронной сети – распознавание и предобработка речи. Система обрабатывает полученный аудиофайл и возвращает текст, с таймингом, когда этот текст произносился. Восстановлением пунктуации занимается вторая нейросеть. Она должна будет обработать полученный набор слов, удалить мусор, расставить знаки препинания, составить предложения. Для решения этой задачи достаточно взять текстовый корпус с текстом без пунктуации и на нем обучить нейросеть её восстанавливать. На вход нейросети текст поступает в токенизированном виде. На выходе модели после каждого слова метка: ставить ли тот или иной символ пунктуации. Третья нейросеть – заключительная, ее задача просто перевести полученный текст на нужный язык. При переводе предложение разбивается на словарные сегменты. Затем с помощью специальных декодеров система определяет «вес» каждого сегмента в тексте. Далее вычисляются максимально вероятные значения и перевод сегментов. Последний этап – соединить переведённые сегменты с учётом грамматики.

Таким образом мы имеем систему способную создать субтитры к видео для комфортного просмотра. Система возвращает файл с текстом и таймингами, а также сохраняет смысл и грамотно расставляет пунктуацию. Однако даже такая нейросеть еще далека до совершенства и существует множество путей ее развития.

### Библиографический список

1. Разнообразие нейронных сетей. // [Электронный ресурс] URL: <https://tproger.ru/translations/neural-network-zoo-2> (дата обращения: 01.11.2023).
2. Рекуррентные нейронные сети: типы, обучение, примеры и применение // [Электронный ресурс] URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/rekurrentnyye-nejronnyye-seti/> (дата обращения: 21.11.2023).
3. Н. С. Москалев. Виды архитектур нейронных сетей // Молодой учёный № 29, 2016 г.
4. Как Яндекс помогает преодолеть языковой барьер: нейросетевой перевод видео, картинок и текста // [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/576438/> (дата обращения: 22.11.2023).

*О. В. Опалихина\**

кандидат технических наук, доцент

*М. А. Желавский\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КВАТЕРНИОНЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваются методы преобразования систем координат, используемые при исследовании бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Приводятся кинематические уравнения подвижных объектов, записанные в параметрах Эйлера-Крылова и в параметрах Родрига-Гамильтона.

**Ключевые слова:** кватернионы преобразований, параметры Эйлера-Крылова, параметры Родрига-Гамильтона.

*O. V. Opalikhina\**

Phd. Tech., Associate Professor

*M. A. Zhelavskiy\**

Student

\*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## QUATERNIONS OF TRANSFORMATIONS OF STRAP DOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

The methods of coordinate system transformation used in the study of strap down inertial navigation systems are considered. Kinematic equations of movable objects are given, recorded in Euler-Krylov parameters and in Rodrig-Hamilton parameters.

**Keywords:** quaternions of transformations, Euler-Krylov parameters, Rodrig-Hamilton parameters.

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) с микромеханическими датчиками устанавливаются на различных изделиях аэрокосмической техники. Точность и надежность данных систем обеспечивается структурной избыточностью [1-4]. При реализации алгоритма полного функционала БИНС с помощью матричного исчисления решается задача преобразования координат в пространстве.

Ортогональные матрицы преобразования координат зададим в компьютерной среде Wolfram Mathematica:

$$\text{In}[12]:=A1=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos[\varphi] & \sin[\varphi] \\ 0 & -\sin[\varphi] & \cos[\varphi] \end{pmatrix}; A2=\begin{pmatrix} \cos[\varphi1] & 0 & -\sin[\varphi1] \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin[\varphi1] & 0 & \cos[\varphi1] \end{pmatrix}; A3=\begin{pmatrix} \cos[\varphi2] & \sin[\varphi2] & 0 \\ -\sin[\varphi2] & \cos[\varphi2] & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$B1=\text{Dot}[A3,A2,A1]//\text{MatrixForm}$$

$$A11=\text{Det}[A1];A22=\text{Det}[A2];A33=\text{Det}[A3]; \text{Reduce}[\%==1,\{\varphi2\}]\&\&\text{Reduce}[\%==1,\{\varphi1\}]\&\&\text{Reduce}[\%==1,\{\varphi\}]$$

$$\text{Out}[43]=\left( (C_1 \in \mathbb{Z} \&\& \varphi2 = \pi + 2\pi C_1) \parallel \frac{-\pi + \varphi2}{2\pi} \notin \mathbb{Z} \right) \&\& \left( (C_1 \in \mathbb{Z} \&\& \varphi1 = \pi + 2\pi C_1) \parallel \frac{-\pi + \varphi1}{2\pi} \notin \mathbb{Z} \right) \&\& \left( (C_1 \in \mathbb{Z} \&\& \varphi = \pi + 2\pi C_1) \parallel \frac{-\pi + \varphi}{2\pi} \notin \mathbb{Z} \right)$$

$$\text{Take}[A2]//\text{MatrixForm}$$

Матрицы преобразования координат выражаются тригонометрическими функциями углов Эйлера-Крылова  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ , либо задаются через параметры Родрига-Гамильтона  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  [1-4]:

$$\theta = 2 \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}, \lambda_0 = \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{4} \theta^2}}, \lambda_1 = \cos \alpha \sin \frac{\varphi}{2}, \lambda_2 = \cos \beta \sin \frac{\varphi}{2}, \lambda_3 = \cos \gamma \sin \frac{\varphi}{2},$$

$$\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1, \Lambda = \lambda_0 \cdot 1 + \lambda_1 \cdot i_1 + \lambda_2 \cdot i_2 + \lambda_3 \cdot i_3,$$

где  $\varphi$  – угол поворота объекта относительно связанной с ним оси;  $\theta$  – вектор Родрига,  $e$  – единичный вектор, определяющий ориентацию связанной с объектом оси;  $\Lambda$  – кватернион ориентации, содержащий три мнимых единицы  $i_1, i_2, i_3$ . При исследовании движения летательных аппаратов в матрицах преобразования координат углы

Эйлера-Крылова заменяются на углы крена, тангажа и рыскания [5]. Визуализация движения объекта относительно инерциальной системы отсчета показана на рис. 1.

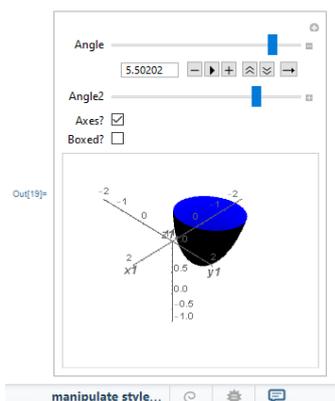


Рис. 1. Визуализация движения объекта

Моделирование в программной среде Wolfram Mathematica показало, что алгоритм реализации полного функционала БИНС, построенный на основе параметров Родрига-Гамильтона, по сравнению с алгоритмом, использующим тригонометрические функции углов Эйлера-Крылова, имеет ряд преимуществ. К ним относятся независимость от начальной ориентации систем координат, линейность кинематических уравнений, а также повышенная точность вычислений.

#### Библиографический список

1. Бранец В. Н., Шмыглевский И. П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – М.: Наука, 1992. – 280 с.
2. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.
3. Бранец В. Н., Шмыглевский И. П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. – М.: Наука, 1973. – 320 с.
4. Лестев А. М. Элементы кинематики твердого тела. – СПб.: Аврора, 2019. – 44 с.
5. O. V. Opalikhina and M A Zhelavskiy. Research of the stable equilibrium position of a dissipative system. – Journal of Physics: Conf. Ser. – 2022. – Vol. 2373. – P. 072019.

*Г. В. Терещенко\**

к. ф.-м. н., доцент

*А. Р. Плехов\**

студент кафедры физики

*А. А. Ковadlo*

студент кафедры физики

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СОЗДАНИЕ ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена возможность искусственного интеллекта для создания предиктивных моделей, которые позволяют увеличить точность физических измерений.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, предиктивная модель, физическая измерительная система

*G. V. Tereshchenko\**

Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor

*A. R. Plekhov\**

student of the Department of Physics

*A. A. Kovadlo\**

student of the Department of Physics

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## CREATING PREDICTIVE MODELS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PREDICT THE BEHAVIOR OF PHYSICAL MEASUREMENT SYSTEMS

The possibility of artificial intelligence to create predictive models that allow increasing the accuracy of physical measurements is considered.

**Keywords:** artificial intelligence, predictive model, physical measurement.

Измерительные системы играют важную роль в различных отраслях, от производства до научных исследований, в том числе и в области физики. Точность измерений физических параметров имеет критическое значение, и поэтому важно иметь возможность предсказывать поведение измерительных систем для обеспечения более высокой точности измерений. В последние годы искусственный интеллект стал мощным инструментом для создания предиктивных моделей, которые могут предсказывать поведение измерительных систем. В данной работе авторы исследовали, как искусственный интеллект может быть использован для создания предиктивных моделей и применен для предсказания поведения измерительных систем.

Искусственный интеллект включает в себя различные методы и техники, такие как машинное обучение, нейронные сети, глубокое обучение и другие. Эти методы позволяют компьютерам обучаться на основе данных, выявлять закономерности и делать прогнозы. Когда речь идет о создании предиктивных моделей для предсказания поведения измерительных систем, искусственный интеллект может быть использован для анализа данных, выявления скрытых закономерностей и создания моделей, способных предсказывать будущее поведение измерительных систем [1].

Одним из ключевых шагов при создании предиктивной модели с использованием ИИ является сбор данных. Для предсказания поведения измерительной системы необходимо иметь большой объем данных об ее работе в различных условиях [2]. Эти данные могут включать в себя информацию о входных параметрах, выходных результатах измерений, окружающих условиях и других факторах, влияющих на работу измерительной системы.

После сбора данных следующим шагом является их подготовка и обработка. Искусственный интеллект может быть использован для анализа этих данных, выявления закономерностей и создания моделей, способных предсказывать будущее поведение измерительной системы. Методы машинного обучения, такие как регрессионный анализ, случайные леса, нейронные сети и другие, могут быть применены для создания предиктивных моделей.

Одним из примеров использования предиктивных моделей для предсказания поведения измерительных систем является прогнозирование показателей точности измерений в зависимости от различных факторов, таких как температура, влажность, давление и другие. Созданная модель может быть использована для оптимизации работы измерительной системы в различных условиях.

Создание предиктивных моделей с использованием искусственного интеллекта для предсказания поведения измерительных систем имеет большой потенциал для улучшения точности измерений и оптимизации работы измерительного оборудования. Применение методов машинного обучения и анализа данных позволяет выявлять скрытые закономерности и создавать модели, способные предсказывать будущее поведение измерительной системы. Это открывает новые возможности для улучшения качества измерений и оптимизации работы измерительного оборудования в различных отраслях.

### Библиографический список

1. Анцыферов, С. С. Вопросы метрологического обеспечения интеллектуальных систем // Мир измерений. 2012. № 5. С. 46–51.
2. А. Ю. Кузин, А. Н. Крошкин, Л. К. Исаев. Практические аспекты применения искусственного интеллекта в метрологии // Измерительная техника. 2023. № 9. С. 66–72.

*К. Н. Тимофеев\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

В работе рассмотрена задача определения зависимости точности классификации радиолокационных изображений объектов десяти классов из набора данных MSTAR, при отношении «шумовая помеха / сигнал» (от  $-20$  до  $20$  дБ). В отличие от традиционного подхода к ее решению, на основе методов статистического анализа получение оценок точности классификации, предложено использование двунаправленной рекуррентной нейронной сети LSTM.

**Ключевые слова:** рекуррентная нейронная сеть, шумовая помеха, радиолокационное изображение.

*К. N. Timofeev\**

Ph. D. of Technical Sciences

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## APPLICATION OF DEEP NEURAL NETWORKS FOR CLASSIFICATION OF SYNTHESIS APERTURE RADAR SIGNALS

The paper considers the problem of determining the dependence of the accuracy of classification of radar images of objects of ten classes from the MSTAR data set, with the ratio “noise interference / signal” (from  $-20$  to  $20$  dB). In contrast to the traditional approach to solving it based on statistical analysis methods, obtaining estimates of classification accuracy, the use of a bidirectional recurrent neural network LSTM is proposed.

**Keywords:** recurrent neural network, noise interference, radar image

Классификация объекта на сцене изображения, полученного с использованием радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА), является актуальной задачей, решение которой постоянно совершенствуется, с целью улучшения основных характеристик канала обнаружения и распознавания РСА. Изображение наземного или морского транспортного средства, являющееся объектом классификации, формируется посредством фиксации отраженного радиолокационного сигнала на РСА воздушного носителя, который пролетает в пределах радиолокационной видимости объекта.

Погрешности метрологических характеристик, возникающих при оценке параметров пространственно-распределённых объектов с целью их классификации, серьезно влияют на качество функционирования современных радиолокационных систем с синтезированной апертурой [1]. Такие системы играют важную роль в различных гражданских приложениях и в военной сфере, поскольку они могут работать в любых погодных условиях, как в светлое время суток, так и ночью. РСА широко используются при решении задачи обнаружения и классификации подвижных и статических объектов.

Существует достаточно много подходов к решению этой задачи. Классическим подходом, применяемым для обработки сигналов в таких системах, является оценка параметров по максимуму правдоподобия с использованием набора так называемых обучающих выборок, достоверно принадлежащих каждому из распознаваемых классов [2]. По обучающим выборкам строятся оценки математических ожиданий и ковариационных функций для конкурирующих гипотез, а после соответствующих вычислений, гипотеза решающая функция, которой максимальна, принимается за результат решения задачи классификации объекта. Этот алгоритм, показывает хорошие результаты, если решающие функции, которые при вычислениях используют взвешенные расстояния между вектором математических ожиданий обученных данных и вектором признаков анализируемого объекта, имеют распределение близкое к нормальному, что для сигналов имеющих радиолокационную природу может выполняться не часто.

С появлением общедоступных баз данных сигналов (изображений) получаемых от РСА стало возможным, для решения задач обнаружения и классификации объектов, применять инструментарий глубокого обучения. В настоящий момент в качестве обучающих баз данных используется открытая часть стандартного набора MSTAR (Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition) [3], включающая радиолокационные изображения (РЛИ) десяти образцов наземных технических объектов, с разрешением около  $0,3$  м и различной степенью зашумленности изображения, а также набор данных FUSAR-Ship, с РЛИ морских и речных судов.

Набор данных MSTAR, содержит около  $10000$  изображений и непрерывно пополняется. База FUSAR-Ship содержит  $15$  основных категорий судов, которые разделены на  $98$  подкатегорий.

Для решения задачи распознавания объектов, с применением глубокого обучения, по РЛИ в большинстве работ используется двухэтапная схема. Вначале, путём предварительной обработки, выделяются признаки изображения, затем формируются обучающие и тестовые выборки данных.

На рис. 1, в качестве примера, представлены РЛИ трех объектов (слева направо изображения автомобиля ЗИЛ 131, бульдозера Д7 и морского контейнера).

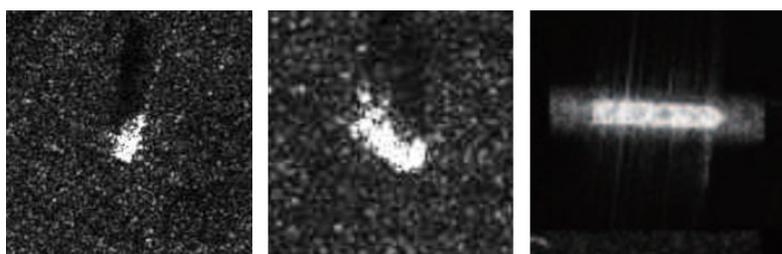


Рис. 1. Радиолокационные изображения от РЛС с синтезированной апертурой

Для увеличения обучающих, проверочных и тестовых данных в работе [4] предлагается использовать «зашумление» изображения объектов, которое состоит в искажении некоторого количества пикселей объектов, выраженного в процентном соотношении к их общему количеству. С целью исключения влияния фона местности на результаты классификации подготовка таких данных для обучения и тестирования включает этап вычисления маски отсчетов отметки объекта с заданным порогом. Результат такого «зашумления», для двух наземных объектов, рассмотренных выше, представлен на рис. 2.

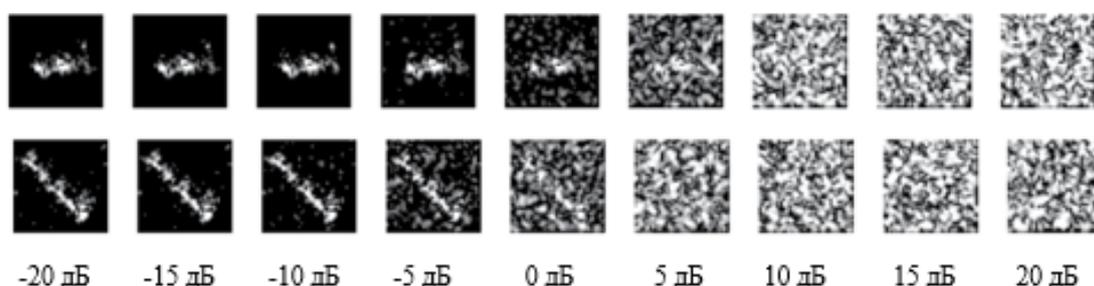


Рис. 2. Радиолокационные изображения от РЛС с синтезированной апертурой различным отношением помеха/сигнал [4]

Задача распознавания и классификации РЛИ, с применением глубокого обучения, может решаться на основе двунаправленных рекуррентных нейронных сетей с длиной краткосрочной памяти (LSTM). Это позволяет использовать обучение нейронной сети на информации о пространственно-изменяющемся рассеянии объекта. На первом этапе выбираются изображения с разными аспектами для создания многоаспектных последовательностей изображений, изменяющихся в пространстве. Затем постепенно внедряются фильтр Габора и трехпатчатый локальный двоичный шаблон (TPLBP) для извлечения комплексных пространственных характеристик, с последующим уменьшением размерности с помощью сети многослойного персептрона (MLP). Структурная схема такой обработки представлена на рис. 3.

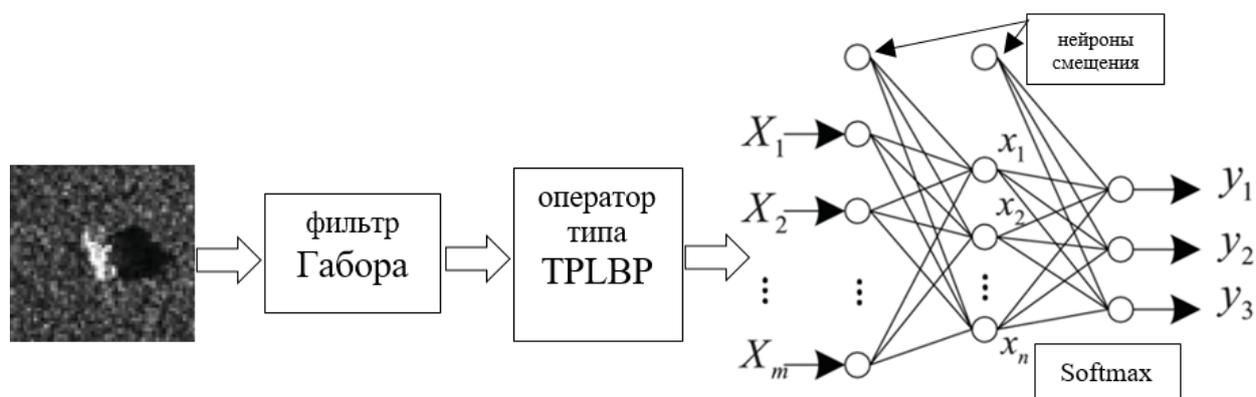


Рис. 3. Полносвязная структура MLP для снижения размерности

Полученные данные направляются в двунаправленную рекуррентную нейронную сеть LSTM для изучения многоаспектных функций с дальнейшей интеграцией классификатора softmax для достижения целевого распознавания [5].

Результаты экспериментов показывают, что предложенный подход может достичь точности не менее 90% для распознавания 10 классов. Кроме того, его характеристики защиты от шума и «путаницы» также лучше, чем у традиционных методов глубокого обучения.

#### Библиографический список

1. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. / Под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2006. – 656 с.
2. Доросинский Л.Г. Введение в теорию обработки сигналов от пространственно-распределённых целей в РСА. – Ульяновск: Зебра, 2016. – 145 с.
3. Занг Б. и др. CNN-LRP: понимание производительности сверточных нейронных сетей для распознавания целей на изображениях SAR. Конференция Сенсоры (Базель) 2021.
4. Купряшкин И. Ф., Мазин А. С. Классификация объектов военной техники с использованием сверточной нейронной сети на радиолокационных изображениях, сформированных в условиях шумовых помех // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2022. № 1. С. 71–81.
5. Ф. Чжан, К. Ху, Ц. Инь, В. Ли, Х. -К. Ли и В. Хонг, «Многоаспектные двунаправленные сети LSTM для распознавания целей радаров с синтезированной апертурой», в IEEE Access, vol. 5, стр. 26880-26891, 2017.

УДК 621.313

*С. С. Тимофеев\**

старший преподаватель

*С. К. Шорохов\**

студент

*Д. А. Верхоглядов\**

студент

*Е. А. Грецкий\**

студент

*Я. В. Клинов\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЧЕТОМ МАГНИТНОГО НАСЫЩЕНИЯ

Проводится сравнительная оценка динамических характеристик математической модели электропривода постоянного тока с учётом насыщения магнитопровода и результатов экспериментов.

**Ключевые слова:** электрический привод, двигатель постоянного тока, насыщение, динамические свойства, математическая модель.

*S. S. Timofeyev\**

senior lecturer

*S. K. Shorokhov\**

student

*D. A. Verkhogliadov\**

student

*E. A. Gretskey\**

student

*Y. V. Klinov\**

student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EVALUATION OF THE ADEQUACY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF DC ELECTRIC DRIVE TAKING INTO ACCOUNT MAGNETIC SATURATION

A comparative evaluation made of the dynamic characteristics of a DC electric drive mathematical model taking into account the saturation of the magnetic core and the results of experiments.

**Keywords:** electric drive, DC motor, saturation, dynamic properties, mathematical model.

**Введение.** В настоящее время математические модели являются неотъемлемой частью разработки и исследования электроприводов постоянного тока. Однако точность и надежность таких моделей может оказаться под вопросом, особенно когда учитывается магнитное насыщение.

В данном тезисе рассматривается вопрос оценки адекватности математической модели электропривода постоянного тока с учетом магнитного насыщения. Проводится анализ влияния магнитного насыщения на работу и характеристики электроприводов.

Математическая модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения описывается системой дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{cases} u_a = e_a + i_a \cdot r_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} \\ m - m_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \end{cases}$$

Для противоЭДС можно записать

$$e_a = c_e \Phi \omega.$$

Пренебрегая статическим моментом ( $M_c=0$ ), можно получить

$$c_e \Phi \cdot i_a = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Подставим полученные выражения в исходное уравнение

$$\frac{L_a r_a J}{r_a (c_e \Phi)^2} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{r_a J}{(c_e \Phi)^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{U}{c_e \Phi}.$$

Примем следующие обозначения:

$$T_m = \frac{r_a J}{(c_e \Phi)^2} - \text{электромеханическая постоянная времени двигателя,}$$

$$T_s = \frac{L_a}{r_a} - \text{электромагнитная постоянная времени двигателя.}$$

С учетом принятых обозначений

$$T_s T_m \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{U}{c_e \Phi}.$$

Получим передаточную функцию

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{k_{\text{об}}}{T_s T_m p^2 + T_m p + 1},$$

где  $k_{\text{об}} = \frac{1}{c_e \Phi}$  – коэффициент передачи двигателя.

Произведём моделирование системы электропривода на основе двигателя постоянного тока ПЛ-072 УЗ в *MatLab/Simulink* (рис. 1) [2].

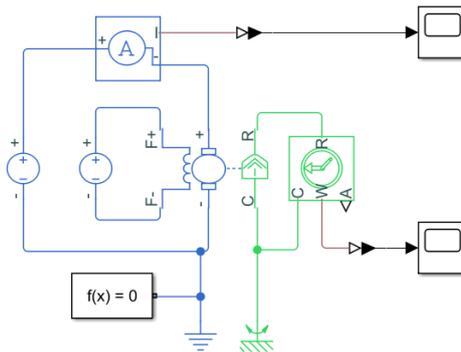


Рис. 1. Схема для моделирования динамических характеристик электропривода

Параметры электродвигателя ПЛ-072 УЗ задаются в окне параметров блока *DC Motor* (рис. 2).

DC Motor		<input checked="" type="checkbox"/> Auto Apply	?
Settings	Description		
NAME	VALUE		
Modeling option	No thermal port		
▼ Electrical Torque			
Field type	Wound		
> Field resistance	840	Ohm	▼
> Field inductance	17.38	H	▼
> Field-armature mutual inductance	4.4	H	▼
> Initial field current	0.248	A	▼
> Armature resistance	28.2	Ohm	▼
Armature inductance	0.293	H	▼
Rotor damping parameterization	By damping value		
▼ Mechanical			
Rotor inertia	9.78e+3	g*cm^2	▼
Rotor damping	0.001	N*m/(rad/s)	▼
> Initial rotor speed	0	rad/s	▼

Рис. 2. Задание параметров электродвигателя ПЛ-072 УЗ

Результаты моделирования переходных процессов скорости вращения и тока представлены на рис. 3 и рис. 4.

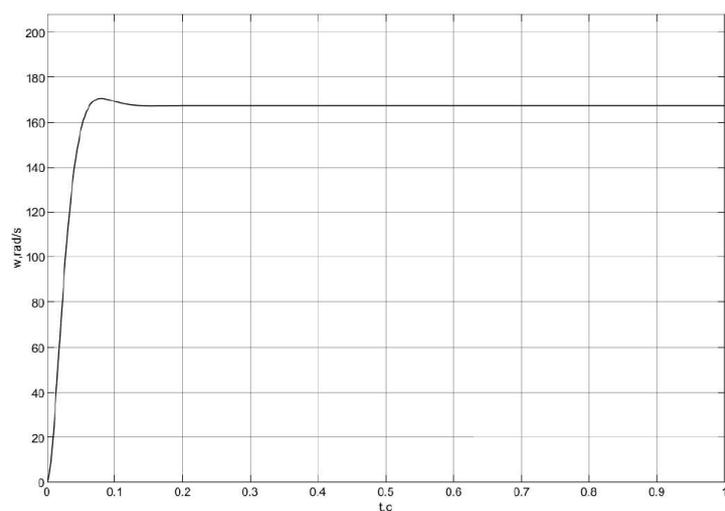


Рис. 3. График переходного процесса электропривода по скорости

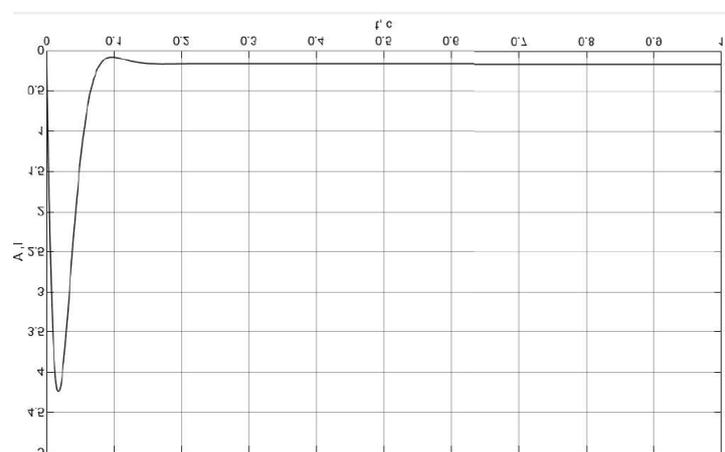


Рис. 4. График переходного процесса электропривода по току

Эксперимент проводится на испытательном стенде, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис. 5. Схема представляет собой пуск-реверс двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

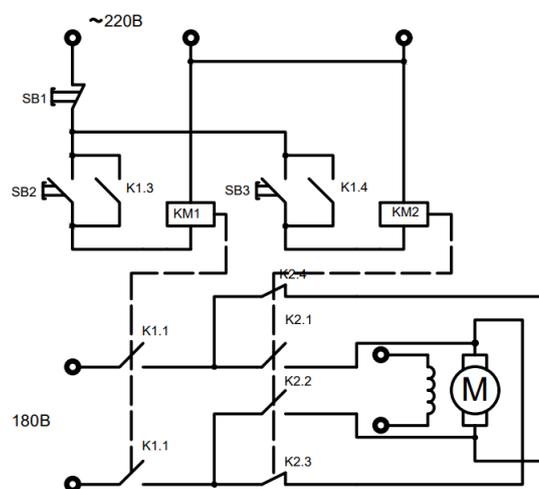


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема электропривода

Графики переходных процессов скорости вращения и тока двигателя по полученным с датчиков сигналам, выведенных на осциллограф, представлены на рис. 6, 7.

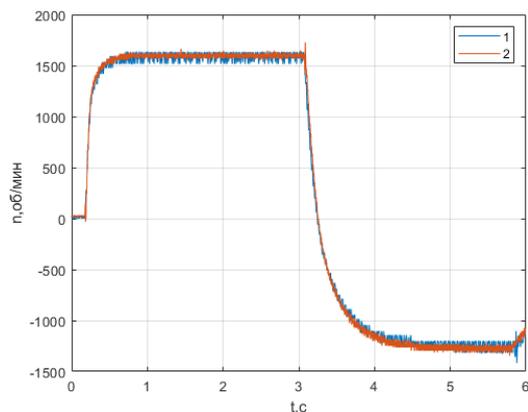


Рис. 6. График переходного процесса скорости вращения, полученный экспериментально (1–двигатель насыщен, 2 – двигатель ненасыщен)

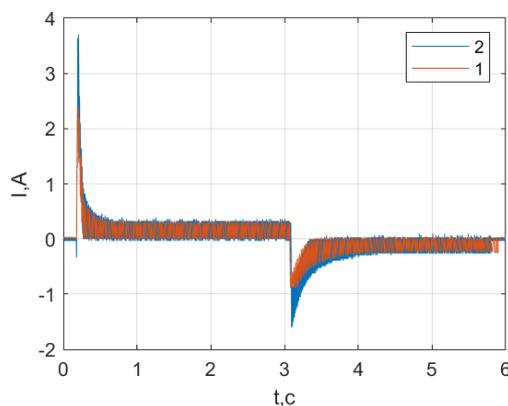


Рис. 7. График переходного процесса тока, полученный экспериментально (2 – двигатель насыщен, 1 – двигатель ненасыщен)

**Заключение.** Насыщение магнитопровода двигателя постоянного тока оказало незначительное влияние на результаты эксперимента. С помощью математической цифровой модели эксперимента пуска двигателя в среде *MatLab/Simulink* получены результаты, близкие к действительным. Пусковой ток якоря составляет около 4 А, далее двигатель переходит в установившийся режим с током, равным току холостого хода  $I_{\text{я}}=0,16$  А. Скорость вращения устанавливается на 167 рад/с, что равно реальному значению 1600 об/мин.

Был произведен эксперимент по испытанию двигателя в насыщенном состоянии и ненасыщенном состоянии. Динамические параметры системы определяются постоянными времени, которые при изменении уровня насыщения изменились в пределах погрешности, следовательно, не оказали существенного влияния на динамические параметры электропривода.

#### Библиографический список

1. Вольдек А. И. Электрические машины. М.: Энергия, 1974. 840 с.
2. Ayasun S., Gültekin K. DC motor speed control methods using MATLAB/Simulink and their integration into undergraduate electric machinery courses // *Computer Applications in Engineering Education*, 2007. – P. 347–354.

*В. Е. Тимов\**

аспирант,

*О. Е. Дик\**

д. б. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В исследовании рассматривается перспективное направление анализа временных рядов, которое основано на вейвлет-преобразовании и интеграции искусственного интеллекта. Исследуются преимущества использования вейвлетных спектров для анализа временных данных и предлагается методика автоматизированного сравнения этих спектров при помощи алгоритмов машинного обучения.

**Ключевые слова:** вейвлет-преобразование, искусственный интеллект, нейронные сети.

*V. E. Titov\**

graduate student,

*O. E. Dick\**

Dr. Sc., Biol., Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ON THE POSSIBILITY OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ANALYZE TIME SERIES

The study considers a promising direction of time series analysis, which is based on wavelet transform and artificial intelligence integration. It investigates the advantages of using wavelet spectra for analyzing time data and proposes a methodology for automated comparison of these spectra using machine learning algorithms.

**Keywords:** wavelet transform, artificial intelligence, neural networks.

В современном мире огромное количество данных генерируется каждую секунду, и временные ряды являются одним из наиболее распространенных форматов этих данных. Анализ временных рядов играет критическую роль в различных областях, таких как финансы, экономика, медицина и промышленность. Однако, с увеличением объема и сложности данных, стандартные методы анализа сталкиваются с вызовами в обработке, интерпретации и извлечении информации из этих временных структур.

Искусственный интеллект (ИИ) предоставляет уникальные возможности для более эффективного и глубокого анализа временных рядов.

В современном анализе временных рядов вейвлет-преобразование играет ключевую роль, предоставляя мощный инструмент для анализа частотных характеристик сигналов в различные моменты времени. Вейвлет-преобразование разбивает сигнал на составляющие с различными частотами и обеспечивает представление данных на разных масштабах. Это особенно полезно для выявления моментов, когда характеристики сигнала изменяются в течение времени.

Создание вейвлетного спектра временного ряда позволяет нам визуализировать частотные компоненты в различных временных интервалах. Этот инструмент часто применяется для выделения периодических структур, аномалий или трендов в данных. Вейвлет-анализ также обладает высокой чувствительностью к изменениям и может автоматически адаптироваться к нестационарным условиям временных рядов.

Непрерывное вейвлет-преобразование (CWT – continuous wavelet transform) сигнала  $s(t)$  для вейвлетной функции  $\psi(t)$  определяется формулой:

$$W_s(a, b) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

где  $a$  и  $b$  – переменные масштаба и временного сдвига,  $\psi((t-b)/a)$  – вейвлетная функция, полученная из материнского вейвлета  $\psi(t)$  путем масштабирования и сдвига по времени, символ означает комплексное сопряжение [1].

Для получения вейвлетных спектров можно воспользоваться пакетом MATLAB, с встроенной функцией 'cwt' (Continuous Wavelet Transform), позволяющей выполнять непрерывное вейвлет-преобразование.

Используя MATLAB, мы создаем две вейвлетные поверхности, соотношенные с двумя анализируемыми сигналами. Затем мы проецируем эти поверхности на частотно-временную плоскость, формируя два вейвлетных спектра. Вейвлетный спектр представляет собой визуализацию энергии или амплитуды сигнала в зависимости от частоты и времени. Это представление позволяет выявлять как статические, так и динамические характеристики сигнала, а также анализировать взаимодействие различных частот с сигналом в различные моменты времени.

Разработка нейронной сети и обучение требуют входных размеченных данных, на которых можно было бы обучить модель [2]. Применение вейвлет-преобразования как предварительной обработки перед входом в нейронную сеть помогает выделить ключевые особенности визуализированной информации.

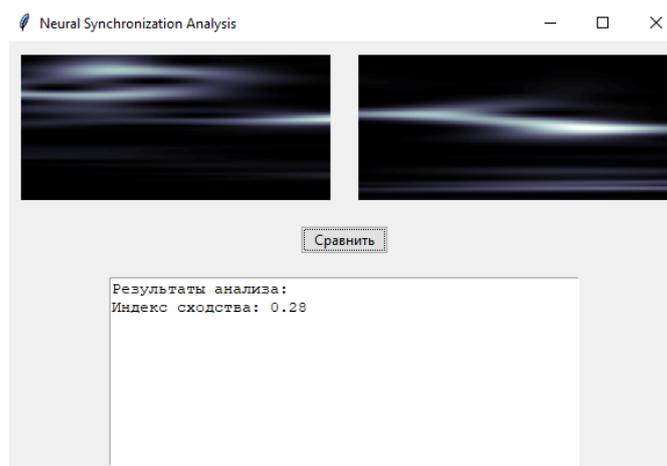


Рис. 1. Сравнение двух вейвлетных спектров с помощью нейронной сети

После обучения модели она использовалась для сравнения двух вейвлетных спектров. Входные изображения подаются на вход обученной сети, которая затем генерирует оценки, которые можно интерпретировать как меру схожести или различия между вейвлетными спектрами. В контексте сравнения вейвлетных спектров, коэффициент корреляции не всегда может быть лучшим выбором. Вейвлетные спектры могут иметь сложные структуры, и их визуальные аспекты могут не всегда точно отражать степень схожести сигналов. Вместо коэффициента корреляции для визуальных изображений мы выберем использование машинного обучения для оценки схожести, учитывающий структурные особенности и частотные компоненты и дающий количественную оценку [3]. В различных версиях это было числовое значение (от 0.00 до 1.00 или от 0 до 100 процентов)

Если вейвлетные спектры сигналов похожи, это может указывать на схожесть или корреляцию между соответствующими частотными компонентами сигналов. Вейвлетные преобразования могут быть полезны при анализе сигналов с различными временными и частотными характеристиками. Вейвлетные спектры предоставляют информацию о том, как разные частоты представлены в сигнале в разные моменты времени. Если два сигнала имеют схожие вейвлетные спектры, это может указывать на наличие общих или схожих структур в сигналах. Например, это может быть интересно при сравнении временных рядов или изображений различных объектов или явлений.

На рис. 1 видно, что индекс сходства между двумя вейвлетными спектрами составляет 0.28, что указывает на некоторую степень схожести между рассматриваемыми временными рядами. Однако это значение ближе к 0, что свидетельствует о наличии значительных различий в динамических характеристиках этих сигналов.

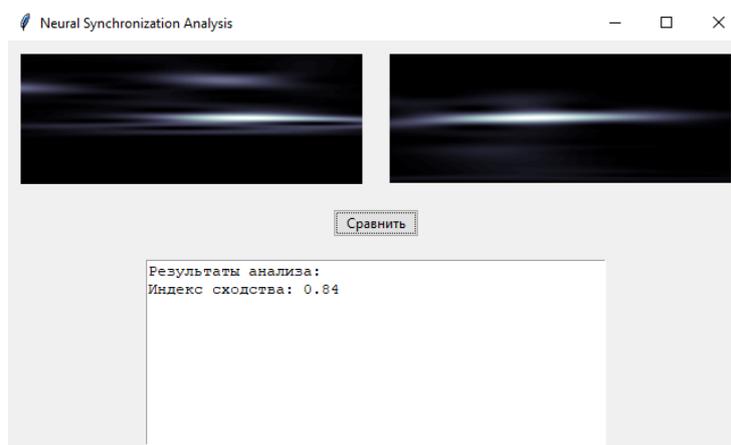


Рис. 2. Сравнение двух вейвлетных спектров с помощью нейронной сети

Необходимо учитывать, что схожесть вейвлетных спектров не всегда означает идентичность сигналов. Различные сигналы могут иметь похожие вейвлетные спектры, если они обладают схожими временными и частотными характеристиками. Для более точного анализа необходимо учитывать контекст и природу данных, а также проводить дополнительные статистические или специализированные анализы.

На рис.2 представлены два вейвлетных спектра временных рядов, где индекс сходства составил 0.84. Это значение указывает на высокую степень схожести между анализируемыми временными рядами. Наблюдаемая близость в вейвлетных спектрах свидетельствует о схожих частотных и временных характеристиках сигналов.

Таким образом, в настоящей работе продемонстрировано применение искусственного интеллекта для анализа временных рядов с использованием вейвлет-преобразования. Полученные результаты открывают новые

перспективы в области автоматизированного анализа динамических характеристик сигналов. Применение математических методов, таких как вейвлетные спектры, в сочетании с возможностями искусственного интеллекта, предоставляет эффективные инструменты для выявления и интерпретации закономерностей в разнообразных временных рядах. Это открывает новые горизонты для применения технологий в медицинской диагностике, финансовой аналитике и других областях, где анализ временных рядов играет ключевую роль в принятии решений.

#### **Библиографический список**

1. Hramov A. E., Koronovsky A. A., Makarov V. A., Pavlov A. N., Sitnikova E. Wavelets in neuroscience. Springer Series in Synergetics. Berlin: Springer, 2015, 314 p.
2. Smith N.B., Webb A. Introduction to Medical Imaging: Physics, Engineering and Clinical Applications. Cambridge University Press, 2010, 283p.
3. Ritter F., Boskamp T., Homeyer A., Laue H. Medical Image Analysis. IEEE Pulse, 2011, vol.2, no. 6, pp. 60–70.

*Е. С. Цобкалло\**

д.т.н., профессор

*Г. П. Мещерякова\**

д. т. н., профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## АДЕКВАТНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЕРКОЛЯЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Предложены и даны объяснения подходам к описанию перколяционного процесса в композитных материалах, полученных на основе полимерной матрицы и проводящих углеродных нанонаполнителей.

**Ключевые слова:** перколяционный процесс, порог протекания, композитные материалы, углеродные нанонаполнители, электропроводящие свойства.

*E. S. Tsobkallo\**

D. E. Sc, professor

*G. P. Mesharikova\**

D. E. Sc, professor

\*Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design

## ADEQUACY OF MATHEMATICAL MODELS FOR DESCRIBING THE PERCOLATION PROCESS IN POLYMER COMPOSITE MATERIALS.

Proposed and given explanations for approaches to describing the percolation process in composite materials obtained on the basis of a polymer matrix and conductive carbon nanofillers are described.

**Keywords:** percolation process, percolation threshold, composite materials, carbon nanofillers, electrically conductive properties.

Одной из особенностей синтетических полимерных материалов является низкая электропроводность, что является важными свойствами для создания ряда изделий. Однако во многих случаях практического использования этих материалов, а именно, для придания антистатических, экранирующих, греющих, электропроводящих и других свойств требуется понижать их электропроводящие свойства. Одним из наиболее эффективных подходов является создание полимерных композиционных материалов (ПКМ) путём введения в полимерную матрицу электропроводящих наполнителей, к которым относятся и углеродные нанонаполнители (углеродные нанотрубки, углеродные нановолокна, технический углерод и др.) На всех полученных экспериментально зависимостях удельного электрического сопротивления ( $\rho$ ) от концентрации наполнителя ( $\vartheta$ ) для композитных материалов полипропилен-углеродные нанонаполнители в определенном диапазоне концентрации наполнителей наблюдается резкое снижение  $\rho$ , процесс изменения сопротивления называется перколяционным процессом и характеризуется пороговыми значениями и критической точкой соответствующей фазовому переходу диэлектрик-проводник. Поскольку не всегда представляется возможным экспериментальное определение параметров, обращаются к моделированию перколяционных процессов. Разработка адекватных математических моделей, описывающих перколяционные процессы в композиционных материалах является одной из важнейших задач математического моделирования.

В настоящей работе рассмотрены имеющиеся математические модели теории перколяции для двух и трехмерных дискретных решеток разного типа. Часть результатов для плоских решеток получена аналитически, а часть как следствие численных экспериментов в имитационном моделировании. При этом возникает проблема переноса результатов математического моделирования на реальные перколяционные процессы, протекающие в композитном материале с полимерной матрицей и проводящими наполнителями разного типа, прежде всего углеродными наполнителями. В идеальной модели на бесконечной решетке есть однозначно определяемая точка перколяции, которая соответствует моменту образования непрерывной фрактальной структуры, называемой проводящим (бесконечным) кластером и имеющей фрактальную размерность меньшую, чем размерность среды, но близкую к ней. Но в моделях, построенных на конечных решетках, возникает уже область перколяционного перехода, функция описывающая проводимость решетки в этой области носит S – образный характер и асимптотически хорошо описывается функцией Больцмана. Точку перколяции в этих моделях определяют как точку перегиба, в этой точке меняется скорость образования проводящего кластера, вторые производные обращаются в ноль. При увеличении размеров решетки область перколяционного перехода сжимается в точку перколяции. Экспериментальные зависимости  $\rho$  ( $\vartheta$ ) в реальных ПКМ с различными полимерными матрицами и проводящими наполнителями практически всегда могут быть промоделированы функцией Больцмана. Это утверждение справедливо для изделий любой размерности: линейным, плоским и блочным. При этом наблюдается область перколяционного перехода и точка перколяции, как

точка, в которой меняется скорость образования кластера и есть перегиб на графике функции. В этой точке происходит фазовый переход второго рода и ПКМ приобретает свойства проводника. Тем самым, идеальная имитационная модель не является адекватной для реальных материалов в силу именно идеальности решетки, а модели на конечных решетках дают сопоставимый с экспериментами результат.

#### **Библиографический список.**

1. Цобкалло Е.С., Вольнова Д. В., Мещерякова Г. П. //Взаимосвязь математического и структурного моделирования электропроводящих свойств композиционных пленочных нитей с изотропными и анизотропными углеродными нитями//. Химические волокна, № 3. 2020 г. С. 8–14.
2. П. В.Москалев // Оценки порога и мощности перколяционных кластеров на квадратных решетках с  $(1, \pi)$ -окрестностью// Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6. № 3. С. 405–414.
3. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ.-М.: Мир, 1991. - 254 с.

*О. В. Чупринова\**

ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Рассмотрены основные возможности автоматизации процессов измерений, основанные на различных алгоритмах обработки данных.

**Ключевые слова:** автоматизация измерений, алгоритмы обработки данных, искусственный интеллект

*O. V. Chuprinova\**

assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

## POSSIBILITIES FOR AUTOMATING THE PROCESS OF MEASUREMENTS AND DATA PROCESSING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The main possibilities for automating measurement processes based on various data processing algorithms are considered.

**Keywords:** measurement automation, data processing algorithms, artificial intelligence.

Искусственный интеллект (ИИ) может автоматизировать процесс измерений, используя различные сенсоры и алгоритмы обработки данных. Он способен выполнять повторяющиеся измерения с высокой точностью и скоростью, что улучшает эффективность и снижает вероятность ошибок.

Обнаружение дефектов. ИИ может обнаруживать дефекты на основе данных об изображении или сигнале. Например, в производственной линии ИИ может автоматически анализировать визуальные данные и выявлять дефектные детали или несоответствие с заданными стандартами.

Предсказание и профилактика отказов. ИИ может анализировать исторические данные измерений для создания моделей предсказания отказов и определения оптимального графика профилактического обслуживания. Это позволяет предотвращать потенциальные проблемы и снижать затраты на ремонт и замену оборудования.

Искусственный интеллект может сыграть важную роль в улучшении регистрации данных и коррекции приборов в цифровой метрологии. Вот некоторые аспекты, в которых ИИ может быть полезным:

Определение оптимальных процедур калибровки. ИИ может анализировать данные об измерениях и характеристики приборов для определения оптимальных процедур калибровки. Он может учитывать различные факторы, такие как тип используемого оборудования, изменения окружающих условий и требования к точности измерений. На основе этих данных ИИ может рекомендовать настройки и параметры калибровки, которые обеспечат наилучшие результаты.

Автоматическая коррекция измерений. ИИ может использоваться для автоматической коррекции измерений на основе погрешностей, обнаруженных приборами, и других внешних факторов. Например, если прибор показывает систематическую ошибку, ИИ может быть обучен моделировать эту ошибку и автоматически применять коррекцию к результатам измерений. Это позволяет повысить точность и надежность измерений.

Анализ и обработка данных. ИИ может автоматически анализировать данные об измерениях и определять аномалии, выбросы или другие несоответствия. Он может использовать статистические методы, машинное обучение или другие алгоритмы для обнаружения необычных паттернов или трендов, которые могут указывать на проблемы с калибровкой или оборудованием. На основе этих анализов ИИ может предлагать способы коррекции или рекомендации по повышению точности измерений.

Самонастраивающиеся системы. ИИ также может использоваться для разработки самонастраивающихся систем калибровки и коррекции. С помощью обратной связи отмеренные измерения могут быть использованы для автоматической коррекции параметров калибровки в режиме реального времени. Это позволяет снизить необходимость в частых повторных калибровках и обеспечить более стабильные и точные результаты.

Все эти возможности помогают повысить точность измерений, снизить влияние погрешностей и улучшить надежность приборов в цифровой метрологии. Однако важно отметить, что настройка и обучение ИИ моделей требуют надежных и точных исходных данных, а также внимательного контроля и доверия со стороны метрологов и пользователей.

Оптимизация процессов. ИИ может анализировать данные измерений и другие данные производственных процессов для оптимизации параметров, настройки оборудования и улучшения производительности процесса.

Поддержка принятия решений. ИИ может помочь операторам и метрологам в принятии решений на основе данных измерений. Путем анализа данных и предоставления рекомендаций ИИ может помочь определить соответствие изделий стандартам качества или оптимальные режимы работы оборудования.

Однако, при использовании ИИ в цифровой метрологии также возникают некоторые проблемы и ограничения, такие как нехватка данных для обучения моделей, необходимость высокой надежности и объективности измерений, а также вопросы кибербезопасности и этических аспектов использования ИИ.

#### **Библиографический список**

1. Макаров И. Д., Панов А. В. Искусственный интеллект. перспективы развития. Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL:<a href="https://scienceforum.ru/2022/article/2018031957">https://scienceforum.ru/2022/article/2018031957</a> [дата обращения: 25.01.2024].
2. Акимов А. А. Обзор современных методов искусственного интеллекта по распознаванию девиантного поведения индивида. Вестник Технологического университета 2020., Т. 23, № 8. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43924350> [дата обращения: 25.01.2024].

*О. В. Чупринова\**

ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ САМОКАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Рассмотрен возможный подход к разработке ИИ позволяющий обеспечивать самокалибровку средств измерения.

**Ключевые слова:** автоматизация измерений, машинное обучение, искусственный интеллект

*O. V. Chuprinova\**

assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

## A POSSIBLE APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF AI FOR SELF-CALIBRATION OF MEASURING INSTRUMENTS

A possible approach to the development of AI is considered, which allows for self-calibration of measuring instruments.

**Keywords:** measurement automation, machine learning, artificial intelligence

Методы внутренней самокалибровки использует встроенные функции и возможности самокалибровки в самих средствах измерений для проверки и корректировки их погрешностей. Некоторые современные приборы имеют встроенные алгоритмы самокалибровки, которые автоматически регулируют их показания.

Разработка системы искусственного интеллекта (ИИ) для самокалибровки средств измерений может быть достаточно сложным процессом, требующим навыков в области машинного обучения, программирования и калибровки. Вот общий подход к разработке ИИ для самокалибровки:

1. Сбор данных. Важным первым шагом является сбор данных о калибровках и измерениях, проведенных с помощью средств измерений. Эти данные будут использоваться для обучения модели ИИ и определения оптимальных настроек калибровки.
2. Подготовка данных. После сбора данных следует их обработка и подготовка. Это может включать удаление выбросов, заполнение пропущенных значений, нормализацию данных и другие методы предварительной обработки, чтобы улучшить качество и консистентность данных.
3. Выбор модели ИИ. Существует множество подходов к выбору модели ИИ для самокалибровки. Один из распространенных подходов – использование алгоритмов машинного обучения, таких как регрессия, случайные леса, градиентный бустинг или нейронные сети. Выбор модели зависит от специфики задачи и доступных данных.
4. Обучение модели. После выбора модели ИИ следует обучить ее с использованием подготовленных данных. Обучение модели может включать настройку гиперпараметров, обучение на тренировочном наборе данных и проверку работы модели на валидационном наборе данных. Целью обучения модели является достижение высокой точности калибровки на основе предоставленных данных.
5. Реализация и интеграция. После обучения модели ИИ ее необходимо реализовать и интегрировать в систему калибровки. Это может потребовать разработки программного интерфейса для взаимодействия с системой средств измерений и интеграции модели ИИ в рабочий процесс калибровки.
6. Тестирование и оптимизация. После интеграции системы ИИ проводится тестирование для оценки ее производительности и точности калибровки. Возможно, потребуется провести дополнительную оптимизацию модели и настроек калибровки для достижения желаемых результатов.
7. Выбор оптимального метода самокалибровки зависит от типа измерительного оборудования, условий эксплуатации и требований к точности измерений. Комбинирование нескольких методов может также дать наилучшие результаты и обеспечить надежную самокалибровку средств измерений.

### Библиографический список

1. Макаров И.Д., Панов А.В. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ. Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018031957> (дата обращения: 29.01.2024).
2. Бринк Х., Ричардс Д., Феверолф М. Машинное обучение. Электронная книга. СПб.: Питер, 2017. – 336 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).

УДК 502.175, 711.58

*А. Е. Агафонов*

*Е. Д. Пономарева\**

студент

*Н. В. Сакова\**

кандидат технических наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## К ВОПРОСУ О РАССЕЙВАНИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Рассматривается вопрос учёта плотности застройки при оценке концентрации загрязнителей в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга.

**Ключевые слова:** атмосферные загрязнения, городская среда, Санкт-Петербург

*A. E. Agafonov*

*E. D. Ponomareva\**

student

*N. V. Sakova\**

PhD, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ON ACCOUNT OF POLLUTANTS DISPERSION IN ATMOSPHERIC AIR IN URBAN DEVELOPMENTS OF SAINT-PETERSBURG

The question of taking into account the density of buildings when estimating the concentration of pollutants in the atmospheric air of St. Petersburg is considered.

**Keywords:** air pollution, urban environment, Saint-Petersburg

Необходимость обеспечения комфортной и безопасной среды обитания в селитебных зонах населенных пунктов закреплено на законодательном уровне. Значительную роль в формировании негативного воздействия на городской воздух в СПб играет химическое загрязнение, вызываемое транспортом. Плотная многоэтажная застройка усложняет задачу их оценки, влияя на распространение загрязняющих веществ в городской среде. Организация санитарных разрывов между зданиями играет важную роль в рассеивании загрязнителей и контроле качества воздуха.

Данное исследование имеет целью установить наличие влияния санитарных разрывов на распространение загрязнителей в городской застройке. Для достижения данной цели ставилась задача анализа нормативной документации и данных из открытых источников.

В настоящее время в градостроительстве остаются в силе рекомендации СП 42.13330.2016 «Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89», где расстояния между жилыми зданиями также регламентируются на основе расчетов инсоляции и освещенности, а также в соответствии с противопожарными требованиями.

Проведённый анализ показывает, что внимание сфокусировано на требованиях инсоляции и противопожарных нормах, продуваемость же упускается из виду, чем обусловлено слабое рассеивание ЗВ в пределах жилых кварталов. Связь качества воздуха с параметрами санитарных разрывов подтверждена выполненным в 2020 году исследованием. Результаты замеров в Красногвардейском и Выборгском районах показали, что концентрация загрязнителей внутри кварталов, во дворах выше, чем у проезжей части дорог. Соответственно, расположение постов мониторинга рядом с дорогой может дать не корректную картину загрязнения атмосферного воздуха в городе.

Данные экологического мониторинга по всем районам города, в том числе концентрация загрязняющих веществ в СПб, публикуются на сайте Экологического портала СПб [1]. Помимо этого, доступна информация о качестве воздуха в режиме реального времени на BreezoMeter [2]. Их показания удовлетворительно согласуются с результатами исследований: наибольшая загрязненность атмосферного воздуха наблюдается в различных частях городской застройки, а не вдоль крупных магистралей.

Таким образом, при оценке состояния воздушной среды среди факторов, влияющих на рассеивание загрязняющих веществ, необходимо учитывать параметры санитарных разрывов. Это важно для получения достоверных сведений о качестве воздуха, необходимых для создания безопасной городской среды.

#### **Библиографический список**

1. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге по данным автоматических станций мониторинга атмосферного воздуха. URL: <https://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения: 10.01.2024).
2. Информация о качестве воздуха в режиме реального времени и на уровне улицы в Saint Petersburg, Russia. URL: <https://www.breezometer.com/air-quality-map/ru/air-quality/russia/saint-petersburg> (дата обращения: 10.01.2024).

*В. В. Алехнович\**

Аспирант

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ ШАРОВОЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Проведенные исследования подтвердили наличие технических и методических возможностей для организации лабораторного контроля параметров износостойких покрытий элементов трубопроводной арматуры. Одновременно с этим определено, что не существует универсального набора средств измерений для контроля всех типов покрытий. Комплектация оборудования лаборатории должна зависеть от химического состава, электромагнитных и механических свойств контролируемых покрытий. Существенные трудности на данный момент представляет организация оперативного входного и эксплуатационного контроля.

**Ключевые слова:** шаровые пробки, никель-фосфорные покрытия, толщина покрытия, вихретоковый толщиномер, индукционный толщиномер.

*V. V. Alekhnovich\**

Postgraduate student

\* Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING PORTABLE COATING THICKNESS MEASURING INSTRUMENTS DURING THE INCOMING INSPECTION OF BALL VALVES

The conducted studies have confirmed the availability of technical and methodological possibilities for the organization of laboratory control of parameters of wear-resistant coatings of elements of pipeline valves. At the same time it was determined that there is no universal set of measuring instruments for control of all types of coatings. The equipment of the laboratory should depend on the chemical composition, electromagnetic and mechanical properties of the controlled coatings. Significant difficulties are currently presented by the organization of operational incoming and operational control.

**Keywords:** ball plugs, nickel-phosphorus coatings, coating thickness, eddy current thickness gauge, induction thickness gauge.

**Введение.** Для защиты поверхностей шаровой пробки, подверженных трению, от износа в запорной арматуре используются защитные покрытия. Для обеспечения безаварийной эксплуатации необходимо производить входной контроль толщины покрытий [1-2]. Одним из наиболее распространенных типов покрытий является химически осажденный никель-фосфор (ENP) с последующей термообработкой. После термообработки покрытие может приобрести ферромагнитные свойства. В связи с этим возникает необходимость проведения измерений толщины покрытия с отстройкой от влияющих параметров, приобретаемых в процессе закаливания (электропроводность материалов покрытия  $\sigma_n$  и основания  $\sigma_{осн}$ , комплексная относительная магнитная проницаемость материала основания  $\bar{\mu}_{осн}$ ) [3].

**Средства и методы измерений.** Проведен контроль шаровых задвижек средством измерения утвержденного типа и с использованием аттестованной методики.

Таблица 1

Средства и методы

№	Измеряемый параметр	Метод измерения	Оборудование
1	Толщина покрытия	Метод шарового истирания	Установка шарового истирания Константа Ш2, оптический микроскоп
2	Толщина покрытия	Магнитоиндукционный и вихретоковый фазовый методы	Прибор измерение геометрических параметров Константа Кбц с преобразователями ИД1-0,3 и ФД1

**Экспериментальные данные.** Было исследовано четыре образца шаровых задвижек со следующими типами покрытий:

- никель, нанесенный методом химического никелирования (сплав никель-фосфор) (ENP) (образцы № 1, 2, 4);
- никель марки 60 (Ni60) (образец № 3).

Результаты измерения толщины покрытий различными методами представлены в таблице 2.

## Результаты измерений

	1	2	3	4
Толщина, мкм				
Заявленная	76	76	500	-
Константа Ш2	153	70	497	86
Константа Кбц, ФД1 (градуировка ENP)	147	45	-	-
Константа Кбц, ИД1	36	70	-	-

**Обсуждение результатов.** Результаты измерения толщины покрытий магнитоиндукционным и вихре-токовым фазовым методом зависят от магнитных свойств образца. Для использования данных методов необходимо произвести настройку прибора, которая заключается в проведении измерений на участке образца без покрытия и на настроечной мере толщины покрытия, эквивалентного по своим электромагнитным свойствам покрытию контролируемого образца, что в условиях производства не всегда является возможным.

Измерение толщины покрытий методом шарового истирания является видом разрушающего контроля. Метод позволяет определить толщину покрытия с методической погрешностью 6% [4]. Данный метод измерения является наиболее универсальным, так как на результаты измерений не влияют электромагнитные свойства материалов покрытия и основания.

**Выводы.** Выявлено, что применение портативных толщиномеров, даже являющихся средствами измерений утвержденного типа и прошедших поверку, не гарантирует получения достоверных результатов измерений толщины покрытий. Данный факт объясняется физическими принципами работы этих приборов и комплексным влиянием на их показания различных физико-механических и электромагнитных параметров покрытия и основания. Для решения этой проблемы необходимо проводить настройку (градуировку) средств измерений на соответствующих контрольных образцах или мерах, изготовленных из образцов контролируемых изделий или аналогичных им по соответствующим свойствам электропроводности и магнитной проницаемости. Индукционные толщиномеры обладают требуемой погрешностью, однако их применение затруднено тем, что ферромагнитные свойства покрытия не позволяют применять их в данной задаче. Перспективным является применение индукционных толщиномеров с функцией подмагничивания [5].

Для метрологической аттестации мер (контрольных образцов) толщины покрытия следует использовать метод шарового истирания [4]. Достоинством методики является применение прямых измерений линейных размеров следов износа, что исключает возникновение погрешностей, связанных с физической природой измерительного преобразования других методов измерений. Кроме того, методика позволяет проводить измерения без разрушения деталей, на образцах сложной формы и большого размера. Недостатком методики является использование выборочного контроля, в рамках которого осуществляется выбор образца из партии с последующим нарушением целостности покрытия. С этой точки зрения, методика является разрушающей.

## Библиографический список

1. МУ.10.36 ООО «Иркутская нефтяная компания» «Единые технические требования на поставку кранов шаровых», стр. 15, п. 5.10-5.12, Иркутск, 2019 г.
2. СТО Газпром 2-4.1-1108-2017 Арматура трубопроводная. Краны шаровые специальные. Общие технические условия.
3. Сясько В. А., Голубев С. С., Смородинский Я. Г., Потапов А. И., Соломенчук П. В., Смирнова Н. И. Измерение электромагнитных параметров мер толщины металлических покрытий. Дефектоскопия. Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 25–36. DOI: 10.1134/S0130308218100044.
4. Гоголинский К. В., Ивкин А. Е., Алехнович В. В., Васильев А. Ю., Тюрнина А. Е., Васильев А. С. Оценка показателей точности определения толщины покрытий методом шарового истирания // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. №Том 86. №7. С. 39–44.
5. V. Syasko, P. Solomenchuk, A. Ivkin and A. Vasilev Thickness inspection of magnetic nickel coatings on ball valve mechanisms. BINDT NDT 2021 Webinar Week.

*И. А. Андреев\**

студент

*Д. А. Владимиров\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**ГЕНЕРАЦИЯ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА В СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ**

Представлены результаты исследования процесса генерации пикосекундных импульсов света в среднем инфракрасном диапазоне. Для этого используется параметрическое взаимодействие световых сигналов в кристаллах прустита, пираргирита и селенида галлия и проводится генерация разностной частоты (применяется высокостабильный пикосекундный лазер на фосфатном стекле). Также приведены результаты генерации второй гармоники в кристалле КДП с эффективностью преобразования 30%.

**Ключевые слова:** генерация, средний ИК диапазон, параметрическое взаимодействие.

*I. A. Andreev\**

Student

*D. A. Vladimirov\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

**GENERATION OF PICOSECOND PULSES OF LIGHT IN THE MID-IR RANGE**

The results of a study of the process of generating picosecond pulses of light in the mid-infrared range are presented. For this purpose, the parametric interaction of light signals in crystals of prustite, pyrgyrite and gallium selenide is used and a difference frequency is generated (a highly stable picosecond laser on phosphate glass is used). The results of the generation of the second harmonic in a CDP crystal with a conversion efficiency of 30 % are also presented.

**Keywords:** generation, mid-IR range, parametric interaction

Генерация пикосекундных импульсов света в среднем ИК диапазоне вызвана необходимостью исследования быстро протекающих явлений в этом диапазоне спектра. К сожалению, самым большим препятствием является оптический пробой материала, так как данная генерация происходит при интенсивностях близких к пробойным.

Работа посвящена исследованию параметрической генерации, а также генерации разностной частоты в кристаллах прустита, пираргирита, селенида галлия. В качестве задающего генератора нами применен высокостабильный пикосекундный лазер на фосфатном стекле (ФС) [1]. Моноимпульсное излучение ФС имело следующие параметры: начальная энергия  $0,05 \pm 0,2$  мДж, а после двух каскадов усиления достигающая до 20 мДж, длительность импульса 6-8 пс, спектральная добротность  $\Delta\nu\tau = 0,5$ , частота следования рабочих циклов 2 Гц. Вторая гармоника генерировалась в кристалле КДР, эффективность преобразования 30%.

Параметрическая генерация в прустите осуществлялась при накачке с длиной волны  $\lambda_n = 1055$  нм. Получена перестройка холостой волны в диапазоне 1,4-5 мкм, однако эффективность процесса даже в вырожденном режиме была ниже 1%. Значительное увеличение энергии сигнальной волны достигнуто при использовании метода генерации разностной частоты (ГРЧ). Суммировались колебания волны накачки с  $\lambda_n = 1055$  нм, сигнальной волны, перестраиваемой в диапазоне  $\lambda_c$  в диапазоне  $0,75 \pm 1,8$  мкм. Последняя генерировалась в параметрическом генераторе на кристаллах КДР и ДКДР, построенных по двухкристальной схеме [2]. В ГРЧ использовалось взаимодействие типа  $\mathbf{K}_n - \mathbf{K}_c = \mathbf{K}_p$ , где  $\mathbf{K}_n$ ,  $\mathbf{K}_c$ ,  $\mathbf{K}_p$  – волновые вектора взаимодействующих волн накачки, сигнальной и разностной соответственно. Энергия волны накачки на входе ГРЧ составляла 2 мДж, а сигнальной 0,2 мДж. Применялась слегка неколлинеарная схема взаимодействия. Диапазон перестройки в случае кристалла прустита составлял 3,7-10,2 мкм (рис. 1).

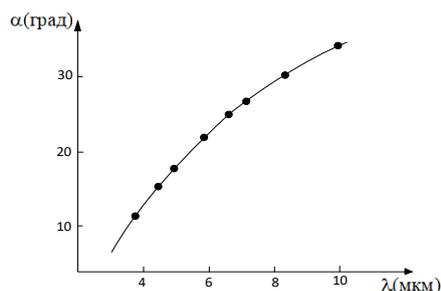


Рис. 1. Зависимость внешнего угла поворота кристалла прустита от длины волны разностной частоты

Максимально достигнутая энергия разностной волны составила 30 % от энергии сигнальной волны и изменялась от 25 до 50 мкДж. Спектральная ширина излучения ГРЧ  $\approx 7\text{см}^{-1}$ . Применение нелинейных кристаллов GaSe позволило довести диапазон перестройки ГРЧ вплоть до 18 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

#### **Библиографический список**

1. Parametric generation of picosecond light pulses in the mid-IR region. URL: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=opn-3-12-100> (дата обращения: 01.12.2023).
2. Investigation of parametric generation in proustite, pirargyrite, and gallium selenide crystals. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/19/1/013004> (дата обращения: 01.12.2023).

*А. А. Анисимов\**

аспирант

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НОВЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СТРУКТУР ИЗ АТОМОВ РИДБЕРГА

Рассмотрен метод охлаждения полярных молекул с помощью охлажденных атомов Ридберга, который эффективно работает в атомных ловушках, используемых для измерений.

**Ключевые слова:** атомы Ридберга, охлаждение, измерение.

*A. A. Anisimov\**

graduate student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## NEW APPLICATIONS OF RYDBERG ATOMOUS STRUCTURES

A method for cooling polar molecules using cooled Rydberg atoms has been reviewed, which works effectively in atomic traps used for measurements.

**Keywords:** Rydberg atoms, cooling, measurement.

Рассмотрены возможность использования лазеров для замедления и охлаждения полярных молекул в холодных пучках с низкой плотностью без схем традиционного охлаждения до температур жидкого азота и жидкого гелия. Охлаждение достигается путем взаимодействия полярных молекул с газом, находящимся в состоянии Ридберга. Сечения упругих столкновений между молекулами и достаточно велики, чтобы эффективно снижать температуру молекул в среде с низкой плотностью. Такой метод позволяет быстро замедлить движение молекул со скоростью 100 м/с за счет их столкновений с охлажденными атомами, минимизируя потери энергии [1].

Рассмотренный метод не включает в себя рассеяние фотонов от молекул и может быть успешно применен к разнообразным сложным молекулярным системам. Молекулы, удерживаемые в ловушках, представляют собой уникальные квантовые системы, и их использование может охватывать широкий спектр приложений – от поиска новых физических свойств за пределами стандартной модели до квантовой обработки информации, благодаря богатой структурным особенностям молекул.

Метод обладает некоторыми ограничениями, поскольку требует сложных молекулярных структур, что сужает выбор доступных молекул. Кроме того, лазерное охлаждение обычно включает в себя десятки и сотни тысяч событий рассеяния фотонов, что требует прецизионной спектроскопии. Конечный технический процесс будет сложным и времязатратным, особенно для молекул с тяжелыми атомами или большим числом атомов.

Использование рассмотренного метода для охлаждения атомов является перспективным направлением, не требующим использования традиционной техники охлаждения до температур единиц градусов кельвин. Это актуально, потому что загрузка сложных и реакционноспособных видов в ловушки с достаточной плотностью атомов и молекул для эффективного охлаждения часто может быть невозможна из-за технических трудностей. Однако из-за значительно меньшей плотности столкновения между молекулами и атомами в основном состоянии обычно слишком редки для эффективного охлаждения в пучке.

В описанном методе существуют два ключевых требования, которые необходимо отметить и которые являются общими для полярных молекул. Во-первых, необходимо, чтобы средний свободный путь молекул был значительно меньше размера атомного облака, чтобы обеспечить термическую обработку молекул перед их диффузией из облака. Во-вторых, вероятность потерь при столкновениях не должна быть слишком высокой. Предполагается, что достаточно порядка тридцати столкновений, чтобы перевести молекулу из состояния с температурой в несколько Кельвина и скоростью  $\sim 100$  м/с в ультрахолодное состояние [2]. Эти требования гораздо менее строгие, чем у существующих методов охлаждения.

При использовании нескольких главных квантовых чисел, удаленных от пика, сечение потерь при переносе заряда обычно составляет менее  $10^{-12}$  см<sup>2</sup>, что более чем на два порядка меньше, чем упругое сечение [3]. Это означает, что неупругие столкновения должны оказывать пренебрежимо малый эффект на потери, и более половины молекул из начального распределения со скоростью 100 м/с должны выжить в ультрахолодной ловушке. Таким образом, охлаждение ридберговских атомов оказывается более эффективным, чем лазерное охлаждение атомов Ридберга с утечкой всего  $10^{-5}$  фотонов рассеяния.

Полярные молекулы могут быть замедлены и охлаждены при столкновениях с охлаждаемыми лазером ридберговскими атомами. Метод обходит необходимость в рассеянии фотонов от молекул, взаимодействие с ридберговским атомом происходит за счет молекулярного дипольного момента, что делает такой подход универсальным для полярных молекул. Что в свою очередь открывает новые перспективы для ловушек с ультрахолодными температурами для многих молекул, не имеющих лазерных циклических переходов или трудных для охла-

ждения. Продемонстрированный метод может значительно расширить область применения ультрахолодных молекул. Несомненным преимуществом данного метода является отсутствие традиционных громоздких охлаждающих установок является дорогостоящими и сложными в процессе эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Electric field measurement and application based on Rydberg atoms Bang Liu, Li-Hua Zhang, Zong-Kai Liu, Zi-An Deng, Dong-Sheng Ding,\* Bao-Sen Shi, and Guang-Can Guo Key Laboratory of Quantum Information, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China. and Synergetic Innovation Center of Quantum Information and Quantum Physics, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China. (May 2023).
2. Springer Handbooks of Atomic, Molecular, and Optical Physics Gordon W. F. Drake (Ed.) Editor: Dr. Gordon W. F. Drake Department of Physics University of Windsor Windsor, Ontario N9B 3P4 Canada Assistant Editor: Dr. Mark M. Cassar Department of Physics University of Windsor Windsor, Ontario N9B 3P4 Canada.
3. Assessment of Rydberg Atoms for Wideband Electric Field Sensing David H. Meyer,\* Zachary A. Castillo,† Kevin C. Cox, and Paul D. Kunz U.S. Army Research Laboratory, 2800 Powder Mill Rd, Adelphi MD 20783, USA (Dated: August 12, 2021).

*И. Ю. Братухин\**

магистрант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ИСКУССТВЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Описан расчет брегговских волноводов, которые благодаря своим специфическим спектральным и дисперсионным характеристикам, непосредственно используются в конструкциях активных и пассивных интегрально-оптических устройств.

**Ключевые слова:** дисперсионные характеристики, периодическая структура, поверхностные волны, метод матриц передачи, метод эффективной среды.

**I.Yu. Bratuchin\***

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## ELECTROMAGNETIC WAVES IN ARTIFICIAL COMPOSITE MATERIALS

The calculation of Bragg waveguides, which due to their specific spectral and dispersion characteristics are directly used in the designs of active and passive integrated-optical devices, is described.

**Keywords:** dispersion characteristics, periodic structure, surface waves, transmission matrix method, effective medium method.

Рассмотрен синтез искусственных композитных материалов, используемых при моделировании и изготовлении брегговских волноводов. Исследуемые материалы содержат оптически-активные включения и могут функционировать на одинаковых физических принципах в различных диапазонах частот от СВЧ до оптического. Рассмотрены методы анализа искусственных сред со сложной пространственной композицией, что позволило выявить ряд новых физических эффектов и закономерностей распространения и рассеяния электромагнитных волн на таких композитных структурах [1]. Проведены исследования электродинамических свойств планарных брегговских отражателей и интегрально-оптических волноводов в периодической и аperiodической конфигурации. Разработаны физико-математические модели и созданы эффективные численные алгоритмы для исследования дисперсионных и спектральных характеристик электромагнитных волн в таких композитных структурах.

Предложено использовать самогенерирующие классическую и обобщенную последовательности Колакоски для формирования аperiodических слоистых сред. Обнаружено, что в планарных брегговских волноводах с аperiodическим порядком четверть-волновых слоев в оболочке, частоты отсечки направленных мод приобретают "синий" сдвиг, по сравнению с волноводом с периодической оболочкой. Указано, что такой эффект не наблюдается в волноводах, в которых оболочка сформирована из слоев, оптические толщины которых не удовлетворяют условию Брэгга. Исследовано влияние аperiodической конфигурации оболочки волновода на хроматическую дисперсию и впервые обнаружено, что длина волны нулевой дисперсии испытывает "красное" смещение по сравнению со стандартным брегговским волноводом.

Получено решение задачи по определению дисперсионных характеристик объемных и поверхностных поляритонов, распространяющихся в искусственной среде, сформированной в виде надрешетки феррит-полупроводник, находящейся под воздействием внешнего статического магнитного поля.

Обнаружено, что в двух отдельных конфигурациях намагниченности, а именно в полярной геометрии и геометрии Фойгта, спектральные регионы существования поверхностных и объемных поляритонов могут частично или полностью перекрываться. Показано, что такое сосуществование объемных и поверхностных поляритонов в пределах одного и того же диапазона частот и волновых векторов при фиксированном значении приложенного внешнего статического магнитного поля может быть получено путем соответствующего выбора материальных и геометрических параметров сверхрешетки. В пределах областей взаимодействия мод, была определена сила их связи между собой и направление распространения [2].

### Библиографический список

1. Веселаго В. Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями  $\epsilon$  и  $\mu$ . УФН. 1967; 92(7):517–26.
2. Братухин И. Ю. Активная система измерения комплексной диэлектрической проницаемости функциональных материалов на основе резонатора Фабри-Перо // Радиотехника. – 2023. – т. 87, № 6. С. 50–62.

*В. Ю. Горбунова\**

Студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности  
\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НА ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В статье описана необходимость метрологического обеспечения на этапе производства печатных плат для обеспечения качества и надежности электронных устройств. В процессе производства печатных плат метрологические аспекты включают в себя контроль размеров, формы, толщины и других параметров, которые определяют функциональность и электрические характеристики плат.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, входной контроль, управление качеством, контроль параметров.

*B. Yu. Gorbunova\**

Student of the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety  
\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## METROLOGICAL SUPPORT AT THE STAGE OF PRODUCTION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

The article describes the necessity of metrological support at the stage of printed circuit boards production to ensure the quality and reliability of electronic devices. In the process of production of printed circuit boards metrological aspects include control of dimensions, shape, thickness and other parameters that determine the functionality and electrical characteristics of the boards.

**Keywords:** metrological support, incoming inspection, quality control, parameter control.

Метрологическое обеспечение – это система мер и средств, направленных на обеспечение точности измерений, контроля и испытаний. Оно включает в себя установленные стандарты, методики, оборудование и процедуры, которые гарантируют правильность и надежность измерений. На этапе производства печатных плат метрологическое обеспечение обычно включает в себя проверку точности измерений размеров и форм, а также контроль качества материалов и компонентов. Это важно для обеспечения безопасной и надежной работы электронных устройств. Ниже приведены самые важные аспекты метрологического обеспечения:

1. Калибровка и поверка оборудования: в процессе производства печатных плат используется разнообразное оборудование: фрезерные станки, сверлильные станки, паяльные станции и другие. Для обеспечения точности и надежности измерений необходимо регулярно проводить калибровку и поверку данного оборудования с помощью специализированных метрологических средств.

2. Контроль размеров и формы печатной платы: печатные платы имеют определенные размеры и форму, которые должны соответствовать заданным требованиям. Для контроля размеров и формы применяются различные измерительные инструменты: микрометры, штангенциркули, координатные измерительные машины и так далее. Эти инструменты позволяют проверить соответствие размеров и формы печатной платы заданным параметрам.

3. Контроль параметров проводников и отверстий: также платы содержат проводники и отверстия, которые должны иметь определенные параметры, такие как диаметр проводников, ширина трасс, диаметр отверстий и другие. Для контроля этих параметров используются специализированные измерительные инструменты: микроскопы, микрометры, измерители толщины покрытий и т.д.

4. Контроль электрических параметров: печатные платы должны соответствовать определенным электрическим параметрам, таким как сопротивление, емкость, индуктивность и другие. Для контроля этих параметров применяются специализированные измерительные приборы: мультиметры, осциллографы, LCR-метры и т.д.

5. Визуальный контроль: важным аспектом метрологического обеспечения является визуальный контроль печатных плат на предмет дефектов – трещины, пузырьки, неправильные покрытия и другие. Для этого используются микроскопы, лупы и осветительные системы.

6. Система управления качеством: реализация системы управления качеством, такой как ISO 9001, может помочь обеспечить соответствие процессов производства печатных плат международным стандартам. Это включает в себя документирование процедур, требований и контроль качества продукции.

7. Обучение и квалификация персонала: важно иметь хорошо подготовленный и квалифицированный персонал, который может правильно выполнять метрологические процедуры и контроль качества. Обучение и регулярное обновление знаний персонала являются неотъемлемой частью метрологического обеспечения. Специалисты должны знать требования к проведению входного контроля, а также требования к качеству паяных соединений, стандарт IPC-A-610.

Метрологическое обеспечение на этапе производства печатных плат включает в себя широкий спектр мероприятий и инструментов для контроля размеров, формы, параметров и качества изделий. Оно играет важную роль в обеспечении надежности и соответствия печатных плат требованиям заказчика.

Заключение по метрологическому обеспечению на этом этапе должно подтверждать соответствие производимых печатных плат требованиям стандартов и спецификаций. Также оно должно содержать рекомендации по улучшению процесса производства и контроля качества.

Эффективное метрологическое обеспечение на этапе производства печатных плат помогает предотвратить дефекты и отклонения, гарантируя высокое качество и надежность конечной продукции [1-5].

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 24297–2013 «Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля».
2. ГОСТ Р 56427-2022 «Пайка электронных модулей радиоэлектронных средств. Автоматизированный смешанный и поверхностный монтаж с применением бессвинцовой и традиционной технологии. Требования к технологии сборки и монтажа».
3. Стандарт IPC-A-610E «Критерии приемки электронных сборок».
4. Правиков, Ю. М. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина. – М.: КНОРУС, 2012. – 240 с.
5. Радкевич, М. Я. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2014. – 813 с.

А. В. Деева\*

инженер 2 категории

\*ФГУП «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова»

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА

Описана методика оценки неопределенности измерения эквивалентного уровня звука, звукового давления при проведении производственного контроля.

**Ключевые слова:** эквивалентный уровень звука, неопределенность измерений.

A. V. Deeva\*

engineer of the 2nd category

\*FSUE "Scientific Research Technological Institute named after A.P. Alexandrov"

## DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE UNCERTAINTY OF MEASURING THE EQUIVALENT SOUND LEVEL

A method for estimating the uncertainty of measuring the equivalent sound level and sound pressure during production control is described.

**Keywords:** equivalent sound level, measurement uncertainty.

ГОСТ ISO 9612-2016 устанавливает методику оценки неопределенности измерения эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день  $L_{EX, 8h}$ . Метод используется при проведении специальной оценки условий труда и последующей аттестации рабочих мест. Установим методику оценки неопределенности измерения эквивалентного уровня звука, звукового давления  $L_{p,A,eqT,m}$  при выполнении  $m$ -й рабочей операции. Данный метод может применяться аккредитованными лабораториями при проведении измерений уровней шума на рабочих местах в рамках производственного контроля, когда не требуется определять эквивалентный уровень звука  $L_{EX, 8h}$  за 8-часовой рабочий день.

Источниками неопределенности измерения эквивалентного уровня звука  $L_{p,A,eqT}$  являются:

- выборка для рабочей операции,
- средства измерений (далее – СИ),
- положение микрофона.

В предположении, что входные величины, влияющие на эквивалентный уровень звука  $L_{p,A,eqT,m}$  при выполнении  $m$ -й рабочей операции некоррелированы, суммарную стандартную неопределенность  $u(L_{p,A,eqT,m})$  рассчитывают на основе стандартных неопределенностей входных величин по формуле:

$$u(L_{p,A,eqT,m})^2 = c_1^2 (u_{1,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2), \quad (1)$$

где  $c_1$  – коэффициент чувствительности для соответствующих входных величин, действующих во время выполнения операции,  $u_{1,m}$  – стандартная неопределенность измерения эквивалентного уровня звука при выполнении  $m$ -й рабочей операции,  $u_{2,m}$  – стандартная неопределенность инструментальной составляющей неопределенности измерения уровня шума,  $u_3$  – стандартная неопределенность фактора, описывающего место установки микрофона.

Вследствие линейности зависимости для  $L_{p,A,eqT,m}$  коэффициенты чувствительности, связанные с неопределенностью средства измерений  $c_2$  и положением микрофона  $c_3$  совпадают и равны  $c_1$ .

Соответствующий бюджет неопределенности приведен в таблице 1.

Таблица 1

Бюджет неопределенности

Величина	Полученное значение величины	Стандартная неопределенность $u_i$	Распределение	Коэффициент чувствительности $c_i$	Вклад в общую неопределенность $c_i \cdot u_i$ , дБ
$L_{p,A,eqT,m}$	Среднее (по энергии) результатов измерений	$u_{1,m}$ для каждой $m$ -й операции, определяется по формуле (2)	Нормальное	$c_1$ для каждой $m$ -й операции, определяется по формуле (3)	$c_1 \cdot u_{1,m}$
Q2	0	$u_{2,m}$	Нормальное	$c_1$	$c_1 \cdot u_{2,m}$
Q3	0	$u_3$	Нормальное	$c_1$	$c_1 \cdot u_3$

Расчет вкладов в неопределённость измерения:

1. Стандартную неопределённость  $u_{1,m}$ , характеризующую непостоянство уровня шума при выполнении  $m$ -й операции, рассчитывают по формуле:

$$u_{1,m} = \sqrt{\frac{1}{6} \left[ \sum_{i=1}^I (LEQ_i - \overline{LEQ})^2 \right]} = \frac{(LEQ_1 - \overline{LEQ})^2 + (LEQ_2 - \overline{LEQ})^2 + (LEQ_3 - \overline{LEQ})^2}{6}, \quad (2)$$

где  $I = 3$ ,  $m$  – номер выборочного измерения,  $LEQ_i$  – эквивалентный уровень звука при выполнении  $m$ -й рабочей операции,  $\overline{LEQ}$  – эквивалентный уровень звука при выполнении  $m$ -й рабочей операции, усредненный по результатам  $I$  выборочных измерений, т.е.:

$$\overline{LEQ} = \frac{1}{3} (LEQ_1 + LEQ_2 + LEQ_3) \quad (3)$$

2. Стандартную неопределённость  $u_{2,m}$ , обусловленную применяемым средством измерений, определяют в соответствии с таблицей 2:

Таблица 2

Стандартная неопределённость  $u_{2,m}$

Применяемое СИ	$u_{2,m}$ , дБ
Шумомер класса 1 по МЭК 61672	0,7
Персональный дозиметр шума по МЭК 61252	1,5
Шумомер класса 2 по МЭК 61672	1,5

3. Стандартную неопределённость  $u_3$ , связанную с выбором положения микрофона, принимают равной 1 дБ.

4. Коэффициент чувствительности определяют через зависимость  $c_1 \cdot u_1$  в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3

Вклад  $c_1 \cdot u_1$  в суммарную стандартную неопределённость

$u_1$	0,5	1	1,5
$c_1$	1,2	1,6	2,1

#### Библиографический список

- ГОСТ ISO 9612-2016. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах. М.: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 34100.3-2017. Неопределённость измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределённости измерения. М.: Стандартинформ, 2018.

*Д. Н. Денисова\**

Студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности  
\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРИЕМА И ВЫДАЧИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ

В статье описана необходимость внедрения цифровых технологий в процесс приема и выдачи средств измерений, подлежащих поверке и калибровки. Также описаны этапы цифровизации, их резонность и предполагаемые результаты реализации.

**Ключевые слова:** метрологическая служба, поверка средств измерений, цифровизация процессов, обработка заявок.

*D. N. Denisova\**

Student of the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety  
\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## METROLOGICAL SUPPORT AT THE STAGE OF PRODUCTION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

The article describes the need for the implementation of digital technologies in the process of receiving and dispensing measuring instruments that require calibration and verification. It also outlines the stages of digitalization, their rationale, and the expected results of their implementation.

**Keywords:** metrological service, calibration of measuring instruments, digitization of processes, processing of applications.

Метрологические лаборатории являются ключевым звеном в обеспечении единства измерений, их точности и надежности. Однако, в условиях постоянно растущих требований к качеству и скорости проведения метрологических измерений, традиционные методы приема в поверку и выдачи средств измерений могут оказаться неэффективными. Следовательно, внедрение цифровых технологий и автоматизированных систем становится необходимостью, которая позволит оптимизировать рабочие процессы метрологической лаборатории.

1. Цифровизация рабочих процессов значительно упростит операции, связанные с регистрацией средств измерений при приемке. Автоматическое распознавание и обработка данных, использование электронных форм документов и накладных, а также применение штрих-кодов и RFID-меток позволяют сократить время, затрачиваемое на выполнение рутинных операций. Кроме того, автоматическое считывание штрих-кодов или RFID-меток и связь с централизованной системой управления позволяют сократить необходимость ручного ввода и переноса данных между различными системами, тем самым исключая возможность ошибок во время идентификации и отслеживания средств измерений. Это также обеспечивает более точный контроль за оборотом СИ и оперативный доступ к информации о состоянии и готовности средств измерений, находящихся в поверке.

2. Автоматизированные системы позволяют централизованно планировать поверку средств измерений, а также ускорять процесс обработки и генерации отчетности. Это не только значительно снижает риски простоев и задержек в процессе работы, но и дает возможность более эффективно контролировать и отслеживать все этапы обработки заявок, начиная от заказа и регистрации средств измерений, до их поверки и выдачи. Кроме того, такой шаг, как цифровизация процессов, поможет улучшить планирование и использование ресурсов метрологической лаборатории.

3. Еще одним значимым аспектом цифровизации процесса является улучшение связи с клиентами. Использование цифровых технологий позволяет клиентам получать информацию о статусе и готовности их заказов, получать отчеты и сертификаты через электронные каналы связи, что способствует более быстрому решению вопросов и проблем, возникающих у клиентов.

4. Интеграция процесса приема и выдачи средств измерений с другими системами метрологической лаборатории является дополнительным преимуществом цифровизации. Взаимодействие с системами управления калибровкой и поверкой, системами мониторинга и контроля качества, системами управления оборудованием и ресурсами позволяет достичь более согласованного и эффективного функционирования всей лаборатории. Такой подход минимизирует необходимость в ручном вводе и переносе данных между различными системами, что способствует повышению надежности и точности информационного обмена.

Актуализация процессов приема и выдачи средств измерений в метрологической лаборатории путем цифровизации представляет собой важную и перспективную задачу. Применение информационных и коммуникационных технологий в этой сфере позволяет добиться оптимизации использования ресурсов и времени, совершенствования управленческого процесса и повышения точности и эффективности проведения всего цикла деятельности.

Таким образом, в результате цифровизации, метрологические лаборатории могут значительно повысить свою эффективность и соответствовать современным требованиям к качеству и скорости проведения измерений.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 8.1024–2023 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза измерений».
2. Правиков, Ю. М. Метрология и метрологическое обеспечение производства / Ю. М. Правиков. – учебное пособие: УлГТУ, 2020. – 265 с.
3. Радкевич, М. Я. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2014. – 813 с.

*К. И. Доронин\**

студент

*А. С. Голев\*\**

аспирант

*А. С. Уманский\**

к. т. н., зав. кафедрой

\*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II»

\*\*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

## ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ

Представлены результаты испытаний стали методом динамического индентирования. Описано различие значений твердости и модуля упругости при использовании преобразователей типа D и C.

**Ключевые слова:** динамическое инструментальное индентирование, датчик, твердость, модуль упругости.

*K. I. Doronin\**

student

*A. S. Golev\*\**

postgraduate

*A. S. Umanskiy\**

Ph.D. Head of the Department

\*Saint Petersburg Mining University

\*\*D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

## SENSOR TYPE INFLUENCE UPON CALCULATION OF MECHANICAL PROPERTIES DURING DYNAMIC INDENTATION

Steel testing results via dynamic indentation are presented. Variation in hardness and elastic modulus values using D and C type probes is described.

**Keywords:** dynamic indentation, sensor, hardness, elastic modulus.

В процессе контроля свойств различных материалов важно корректно подбирать средства контроля, а также первичные преобразователи, используемые совместно со средствами измерений. Такие требования обусловлены не только наличием специфических свойств материалов, но и диапазонами величин, в которых они находятся. Так, в методах определения твердости наиболее распространенной шкалой является шкала Бринелля (НВ), где метод основан на внедрении шара в поверхность исследуемого материала. Однако при повышении значений твердости целесообразен переход к шкале Виккерса (НV), где устройство нагружения имеет индентор в виде четырехгранной пирамиды.

Портативным способом определения физико-механических свойств является метод динамического индентирования, в котором характеристики материала определяются по параметрам отскока индентора. В зависимости от исследуемого материала возможно применение различных типов измерительных преобразователей, предназначенных для измерения твердости по шкале Либа. Такие преобразователи имеют стандартизованные параметры энергии удара, массы ударника и скорости осуществления контактно-ударного взаимодействия [1].

В данной работе используются два типа преобразователя (D и C), модернизированные под метод динамического индентирования [2]. В процессе испытаний стали марки 20X25H20C2 было произведено по 10 измерений, сигнал преобразователей фиксировался с помощью осциллографа Keysight Technologies DSOX2002A. Полученные осциллограммы передавались на персональный компьютер и обрабатывались по методике, описанной в ГОСТ Р 56474-2015 [3]. Рассчитанные значения остаточной глубины внедрения  $h_f$ , максимальной глубины внедрения  $h_{max}$ , твердости  $H_{IT}$  и модуля упругости  $E_{IT}$ , приведены в таблице 1. В качестве опорных значений в таблице 1 используются данные, полученные в единицах твердости по шкале Виккерса, пересчитанные в ГПа, и табличные значения для модуля упругости. Средство измерения твердости по шкале Виккерса – микротвердомер ПМТ-3.

Таблица 1

Результаты испытаний

Параметр	Тип С	Тип D	Опорное значение
$h_{max}$ , мкм	$19,38 \pm 0,12$	$34,71 \pm 0,49$	-
$h_f$ , мкм	$11,21 \pm 0,11$	$20,64 \pm 0,49$	-
Твердость $H_{IT}$ , ГПа	$2,52 \pm 0,03$	$3,38 \pm 0,05$	$3,19 \pm 0,11$ (НV)
Модуль упругости $E_{IT}$ , ГПа	$182,67 \pm 2,39$	$193,69 \pm 2,99$	206 (табл.)

Измерения, полученные преобразователем типа D, демонстрируют более близкие значения модуля упругости к табличным для данного типа сталей. Аналогично для твердости – значения более близки к ранее полученным данным при испытаниях классическим методом. Такие различия могут быть обусловлены особенностями меньшей массы и скорости удара у преобразователя типа С, нежели у D (3,1 г и 1,4 м/с против 5,45 г и 2,05 м/с соответственно). Тип С чаще применяется для контроля более мягких материалов и его кинетической энергии удара в 3 мДж недостаточно для обеспечения корректного контактного взаимодействия с металлом. Получаемые им свойства потенциально характеризуют только поверхностные характеристики.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 8.969-2019 (ISO 16859-1:2015). Государственная система обеспечения единства измерений. Металлы и сплавы. Определение твердости по шкалам Либа. Часть 1. Метод измерений.
2. Umanskii A., Gogolinskii K., Syasko V., Golev A. Modification of the Leeb Impact Device for Measuring Hardness by the Dynamic Instrumented Indentation Method // Inventions, 2022, 7, 29. DOI:10.3390/inventions7010029.
3. ГОСТ Р 56474-2015. Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Общие требования.

А. Э. Егоров \*

магистрант

А. Ю. Зилинберг\*

к. т. н, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Рассматриваются особенности определения местоположения роботизированной платформы. Найдены вероятности двух методов нахождения координаты при помощи статистического критерия Колмогорова-Смирнова, по которым осуществляется отбор наиболее эффективного метода.

**Ключевые слова:** система внутреннего позиционирования, статистические критерии, оптимальный алгоритм, трилатерация, определение местоположения объекта.

А. Е. Egorov\*

Master's student

А. Y. Zilnberg\*

PhD, Associate Professor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ALGORITHMS FOR IMPROVING THE ACCURACY OF DETERMINING THE LOCATION OF AN OBJECT IN THE INTERNAL POSITIONING SYSTEM

The features of determining the location of a robotic platform are considered. The probabilities of two methods for finding the coordinate are found using the Kolmogorov-Smirnov statistical criterion, which is used to select the most effective method.

**Keywords:** internal positioning system, statistical criteria, optimal algorithm, trilateration, object location determination

Для отслеживания местоположения и перемещения в промышленном помещении роботизированной платформы был разработан прототип системы внутреннего позиционирования, состоящий из трех основных модулей. Первый модуль является радиопередатчиком с радиомаяками использующие метод трилатерации для нахождения координат. Второй модуль выполнен в виде лазера и оптической системы, сканирующей и вычисляющей положение пятна отраженного лазера. Третий модуль включает в себя микропроцессор для расчетов данных и подачи команд предыдущим двум, которые производят измерения последовательно. Также третий модуль включает телекоммуникационную систему для приема и передачи информации на базовую станцию. При нахождении позиции объекта на заранее созданной карте методом трилатерации появляются погрешности определения расстояния. Для уменьшения погрешности можно повысить точность нахождения координат, используя статистические критерии, оптимальные методы обработки, машинное обучение и фильтрацию для анализа синтезированной математической модели с реальными данными. Такая обработка позволяет осуществить выбор единственного точного значения, полученного из двух измерительных модулей положения.

В процессе разработки математической модели опробованы три метода оптимальных критериев: t-критерий Стьюдента, критерий Колмогорова-Смирнова и критерий Вилкоксона (рис. 1).

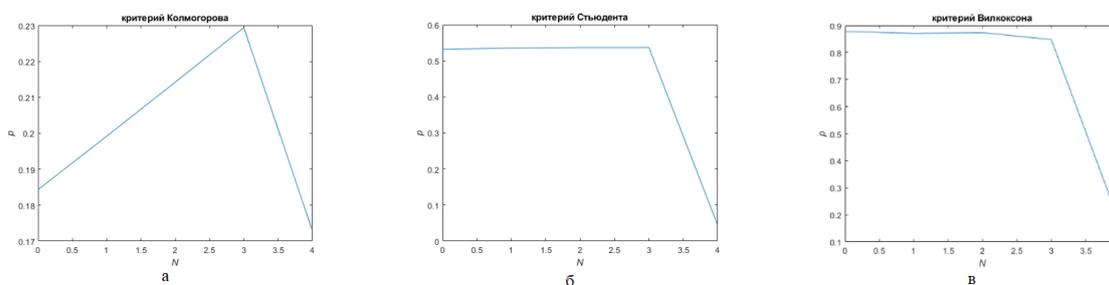


Рис. 1. а) тест критерия Колмогорова-Смирнова, б) тест критерия Стьюдента, в) тест критерия Вилкоксона

Критерий(статистика) согласия Колмогорова – Смирнова имеет большую чувствительность отличий в двух выборках:

$$D_n = \sup |F_n(x) - F(x)|, \quad (1)$$

где  $\sup$  – супремум функции,  $F_n(x)$  – эмпирическая функция распределения,  $F(x)$  – эвристическая функция распределения

Ниже приведена формула статистики по Смирнову:

$$\lambda = \sqrt{\frac{nm}{n+m}} D_n, \quad (2)$$

где  $n$ ,  $m$  – объем первой и второй выборки,  $D_n$  – статистика критерия

Исходя из опыта, полученного в процессе проведения математического моделирования, более эффективным показал себя критерий Колмогорова-Смирнова. Разработка универсальной математической модели маршрута позволяет повысить точность позиционирования и управления объекта до одного сантиметра независимо от изменения параметров поверхности или радиопомех, так как используются данные двух совмещенных модулей, основанных на разных физических принципах работы с двумя разными методами определения положения объекта.

**Выводы.** При сравнении синтезированной модели с рассчитанными данными, полученных с устройств, по критерию Смирнова-Колмогорова получили вероятность совпадения маршрутов в пяти точках 0.184, 0.199, 0.214, 0.229, 0.172 соответственно. Вероятность 0,5 является полным совпадением, полученные результаты имеют отклонения на 0,328 максимальное и на 0,271 минимальное, что можно учесть при корректировке последующей экстраполяции. Таким образом возможно найти наиболее точные координаты и откорректировать дальнейшую экстраполяцию координат, позволяющую вывести в нужную точку на карте управляемый объект.

### Библиографический список

1. Новичков А. Р., Гончаров И. К., Егорушкин И. К., Фащевский Н. Н. Исследование технологии сверхширокополосных радиосигналов для решения задачи позиционирования внутри помещений. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tehnologii-sverhshirokopolosnyh-radiosignalov-dlya-resheniya-zadachi-pozitsionirovaniya-vnutri-pomescheniy/viewer> (дата обращения 27.09.2023).
2. Чугунов А. А., Царегородцев Д. В. Исследование точности навигационных определений в помещении по сигналам сверхширокополосной локальной навигационной системы. – Воронеж: Ворон. гос. ун-т, Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. В 6-ти томах. Том 4. 2019 – С. 1–7.
3. Ji Zhang, Chenghan Li; Research on Ultra-Wideband (UWB) Accurate Positioning under Signal Interference Based on Deep Learning. URL: <https://drpress.org/ojs/index.php/fbem/article/view/202> (дата обращения 22.09.2023)
4. Ang Liu, Shiwei Lin, Jianguo Wang and Xiaoying Kong; A Succinct Method for Non-Line-of-Sight Mitigation for Ultra-Wideband Indoor Positioning System. URL: [https://www.researchgate.net/publication/365510361\\_A\\_Succinct\\_Method\\_for\\_Non-Line-of-Sight\\_Mitigation\\_for\\_Ultra-Wideband\\_Indoor\\_Positioning\\_System](https://www.researchgate.net/publication/365510361_A_Succinct_Method_for_Non-Line-of-Sight_Mitigation_for_Ultra-Wideband_Indoor_Positioning_System) (дата обращения 23.09.2023).
5. Ю. А. Макаричев, Ю.Н. Иванников Методы планирование эксперимента и обработки данных; – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.
6. В. Г. Арсентьев, Г. И. Криволапов Повышение точности позиционирования в навигационной системе автономного необитаемого подводного аппарата – Вестник СибГУТИ, 2022 – С. 72–77.

*М. А. Епринцев\**

аспирант, преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УВЕЛИЧЕНИЕ ЧАСТОТЫ РАБОТЫ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье рассмотрен способ повышения частоты работы следящей системы электромагнитного подвеса на базе аналоговых датчиков холла ОН49Е, что позволяет увеличить точность работы всего устройства.

**Ключевые слова:** электромагнитный подвес, датчик Холла, следящая система, задержка пуска, энергопитание.

*М. А. Eprintsev\**

graduate student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## INCREASING THE OPERATION FREQUENCY OF THE ELECTROMAGNETIC SUSPENSION TRACKER SYSTEM FOR CARRYING OUT AN AERODINE AMIC EXPERIMENT

The article discusses a method for increasing the operating frequency of an electromagnetic suspension tracking system based on ОН49Е analog hall sensors, which allows increasing the accuracy of the entire device.

**Keywords:** electromagnetic suspension, Hall sensor, tracking system, start delay, power supply.

При разработке электромагнитного подвеса были выбраны следующие методы работы устройства: электромагнит не содержит сердечника и в состав испытуемого объекта необходимо установить постоянный неодимовый магнит. Таким образом, с одной стороны, отсутствие сердечника снижает силу электромагнита, однако с другой стороны, это позволяет применять в составе испытуемого объекта постоянные магниты, чаще всего неодимовые, которые создают сильное магнитное поле, компенсирующее отсутствие сердечника и увеличивающие многократно силу взаимодействия электромагнитного подвеса и испытуемого объекта.

Для сравнения, расчетная сила электромагнита массой 1100 гр, высотой 50 мм, диаметром магнита 60мм, диаметром сечения провода 0,45мм<sup>2</sup> и протекающим током в 0,37А, создаваемой на расстоянии в 2 мм, составляет 3,1Н, сила же постоянного неодимового магнита в форме цилиндра диаметром 10 мм и высотой 3 мм на аналогичном расстоянии составляет 4,81Н. [1]

Учитывая, что сила постоянного магнита больше, чем у электромагнита, стоимость последнего несравнимо больше. Также такой крупный электромагнит увеличивает габариты всей установки, а также увеличивает ее энергопотребление. Таким образом, эффективнее использовать электромагнит в большей степени для создания электромагнитного взаимодействия между стендом и испытуемым объектом, а для увеличения значения силы их взаимодействия применять сильный неодимовый магнит в составе испытуемого тела.

Учитывая вышесказанные особенности подхода к проектированию электромагнитного подвеса становится возможным применение датчиков Холла в качестве основы следящей системы. Однако качество удержания объекта зависит от максимальной частоты работы электромагнита, основанной на данных следящей системы. Согласно документации, стандартное время отклика датчика Холла ОН49Е (SS49Е) составляет 3 мс, что ограничивает частоту работы системы 333,(3) Гц. Экспериментально доказано, что при этой частоте наблюдаются видимые вибрации испытуемого объекта, что отрицательно сказывается на дальнейших экспериментах. Частота работы микроконтроллера системы управления электромагнитным подвесом составляет 5МГц, и может быть повышена вплоть до 116МГц. Таким образом, проблема с частотой работы электромагнитного подвеса связана не с управляющим сигналом или временем обработки, а с сравнительно огромным временем отклика датчиков. [2]

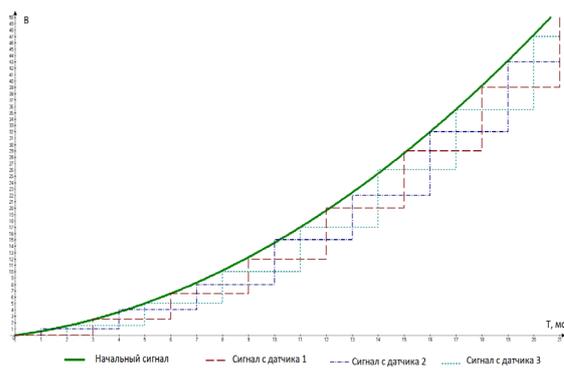
Для увеличения частоты работы следящей системы предлагается применять больше одного датчика Холла с задержкой их включения по формуле 1:

$$\frac{t}{n} \quad [1]$$

где n – число используемых датчиков Холла; t – время реакции датчика.

Число n ограничивается числом портов аналогово-цифрового преобразования в схеме управления. При n равном 3 время задержки включения каждого следующего датчика составляет 1 мс, а частота работы системы составляет уже 1кГц. На рисунке 1 представлены результаты моделирования работы трех датчиков Холла с разницей времени запуска 1 мс.

а) сигналы трех датчиков



б). сигнал датчиков после обработки

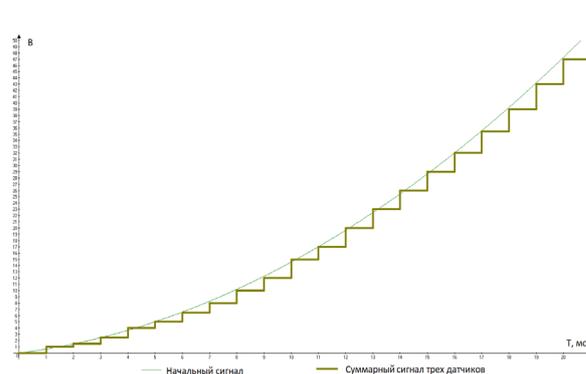


Рис. 1. График модели работы системы из трех датчиков Холла

Для получения эффекта задержки включения предлагается использовать классическую схему цепи задержки (рис. 2).

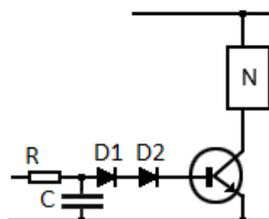


Рис. 2. Схема цепи задержки пуска.

Для данной схемы время задержки включения определяется по формуле 2:

$$T = 1,1 \cdot R \cdot C \quad [2]$$

где  $T$  – время задержки пуска, сек;  $R$  – сопротивление резистора, кОм;  $C$  – емкость конденсатора,  $\mu\text{F}$ .

В общем смысле у данной схемы есть недостатки, такие как ограничение максимального времени задержки запуска и отсутствие задержки отключения, однако в рассматриваемом случае они никак не повлияют на работу системы. [3]

Влияние на качество работы следящей системы окажут сложные переходные процессы при пуске системы и погрешности в значении емкости и сопротивления у соответствующих элементов.

Наличие этих погрешностей приводит к тому, что задержка пуска датчиков будет отличаться от 1 мс в большую или меньшую сторону. Тем не менее, данный подход все равно повышает частоту получения сигналов микроконтроллером, формирующим управляющий электромагнитом сигнал.

### Библиографический список

1. Кузнецов М. И. Основы электротехники. Изд-во ЁЁ Медиа, 2024.
2. Кечиев Л. Н. Электрофизические основы конструирования электронной аппаратуры. Изд-во Грифон, 2020.
3. Глазырин В. Е., Литвинов И. И., Купарев М. А. Элементы автоматических устройств на микроэлементной базе: учебник. Изд-во НГТУ, 2023.

*Д. Ф. Каздио\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ВОЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ

Рассмотрены основные аспекты, входящие в метрологическое обеспечение военной авиационной техники в процессе их создания и эксплуатации.

**Ключевые слова:** точность, метрология, цифровая метрология, калибровка.

*D. F. Kazadio\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## METROLOGICAL SUPPORT IN MILITARY AVIATION EQUIPMENT

The main aspects included in the metrological support of military aviation equipment in the process of their creation and operation are considered.

**Keywords:** accuracy, metrology, digital metrology, calibration.

Метрологическое обеспечение в военной авиации является одним из ключевых аспектов, обеспечивающих эффективность и безопасность военных воздушных операций. В условиях, когда точность и надежность каждого компонента имеют решающее значение, метрология становится неотъемлемой частью процесса разработки, тестирования и эксплуатации военной авиационной техники.

Метрология в военной авиации отличается повышенными требованиями к точности и надежности. Особое внимание уделяется калибровке измерительных приборов и систем, таких как радиолокационные и навигационные системы, системы управления оружием, датчики давления и температуры. Точность этих систем напрямую влияет на эффективность боевых действий и безопасность полетов. На примере процедуры калибровки инерциальных навигационных систем (ИНС) можно заметить важность точности метрологических систем. Калибровка ИНС является критически важной стадией в процессе внедрения метода инерциальной навигации, особенно перед установкой системы на движущийся объект. Этот процесс проводится на специальных стендах, оборудованных платформами, способными выполнять различные вращательные движения. Важнейшим аспектом калибровки является разработка и применение математической модели для оценки инструментальных ошибок датчиков, таких как ньютонометры (акселерометры) и датчики угловой скорости (ДУС). Задачей калибровки является определение и настройка параметров этой модели для минимизации ошибок при использовании системы в навигационном режиме.

В задачи авиационной метрологии входят: обеспечение единства и требуемой точности измерений при создании, эксплуатации и ремонте авиационной техники и средств наземного обслуживания; определение основных направлений деятельности и выполнение работ по метрологическому обеспечению; внедрение специальных средств измерений; осуществление метрологического контроля; осуществление надзора за состоянием и корректным применением средств измерений применяемыми для проверки.

Современные технологии, такие как цифровая метрология, лазерные измерительные системы и автоматизированные тестовые комплексы позволяют повысить точность измерений в военной авиации. Использование компьютерного моделирования и симуляции также способствует более точной настройке и проверке оборудования.

В процессе эксплуатации военной авиационной техники метрологическое обеспечение необходимо для проведения ремонтных и обслуживающих работ (рис. 1).



Метрологическое обеспечение в военной авиации фундаментальный аспект, обеспечивающий точность, надежность и эффективность военных воздушных средств. От точности измерений зависит не только успешное выполнение боевых задач, но и жизни летчиков и эффективность военных операций. Поэтому непрерывное совершенствование метрологических методов и технологий остается приоритетной задачей для военной авиации.

#### **Библиографический список**

1. Петров В. Е. "Точность измерений в военных авиационных системах", М.: Авиация и космонавтика, 2020.
2. Иванов А. И. "Метрология и калибровка в военной авиации", М.: Военное издательство, 2021.

*А. А. Казаев\**

студент

*А. В. Сычевский\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ МОДУЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВБЛИЗИ КРАЯ СОБСТВЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Исследование направлено на поиск и изучение чувствительных механизмов модуляции оптических свойств полупроводниковых монокристаллов вблизи края собственного поглощения. В работе был исследован методом динамических решёток эффект светонаведённого изменения показателя преломления среды при различной частоте лазера. Также было изучено влияние различных параметров на дифракцию света в монокристаллах CdS, CdSe и Si при разных температурах. Исследованы оптимальные режимы модуляции и описаны механизмы модуляции оптических свойств данных полупроводников. Определена частотная зависимость светоиндуцированного изменения показателя преломления в исследуемых полупроводниках вблизи края поглощения.

**Ключевые слова:** модуляция, оптические свойства, дифракция, монокристаллы, динамические решётки, лазер, показатель преломления, поглощение.

*A. A. Kazaev\**

Student

*A. V. Sychevsky\**

Student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## RESEARCH OF SENSITIVE MECHANISMS OF MODULATION OF OPTICAL PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR SINGLE CRYSTALS NEAR THE EDGE OF OWN ABSORPTION

This research is aimed at finding and studying sensitive mechanisms of modulation of optical properties of semiconductor single crystals near the edge of own absorption. The work studied the effect of light-induced change in the refractive index of the medium by the dynamic lattice method at different laser frequencies. The influence of various parameters on light diffraction in CdS, CdSe and Si single crystals at different temperatures was also studied. Optimal modulation modes were investigated and mechanisms of modulation of optical properties of these semiconductors were described. The frequency dependence of light-induced change in the refractive index in the studied semiconductors near the absorption edge was determined.

**Keywords:** modulation, optical properties, diffraction, single crystals, dynamic lattices, laser, refractive index, absorption.

Поиск и исследование чувствительных механизмов модуляции оптических свойств среды является актуальной задачей для решения проблем адаптивной оптики в реальном времени. Перспективной средой в этом аспекте являются полупроводниковые монокристаллы вблизи края собственного поглощения.

В данной работе методом динамических решёток исследовано светонаведённое изменение показателя преломления среды при приближении частоты лазера к краю собственного поглощения  $E_g$  [1]. Такому случаю характерна запись неоднородных фазовых решеток с глубиной модуляции, убывающей в направлении распространения света в образце. Распределение неравновесных носителей по глубине образца, обуславливающее модуляцию показателя преломления, получено путем решения уравнения непрерывности с учетом процессов рекомбинации, диффузионного стирания решетки и диффузии носителей вглубь образца. Экспериментально исследована дифракция света в монокристаллах CdS, CdSe и Si в широком интервале температур (12 – 400 K). Соотношение  $\hbar\omega/E_g$  изменялось в интервалах 0,93 – 0,99 или 1,04 – 1,08 путём температурного сдвига края поглощения или частоты излучения лазера. На рисунке 1 представлено экспериментальное резонансное возрастание дифракционной эффективности  $\eta_1 = I_1 / I_0 e^{-\alpha d}$  от параметра  $\hbar\omega/E_g$ .

Оптимальные режимы модуляции, сочетающие значительное  $\Delta n \approx 10^{-4} - 10^{-3}$  и достаточную степень пропускаемости среды  $T \approx 30\%$  получены: для случая прямых разрешенных переходов при значении  $\hbar\omega/E_g \approx 0,97$  (CdS), эффективность дифракции достигает предельного значения для тонких решеток  $\eta_1 \approx 34\%$  при уровне возбуждения  $0,5 \text{ МВт} \cdot \text{см}^{-2}$  для  $\alpha d \approx 0,7$ ; в случае непрямых переходов (Si) оптимальный режим характеризуют параметры  $\hbar\omega/E_g \approx 1,06$ ,  $\eta_1 \approx 20\%$  при  $1 \text{ МВт} \cdot \text{см}^{-2}$ ,  $\alpha d \approx 0,9$ , а рост эффективности ограничен из-за диффузионного и рекомбинационного стирания решетки; в области экситон-фононного поглощения CdSe получено  $\eta_1 \approx 30\%$  при  $0,2 \text{ МВт} \cdot \text{см}^{-2}$  ( $\hbar\omega/E_g \approx 0,97$ ,  $\alpha d \approx 0,8$ ); когда экситоны экранированы имеем  $\eta_1 \approx 12\%$  при  $5 \text{ МВт} \cdot \text{см}^{-2}$ .

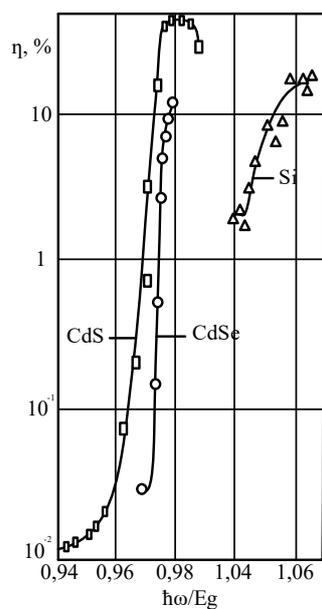


Рис. 1. Экспериментальное резонансное возрастание дифракционной эффективности  $\eta_1 = I_1 / I_0 e^{-\alpha d}$  от параметра  $\hbar\omega/E_g$

Исключив влияние неравновесных процессов и неоднородности модуляции по глубине, построена частотная зависимость светоиндуцированного  $\Delta n$  исследуемых полупроводников вблизи собственного края поглощения, дискутируются механизмы модуляции оптических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, "Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга".

#### Библиографический список

1. Котликов Е. Н., Смирнова В. О., Новикова Ю. А., Юрковец А. М., Комарова А. М. Дисперсионные константы кремния в области полос поглощения 400-5000 см<sup>-1</sup> // Журнал молекулярных жидкостей, 2015. с. 192 – 196.

*М. В. Калашиникова\**

Ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ И ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ

Статья посвящена оценке качества процесса взаимодействия органов государственной власти и предприятия при ликвидации последствий аварии. Также в статье был проанализирован процесс ликвидации последствий техногенной аварии и проведении операций по ликвидации чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** ликвидация, повышение качества, авария, сложная техническая система, метрологическое обеспечение.

*M. V. Kalashnikov\**

Assistant

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE PROCESS OF INTERACTION BETWEEN PUBLIC AUTHORITIES AND ENTERPRISES IN THE ELIMINATION OF ACCIDENTS

The article is devoted to assessing the quality of the process of interaction between public authorities and enterprises in the aftermath of an accident. The article also analyzed the process of eliminating the consequences of a man-made accident and conducting emergency response operations.

**Keywords:** liquidation, quality improvement, accident, complex technical system, metrological support.

Важную роль при оценке качества взаимодействия органов государственной власти и объекта экономики играет достоверная информация о состоянии сложных технических систем.

Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических осуществляют в целях получения результатов измерений, испытаний и контроля, использование которых исключает или сводит к допустимому уровню риск принять неправильное решение или получить неверный управляющий сигнал в системах управления для обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях [1].

Для анализа сложившейся обстановки в результате техногенной аварии и реализации ее локализации, а также ликвидации с минимальными материальными и не материальными потерями, необходимо достоверная информация о состоянии технических систем.

Цель работы: анализ взаимодействия органов исполнительной власти и объекта экономики, для оценки качества их взаимодействия в условиях дефицита времени.

Задачи:

- проанализировать типичные составляющие погрешности (или неопределенности) измерений в результате аварии.
- проанализировать планы мероприятий объектов экономики, а именно структуру взаимодействия с органами исполнительной властью.

Для исследования данного вопроса были использованы теоретические методы такие как: анализ литературных источников, описание, сравнение, обобщение и систематизация общих данных по исследованию.

Многие из ученых занимающийся анализом данного вопроса утверждают, что, для того чтобы обеспечить эффективное взаимодействие структур при ликвидации и (или) локализации аварии, нужно учитывать строение всех органов управления, которые участвуют в ликвидации аварии. А также о достоверной и полной информации по техническим системам используемых на объекте экономики [2].

В результате анализа литературных источников были выделены основные погрешности измерений, которые могут привести к реализации аварии, а именно:

- субъективные погрешности;
- неадекватность принятой модели;
- отклонение алгоритма вычислений от функции;
- отклонения аргументов функции [1];

Также были выделены основные факторы влияющие на процесс реагирования, такие как:

- учет условий функционирования состояние сложных технических систем;
- обмен информацией об аварии, относящейся к компетенции сторон;
- определение сил и средств, необходимых для ликвидации аварии;
- согласование действий участвующих органов при выполнении задач по ликвидации аварии;
- достоверная информация о состоянии сложных технических систем;

- контроль измерительных приборов в процессе ликвидации последствий;
- неадекватность принятой модели предприятием в новых условиях;
- в проведении расследования по выявлению причины аварии, участие всех органов, которые приняли участие в ее ликвидации [3].

Исходя из всего выше сказанного можно прийти к выводу, что для повышения качества взаимодействия органов исполнительной власти и предприятия в условиях реализации аварийной ситуации необходимо:

1. Своевременно составлять план для объектов экономики, где используются, хранятся и транспортируются опасные вещества.
2. Своевременно проводить оценку методические и инструментальных составляющих погрешности измерений.
3. Проводить повышение квалификации работников в сфере безопасности труда.
4. Разрабатывать объектом экономики дерево отказов, дерево событий, а также на основе наиболее вероятных событий разработать алгоритмы действий по информированию органов исполнительной власти.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 22.2.04-2012 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200108382?section=status> (дата обращения: 20.02.2023).
2. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах» от 26.08.2013 г. N 730 // «Собрании законодательства Российской Федерации», N 35 ст. 4516, 02.09. 2013 г.
3. Постановление Правительства РФ «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» от 30.12.2003 г. N 794 // «Российская газета», N 7, 20.01.2004 г.

*А. В. Кондратьев\**

к.т.н., доцент

*А. В. Долгова\**

студент

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## К ВОПРОСУ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО И ДИФРАКЦИОННО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Представлены достоинства и недостатки радиографического и дифракционно-временного методов при контроле стыковых сварных соединений. Рассмотрена перспектива взаимозаменяемости методов для повышения эффективности и уменьшения экономических затрат производства.

**Ключевые слова:** дифракционно-временной метод контроля, радиографический метод контроля, сварные соединения.

*A. V. Kondratyev\**

Ph.D. Tech., Associated Prof,

*A. V. Dolgova\**

student

\*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

## ON THE ISSUE OF THE INTERCHANGEABILITY OF RADIOGRAPHIC AND TIME OF FLIGHT DIFFRACTION METHODS OF INSPECTION OF WELDED JOINTS

The advantages and disadvantages of radiographic and time of flight diffraction methods for the control of butt welded joints are presented. The prospect of interchangeability of methods to increase efficiency and reduce economic costs of production is considered.

**Keywords:** time of flight diffraction method, radiographic control method, welded joints.

В настоящее время для контроля сварных соединений чаще всего применяются такие методы, как радиографический и «традиционный» ультразвуковой. Не так много внимания уделяется дифракционно-временному методу контроля (TOFD), в отдельных случаях способному полностью заменить радиографический метод, который хоть и обладает высокой чувствительностью и не требует сложной подготовки контролируемой поверхности, но, тем не менее, имеет ряд недостатков. К ним можно отнести техническую сложность проведения контроля, дороговизну необходимого оборудования и расходных материалов, а также наличие опасного для персонала ионизирующего излучения.

Дифракционно-временной метод имеет более высокую точность контроля ( $\pm 1$  мм) и высокую вероятность обнаружения несплошностей. Согласно результатам европейского проекта «Эффективность применения метода TOFD для контроля сварных соединений сосудов под давлением на стадии изготовления», вероятность обнаружения дефектов оказалась на 10-20% выше, чем радиографическим методом (таблица 1).

Другим преимуществом данного метода является способность выявления дефектов, имеющих различные пространственные расположения, а также возможность документирования и хранения результатов проведенного контроля в виде А- и В-сканов. Также при проведении контроля охватывается весь объем рассматриваемого сварного шва, так как сканирование проводится вдоль него. Это повышает эффективность и производительность контроля, что имеет большое значение на реальном производственном объекте.

Таблица 1

Сравнение эффективности методов контроля

Метод	Европейский проект TOFDPROOF		Европейский проект KINT	
	Вероятность обнаружения дефекта	Вероятность обнаружения ложного дефекта	Вероятность обнаружения дефекта	Вероятность обнаружения ложного дефекта
TOFD	70-90%	<10%	82,4%	11,1%
Радиографический метод	60-70%	Нет данных	60,1%	10,8%
Традиционный УЗК	55-65%	Нет данных	52,3%	22,7%

Как и все методы неразрушающего контроля, дифракционно-временной имеет некоторые ограничения, среди которых можно выделить сложность контроля материалов, имеющих высокую зернистость и уровень затухания ультразвуковых волн, а также наличие мертвой зоны. Другим фактором, мешающим широкому распространению дифракционно-временного метода, является отсутствие разработанных государственных стандартов.

Решение данной проблемы, а вслед за этим и более широкое применение дифракционно-временного метода, смогло бы повысить скорость выявления несплошностей в материале без подвергания персонала опасности и сократить логистические затраты. Контроль данным методом особенно необходим в сварных соединениях, в которых существует высокая вероятность возникновения вертикально ориентированных дефектов, таких как вертикальная трещина или несплавление по кромке в швах с вертикальной разделкой.

#### **Библиографический список**

1. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. СПб.: СВЕН, 2014. С. 312.
2. Сергеев С.С., Прокопенко Е.Н., Сергеева О.С. Приборы и методы акустического контроля. TOFD-метод: Учебное издание. Могилев. 2014. С. 39.
3. Базулин А.Е., Бутов А.В., Тихонов Д.С., Ромашкин С.В., Заушицын А.В. Применение технологии TOFD в разработках ООО «НПЦ «ЭХО+» // Контроль. Диагностика. 2020. 5. С. 28-37. DOI 10.14489/td.2020.05.pp.028-037.

*О. С. Коновалова*

Студент

*Т. А. Фролова*

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК ПО КАЛИБРОВКЕ ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ПОВЕРКИ

В статье обсуждается актуальная проблема разработки методик по калибровке средств измерений на основе существующих методик поверки в условиях современного мира и необходимость обеспечивать высокую точность и надежность измерений.

**Ключевые слова:** калибровка, методики поверки, метрология, средства измерений, стандарты качества.

*O. S. Konovalova\**

Student

*T. A. Frolova\**

Student

\*St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

## THE NEED FOR THE DEVELOPMENT OF CALIBRATION METHODS FOR MEASURING INSTRUMENTS BASED ON EXISTING VERIFICATION METHODS

The article discusses the current issue of developing calibration methods for measuring instruments based on existing verification methods in the conditions of the modern world and the need to ensure high accuracy and reliability of measurements.

**Keywords:** calibration, verification methods, metrology, measuring instruments, quality standards.

В современном мире точные измерения играют ключевую роль в различных сферах деятельности, от производства до научных исследований. Для обеспечения высокой точности и надежности измерений необходимо регулярно проводить калибровку средств измерений. Калибровка является процессом сопоставления показаний средств измерений с эталонными значениями, с приведением их в соответствие с установленными стандартами точности. Это необходимо для обеспечения надежности и точности измерений, а также для устранения возможной систематической погрешности. Калибровка позволяет отслеживать и корректировать показания средств измерений, что повышает доверие к результатам измерений и обеспечивает надежность их использования.

Однако, существующие методики поверки, представляющие собой набор инструкций и рекомендаций по проведению калибровки для конкретного типа прибора, не всегда полностью удовлетворяют потребности промышленных предприятий. Отсутствие единой методики по калибровке для различных типов средств измерений может приводить к различным подходам к проведению калибровки и возможным ошибкам, влияющим на точность измерений.

Для решения этой проблемы необходимо разработать методики по калибровке для средств измерений на основе существующих методик поверки. Создание специализированных методик по калибровке, учитывающих специфику работы конкретных приборов и оборудования, является крайне важным шагом. Это позволит проводить калибровку с высокой степенью точности, унифицировать процесс и обеспечить соответствие результатов измерений единым требованиям стандартов точности, которые особенно важны в отраслях, где точные измерения играют решающую роль, таких как авиационная и автомобильная промышленность, производство медицинского оборудования, телекоммуникационное оборудование и другие.

Разработка таких методик по калибровке позволит предприятиям упростить процесс калибровки, сократить время на проведение процедур и уменьшить вероятность возникновения ошибок. Кроме того, методики по калибровке могут стать составной частью процесса обучения специалистов, работающих с средствами измерений, что способствует повышению квалификации персонала и улучшению уровня контроля измерений, а также способствует повышению доверия к результатам измерений и обеспечению соответствия требованиям стандартов качества.

Таким образом, разработка методик по калибровке для средств измерений на основе существующих методик поверки является важной задачей, которая поможет обеспечить единые стандарты калибровки, повысить точность измерений и сократить вероятность ошибок в различных отраслях промышленности.

### Библиографический список

1. Котиков А. П., Четвериков Р. Н., Бородин С. Н. «Современные методики калибровки средств измерений: проблемы и перспективы» //Журнал электронной техники, 2015, №8, с. 40–44.
2. Михайлов А. В., Каламай В. Б. «Разработка методики калибровки средств измерения с помощью программного обеспечения» //Метрология и измерительная техника, 2019, №5, с. 44–50.
3. Орлов В. И., Голубев Ю. Г. «Методика разработки процедур калибровки приборов измерительной техники на основе методик поверки» //Вестник метрологии и метрологической техники, 2017, №1, с. 34–39.
4. Шкутова Л. П., Бойко И. В. «Разработка и утверждение методических указаний по калибровке средств измерений» //Метрология и измерительная техника, 2018, №6, с. 63–70.

*М. А. Крячко\**

аспирант

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СПОСОБОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ СВЕРТКИ И БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Получены характеристики сложности моделей устройств умножения на многоразрядном сумматоре и конвейерного устройства умножения.

**Ключевые слова:** пространственный сигнал, монохроматическое излучение, линейная антенна, предельная точность, ошибки измерений.

*М. А. Kryachko\**

postgraduate student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## OPTIMISATION OF HARDWARE AND SOFTWARE METHODS FOR CALCULATING CONVOLUTION FUNCTIONS AND FAST FOURIER TRANSFORMS

The complexity characteristics of models of multiplication devices on a multibit adder and a conveyor multiplication device are obtained.

**Keywords:** signal processing, on-board system, model, convolution, complexity characteristics.

Разработка бортовых систем цифровой обработки сигналов определяется рядом требований, таких как системный, функционально-логический, схемотехнический, конструкторский. Теоретическим базисом построения современных бортовых систем обработки сигналов выступают принципы, сформулированные фон Нейманом: принцип программного управления и однородности памяти [1].

Устройство свертки, реализующее цифровую фильтрацию, является обязательным элементом в системах цифровой обработки сигналов. В процессе проектирования специализированных бортовых систем этого направления основное внимание уделяют получению высокой производительности. Основными архитектурными способами получения высокой производительности обработки данных на ограниченном списке заданных алгоритмов являются: аппаратное выполнение функциональных зависимостей; конвейеризация процесса обработки; использование параллелизма процессов на всех иерархических уровнях системы. Метрологическая модель таких устройств является фиксированной для некоторого класса задач конфигурацией аппаратно-программных средств преобразования, передачи и хранения данных, задающей вычислительный процесс, который начинается с некоторой системы начальных данных и направлен на получение результата, полностью определенного этими начальными данными. В процессах синтеза, анализа и оптимизации аппаратно-программных моделей предлагается использовать четыре основных характеристики сложности: аппаратную, временную, программную и структурную.

Аппаратная сложность – это количество элементарных преобразователей и элементов памяти некоторого иерархического уровня аппаратных средств рассматриваемой модели. Временная сложность модели определяется количеством элементов схемы, расположенных вдоль максимального критического пути распространения сигнала. Программная сложность определяется логарифмической мерой  $P$  – степенью нерегулярности (энтропии) временной диаграммы:  $P = -\sum_L f_l \log_2 (F/n_l \cdot m_l)$ , где  $F = \sum_L f_l$ ;  $n_l$  – количество входов управления;  $m_l$  –

количество тактовых импульсов временной диаграммы;  $f_l$  – количество сигналов управления  $l$ -того фрагмента временной диаграммы для выбранного уровня иерархии построения аппаратных средств;  $l$  – количество фрагментов временной диаграммы, конфигурации которых не повторяются. Структурная сложность алгоритмического устройства есть энтропия матрицы

инцидентов и отображает степень нерегулярности связей схемы некоторого уровня иерархии построения аппаратных способов  $S = -E \log_2 E/q \cdot r$ , где  $E$  – количество элементов матрицы инцидентов без регулярно расположенных элементов;  $q$ ,  $r$  – размер матрицы.

Проведена оптимизация характеристик сложности таких устройств специальных функций цифровой обработки сигналов как алгоритм "свертка" и алгоритм "бабочка" быстрого преобразования Фурье. Данные устройства были оптимизированы по всем характеристикам сложности согласно поставленным требованиям. Так как в рассмотренных алгоритмах присутствует операция умножения, поэтому во время их проектирования было принято решение использовать в их составе оптимизированного конвейерного матричного устройства умножения с диагональным распространением переноса.

### Библиографический список

1. Крячко М. А., Крячко А. Ф., Антонов К. В., Левин Я. Я. Метод повышения спектральной эффективности телекоммуникационных систем на основе аппроксимации огибающей сигналов атомарными функциями // Радиотехника. 2017. № 5. С. 27–31.

*В. А. Кузнецова\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ БЛОКА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработана математическая модель, которая описывает изменение метрологических параметров электронных измерительных приборов с течением времени, что позволяет точно оценивать ключевые показатели, необходимые для прогнозирования и обеспечения метрологической надежности в различных условиях. Представлена математическая модель для моделирования аналого-цифровых блоков, которые являются ключевыми компонентами электронных измерительных систем.

**Ключевые слова:** математическая модель, аналого-цифровой блок, метрологические параметры, метрологическая надежность, метрологические характеристики.

*V. A. Kuznetsova\**

student

\*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EVALUATION OF THE METROLOGICAL RELIABILITY OF THE ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER UNIT USING MATHEMATICAL MODELING METHODS

A mathematical model has been developed that describes the change in the metrological parameters of electronic measuring devices over time, which makes it possible to accurately assess the key indicators necessary for forecasting and ensuring metrological reliability in various conditions. A mathematical model for modeling analog-to-digital blocks, which are key components of electronic measuring systems, is presented.

**Keywords:** mathematical model, analog-digital unit, metrological parameters, metrological reliability, metrological characteristics.

### Введение

Измерительные приборы являются основой многих систем, используемых в различных системах производственного контроля. Современное производство невозможно представить без разностороннего отслеживания различных параметров технологических процессов. Соответственно, качественная работа многочисленных систем и стабильность их параметров является важнейшей задачей. Измерительные приборы, как основа этих систем требуют повышенного внимания при их проектировании и дальнейшего использования. Метрологическая надежность представляет собой одну из важнейших характеристик измерительных приборов. Именно ей определяется их качество, от которого зависит стабильность метрологических параметров. Аналогичная ситуация наблюдается и для различных информационно-измерительных систем о которых мы будем говорить далее.

Аналого-цифровой преобразователь представляет собой измерительный прибор, позволяющий получить цифровой код из поступившего на него аналогового сигнала. Оценка метрологической надежности работы аналого-цифрового преобразователя осуществляется ключевым показателем – метрологическим ресурсом. Содержание этого показателя представляет собой интервал времени, характерный для происходящих случайных процессов изменения метрологических характеристик и выход за допустимые границы.

При рассмотрении метрологической надежности в рамках нашей статьи необходимо отметить, что она зависит от надежности различных блоков измерительного канала. К ним относятся первичные измерительные, нормирующие и аналого-цифровые преобразователи.

Особое внимание уделяется блоку аналого-цифрового преобразователя, который можно охарактеризовать как имеющий высокую точность преобразования, сложную структурой и значимостью выполняемых функций. Исходя из этого, оценка надежности данного блока относится к одной из важнейших задач, стоящей перед различными проектировщиками, а также разработчиками информационно-измерительных систем.

В данной статье представлены результаты, полученные при оценке метрологического ресурса аналого-цифрового преобразователя, проведенной с применением аналитико-вероятностных методов прогнозирования. Используемый в нашем случае метод опирается на проведение анализа и прогнозирования вероятности процесса изменения метрологических характеристик. Реализация метода сопровождается построением математических моделей функционирования блока, а также рассмотрения его характеристик.

Структура аналого-цифрового преобразователя двухтактного интегрирования, является типовой для современных информационно-измерительных систем (рис. 1).

Начальный этап исследования нашего объекта заключается в формировании математической модели его функционирования. Основу модели составляет анализ структурной и функциональной схемы работы блока.

Стадии интегрирования и подсчета осуществляют преобразование поступающего сигнала. Этап интегрирования осуществляется интегрирование входного напряжения, с последующей подачей на интегратор опорного напряжения. Стадия подсчета характеризуется снижением выходного напряжения.

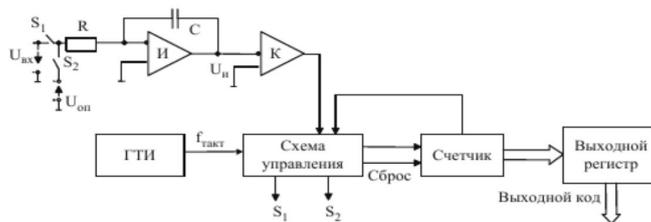


Рис. 1. Схема аналого-цифрового преобразователя двухтактного интегрирования

В начале работы нашей схемы ключ S1 замкнут, а S2 разомкнут. Интегратор И осуществляет интегрирование входного напряжения  $U_{ВХ}$ . В дальнейшем ключ S1 размыкается, а S2 – замыкается. В результате этого на вход интегратора подается опорное напряжение  $U_{ОП}$ . Это напряжение противоположен  $U_{ВХ}$ . На стадии счета модуль выходного напряжения интегратора линейно уменьшается и его обнуление является ее окончанием. Обнуление выходного напряжения вызывает переключение компаратора К, что и вызывает остановку счета. Блока аналого-цифрового преобразователя двухтактного интегрирования состоит из интегратора, компаратора, счетчика и выходного регистра. Функционал аналого-цифрового преобразователя представлен в виде схемы на рис. 2.

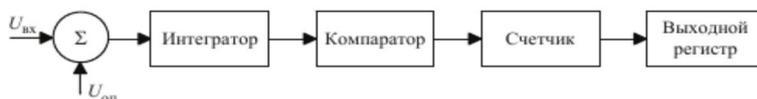


Рис. 2. Функциональная схема аналого-цифрового преобразователя двухтактного интегрирования

Анализируя функционал преобразователя, видим, что главным элементом в схеме является интегратор, схема которого представлена на рис. 3.

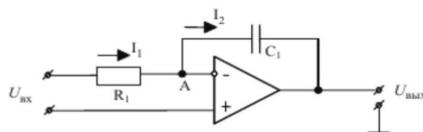


Рис. 3. Схема интегратора

Опираясь на представленную схему, создадим модель работы интегратора. Операционный усилитель характеризуется высоким сопротивлением, следовательно, для инвертирующего входа можем наблюдать отсутствие потребления тока, т.е.:

$$I_1 = I_2 \quad (1)$$

где  $I_1$ , – ток текущий через резистор R;  $I_2$  – ток текущий через конденсатор С.

Распишем их через параметры напряжения:

$$I_1 = \frac{1}{R} * (U_{вх} - U_A); \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{1}{C} * (U_A - U_{вых}), \quad (3)$$

где  $U_{ВХ}$ ,  $U_{ВЫХ}$ ,  $U_A$  — входное, выходное и действующее напряжения в точке А.

$$U_A = \frac{1}{K_0} * U_{вых}, \quad (4)$$

где  $K_0$  – коэффициент усиления операционного усилителя.

Распишем (1) через (2) и (3)::

$$\frac{1}{R} * (U_{вх} - U_A) = \frac{1}{C} * (U_A - U_{вых}). \quad (5)$$

Учтем выражение из (4):

$$\frac{1}{R} * \left( U_{ex} - \frac{U_{вых}}{K_0} \right) = \frac{1}{C} * \left( \frac{U_{вых}}{K_0} - U_{вых} \right), \quad (6)$$

Разделим (6) на  $U_{вх}$ :

$$\frac{1}{R} * \left( 1 - \frac{K_p}{K_0} \right) = \frac{1}{C} * \left( \frac{K_p}{K_0} - K_p \right), \quad (7)$$

где  $K_p$  – общий коэффициент передачи аналого-цифрового преобразователя двухтактного интегрирования, являющийся отношением выходного и входного напряжения.

Коэффициент передачи инвертирующего усилителя имеет вид:

$$K_p = \frac{C}{\frac{C}{K_0} + \left( \frac{1}{K_0} - 1 \right) R}. \quad (8)$$

Каскад на  $D_1$  составлен как инвертирующий усилители и компенсирует ток утечки  $C_1$ :

$$K_p = K_{D1} = \frac{R_1}{\frac{R_1}{K_{0D1}} + \left( \frac{1}{K_{0D1}} - 1 \right) C_1}. \quad (9)$$

Функционирование интегратора запишем в виде следующей математической модели:

$$K_p(t) = K_{D1} = \frac{R_1(t)}{\frac{R_1(t)}{K_{0D1}} + \left( \frac{1}{K_{0D1}} - 1 \right) C_1(t)}. \quad (10)$$

Следующий этап осуществления метода аналитико-вероятностного прогнозирования, применяемый для проектирования аналого-цифрового преобразователя и последующего анализа метрологической надежности заключается в построении математической модели метрологического ресурса [1]. Выражение (10) позволяет сформировать математическую модель метрологической характеристики блока, которой является основная относительная погрешность  $\delta(t)$ , выраженная в следующем виде:

$$\delta(t) = \frac{K_{p,ном} - K_p(t)}{K_{p,ном}} * 100\%, \quad (11)$$

где  $K_{p,ном}$  – номинальный коэффициент передачи модуля;  $t$  – время эксплуатации.

Для относительной погрешности  $\delta(t)$  условие метрологической исправности можно записать в следующем виде  $|\delta(t)| < |\delta_{дон}|$ ,  $\forall t \in T_1$ ,  $\forall t \in T_2$ , где  $T_1$  и  $T_2$  – области контроля и прогноза.

Основная относительная погрешность интегратора при учете всего вышесказанного может быть записана в виде следующей математической модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta(t) = \frac{K_{p,ном} - K_p(t)}{K_{p,ном}}; \\ K_p(t) = \frac{R_1(t)}{\frac{R_1(t)}{K_{0D1}} + \left( \frac{1}{K_{0D1}} - 1 \right) C_1(t)}. \end{array} \right. \quad (12)$$

Для основной относительной погрешности проводим статическое моделирование, которое приводит к построению математической модели метрологических характеристик. Данные характеристики в рамках математической модели исследуются во временной динамике. В рамках математической модели основная относительная погрешность является суммой аналитических зависимостей функций изменения по времени математического ожидания метрологических характеристик  $M\delta(t)$  и функций  $\psi_{\pm\sigma}(t)$ . Этими функциями описывается границы отклонения метрологической характеристики от средних значений если доверительная вероятность равняется  $P = 0,997$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\delta}(t) \\ \psi_{\pm\sigma}(t) = m_{\delta}(t) \pm 3\sigma_{\delta}(t) \end{array} \right. \quad (13)$$

где  $\sigma_{\delta}(t)$  – среднеквадратическое отклонение метрологических характеристик [2].

Из полученных результатов моделирования сформируем таблицу 1.

Таблица 1

Результаты статистического моделирования

Время $t * 10^2$ , ч	$m_{\delta} * 10^2$	$\sigma_{\delta} * 10^2$
0	2,7002	99,86
5	2,6999	108,29
10	2,6999	157,38
20	2,6988	186,98
50	2,6976	203,45

Математическая модель, полученная в результате статистического моделирования, имеет вид [3]:

$$\begin{aligned}\psi_{-\sigma}(t) &= 4,239 * 10^{-11} t^3 - 3,256 * 10^{-9} t^2 + 2,851 * 10^{-7} t + 1,932 * 10^{-2}; \\ m_{\delta}(t) &= 8,234 * 10^{-11} t^3 + 6,338 * 10^{-9} t^2 + 3,792 * 10^{-7} t + 2,437 * 10^{-2}; \\ \psi_{+\sigma}(t) &= 2,172 * 10^{-11} t^3 - 6,625 * 10^{-9} t^2 + 4,507 * 10^{-7} t + 3,931 * 10^{-2};\end{aligned}\tag{14}$$

Принцип экстраполяции модели (14), применяемый для прогнозирования времени эксплуатации рассматриваемого модуля, позволяет с высокой степенью достоверности определить величину его метрологического ресурса, который является результатом исследования. Он определяется временем, в течение которого нормированные метрологические характеристики остаются в допустимых пределах. Значение  $t_p = 41400$  ч является верхней границей оценки метрологического ресурса аналого-цифрового преобразователя. Определение метрологического ресурса является важным этапом в обеспечении надежности измерительной системы и качества контроля производственных процессов. Качественные показатели работы контролируемых устройств прямо сказываются на результативности работы всего производства.

Таким образом, метод аналитико-вероятностного прогнозирования и математическое моделирование метрологических характеристик обеспечивают оценку показателей надежности измерительных средств на ранних этапах проектирования.

Библиографический список

1. Цветков, Э. И. Метрология. Модели объектов, процедур и средств измерений. Метрологический анализ. Метрологический синтез. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 293 с.
2. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23. № 2. С. 209-215.
3. Методы экстраполяции. URL: <https://studfile.net/preview/5183316/page/4/> (дата обращения: 9.10.2023).

*А. Е. Ленич*

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## **ПРОБЛЕМА РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ КОНТРОЛЛЕРОВ, ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ, ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

В статье рассмотрены проблемы связанные с разработкой методик поверки измерительных каналов.

**Ключевые слова:** измерительный канал, методика поверки.

*A. E. Lenich\**

Student

\*St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

## **THE PROBLEM OF DEVELOPING METHODS FOR VERIFYING MEASUREMENT CHANNELS OF CONTROLLERS, MEASURING-COMPUTING, CONTROL AND PROGRAM-TECHNICAL COMPLEXES**

The article discusses the problems associated with the development of verification methods for measurement channels.

**Keywords:** measurement channel, verification method.

Проблема разработки методик поверки измерительных каналов контроллеров, измерительно-вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов (ИК, ИВУ, УПТК) имеет ряд серьезных аспектов, влияющих на надежность, точность и корректность данных, получаемых при использовании этих комплексов.

Одной из основных проблем является сложность и многообразие самих измерительных устройств и каналов, входящих в состав таких комплексов. Различные типы датчиков, преобразователей, аналоговых и цифровых сигналов создают трудности при установлении стандартных методик поверки, так как каждый измерительный канал может требовать индивидуального подхода.

Другая проблема связана с тем, что усложнение структуры и функциональности контроллеров и измерительно-вычислительных комплексов часто приводит к появлению новых ошибок и неточностей в измерениях. Это требует разработки более сложных методик поверки, которые способны учитывать специфику каждого конкретного устройства.

Проблемы также могут возникать в связи с отсутствием унифицированных подходов к разработке методик поверки. Отраслевые отличия, различные стандарты и нормативы могут усложнять процесс создания стандартных методик поверки, что в свою очередь затрудняет сравнение результатов поверки и соответствие измерений между различными комплексами.

Помимо этого, проблему представляет развитие новых технологий и методов измерений. Прогресс в области цифровой обработки сигналов, использование микропроцессоров, развитие вычислительной техники создают необходимость в разработке новых методик, способных учитывать все современные технические решения.

На данный момент подавляющее большинство изготовителей идет по простому пути и вместо разработки своих методик поверки используют МИ 2539-99 «измерительные каналы контроллеров, измерительно-вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов. Методика поверки» которая является рекомендацией. Самая большая проблема при использовании данной методики поверки в том, что при отрицательных результатах поверки любого измерительного канала контроллер (комплекс) в обращение не допускают и на него оформляют «Извещение о непригодности» что может привести к остановке всего предприятия.

В целом, проблема разработки методик поверки измерительных каналов контроллеров, ИВУ, УПТК является сложным и многоаспектным вопросом, требующим комплексного подхода и инновационных решений в области метрологии, стандартизации и развития новых методов измерений. Решение этих проблем позволит обеспечить более точные и достоверные измерения в современных измерительно-вычислительных системах.

### **Библиографический список**

1. МИ 2539-99. Измерительные каналы контроллеров, измерительно-вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов. Методика поверки
2. ГОСТ Р 8.596-2002. метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения

*Д. А. Малыгин\**

студент

*Д. В. Бутенина\**

канд. физ.-мат. наук, доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## БАЗОВАЯ ОСНОВА СИСТЕМЫ УЧЁТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ

В статье рассмотрены особенности работы и реализации систем учёта рабочего времени.

**Ключевые слова:** бухгалтерия; учёт рабочего времени; законодательство

*D. A. Malygin\**

student

*D. V. Butenina\**

Dr. Sc. (Phys.-Math.), Associated Prof

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## THE BASIC FOUNDATION OF WORKING HOURS ACCOUNTING SYSTEM

The article considers features of working hours accounting systems' work and realization.

**Keywords:** accountancy, accounting working hours, legislation

Учетом рабочего времени называется методика подсчета часов, которые сотрудник фактически посвятил своим рабочим обязанностям [1].

Ответственность за учета рабочего времени организацию автоматически возлагается на директора компании, по приказу которого назначается ответственный за ведение учета рабочего времени. В небольшой организации это может быть один человек, в то время как в крупной компании задача чаще всего возлагается на руководителей каждого подразделения.

Начальник отдела в течение месяца заполняет таблицу на всех своих подчиненных, закрывает и подписывает его, после чего направляет к бухгалтеру для проведения всех необходимых расчетов также до определенного числа каждого месяца.

Существует несколько видов учёта рабочего времени: подневный, понедельный и суммированный.

Можно выделить следующие способы контроля рабочего времени [2]: видеонаблюдение, аудиоконтроль, отчеты о проделанной работе, система контроля доступа, мониторинг передвижений и сбор данных о работе с помощью специализированных сервисов.

Можно выделить следующие нормативно-правовые акты [3]:

– Трудовой кодекс РФ;

– Федеральный закон от 6.12.2011 № 402-ФЗ «О бухгалтерском учете»;

– Постановление Госкомстата РФ № 1 от 1.01.2004 «Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету труда и его оплаты».

Система учета рабочего времени эффективна как инструмент бухгалтерии, но не как инструмент менеджмента. Она не обеспечивает в полной мере выполнение работниками разного уровня, от курьера до руководителя, правил внутреннего трудового распорядка.

Выбор решений и создание единого комплекса зависят от целей организации, корпоративной культуры, финансовых и человеческих ресурсов, дополнительного правового регулирования.

Правовое регулирование использования программных средств контроля основывается на двух постулатах:

– тайм-трекеры и другие средства контроля могут находиться только на компьютерах и мобильных устройствах, принадлежащих организации;

– сотрудники должны быть уведомлены о существовании такой формы контроля и выразить свое согласие с ним.

В рамках исследуемой области можно выделить следующие области знаний: бухгалтерский учёт, менеджмент, юриспруденцию и итологию (науку об информационных технологиях).

### Библиографический список

1. Учет рабочего времени сотрудников на предприятии: зачем нужен и как правильно его вести. URL: <https://www.calltouch.ru/blog/uchet-rabocheho-vremeni-sotrudnikov-na-predpriyatii-zachem-nuzhen-i-kak-pravilno-ego-vesti/?ysclid=lnfelztvuu341530564> (дата обращения: 07.10.2023).

2. Система учета рабочего времени сотрудников. URL: <https://planfact.io/blog/posts/sistema-ucheta-rabocheho-vremeni-sotrudnikov?ysclid=lnfekr3q1x429634116>. (дата обращения: 07.10.2023).

3. Учет рабочего времени: фиксируем, подсчитываем, оплачиваем. URL: <https://kontur.ru/articles/4314?ysclid=lnk27on6r1928474424> (дата обращения: 10.10.2023).

*Д. Д. Мельникова*

студент бакалавриата

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И СОДЕРЖАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ГПСЭ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ГЭТ 218-2022

В работе исследуются навигационные спутниковые системы разных стран, в том числе РФ. Также в работе дается характеристика исследуемого эталона. Основное внимание уделяется проблеме повышения точности используемых приборов в спутниковых навигационных системах, в том числе и ГЛОНАСС (российская).

На примере Государственного первичного специального эталона координат местоположения раскрывается возможное решение проблемы повышения точности приборов и как ее можно реализовать посредством калибровки данных приборов.

**Ключевые слова:** модернизация эталона, координаты местоположения, точность, ГНСС, ГЛОНАСС.

*D. D. Melnikova\**

bachelor's student,

\*Empress Catherline II Saint Petersburg Mining University

## THE MAIN PREREQUISITES AND CONTENT OF THE MODERNIZATION OF THE GPS COORDINATES OF THE LOCATION OF GET 218-2022

The work explores the navigation satellite systems of different countries, including the Russian Federation. The paper also provides a description of the standard under study. The main attention is paid to the problem of improving the accuracy of the instruments used in satellite navigation systems, including GLONASS (Russian).

Using the example of the State primary special reference standard for location coordinates, a possible solution to the problem of increasing the accuracy of devices and how it can be implemented by calibrating these devices is revealed.

**Keywords:** standard modernization, location coordinates, accuracy, GNSS, GLONASS.

Актуальность исследования состоит в том, что анализируемый эталон позволяет уменьшить погрешность, получаемых сигналов со спутниковых навигационных систем РФ, тем самым увеличивая точность определения координат местоположения, что так важно для отечественной геодезии, маркшейдерии, военном деле, навигации и для использования обществом в необходимых для него целей.

В настоящее время с целью расширения внедрения отечественных спутниковых навигационных технологий и услуг с использованием системы ГЛОНАСС в интересах всех видов потребителей проводятся работы по поддержанию, развитию и использованию отечественной глобальной навигационной системы. По результатам данных работ СКО погрешности определения местоположения за счет космического сегмента ГЛОНАСС должна быть уменьшена с нынешнего значения 2,7 м до 1,4 м и достичь 1 м в 2020 году. В действительности же потребительская точность по состоянию на 2020 год немногим отличается от параметра в 2012-м – 9,5 м против 9,6 восемь лет назад [1–3].

Однако, не всё так радужно, как может показаться на первый взгляд. В 2023 году правительство сократило финансирование ГЛОНАСС. Финансирование проекта урезано на 394,2 млн. рублей, а в 2024 году и вовсе сократятся на 650,7 млн. рублей. Это связано «с невозможностью выполнения отдельных государственных контрактов в условиях внешних санкционных ограничений», сказано в документе. Всего в 2022 г. на «Глонасс» выделено почти 27 млрд руб., в 2023 г. – 24,7 млрд, в 2024 г. – около 24,5 млрд, на 2025 г. запланировано 28,2 млрд [2-4].

На данный момент Роскосмос информирует о том, что пользователи российской спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС будут иметь доступ к определению местоположения с точность в несколько сантиметров. В настоящее время точность определения местоположения на базе ГЛОНАСС составляет около 1,3 метра. Спутниковая группировка объединяет 25 космических аппаратов, из которых 22 используются по целевому назначению. Ещё один находится на этапе лётных испытаний, два – временно выведены из системы. Планируется, что после выполнения федерального проекта «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС» государственной программы Российской Федерации «Космическая деятельность России» данное значение будет составлять 0,3 метра.

В основе исследования лежит диссертационная работа Печерица Дмитрия Станиславовича – разработчика и хранителя государственного первичного специального эталона координат местоположения. Целью его разработки является как раз уменьшение погрешности измерения текущих навигационных параметров, вносимой навигационной аппаратурой потребителя (НАП) системы ГЛОНАСС. Наибольший вклад в погрешность определения местоположения дает погрешность за счет эфемеридно-временной информации и инструментальная погрешность измерений НАП. Необходимо обеспечить значение инструментальной погрешности измерений псев-

додальности НАП, существенно меньшее по сравнению с погрешностью измерений за счет бортовой эфемеридно-временной информации к чему сейчас активно стремятся разработчики. В связи с тем, что имеющиеся в то время эталоны (Государственный первичный эталон единиц времени и частоты ГЭТ 1-2012, Государственный первичный эталон единицы угла фазового сдвига между двумя электрическими сигналами в диапазоне частот от 0,1 МГц до 65 ГГц ГЭТ 207-2013) не могли обеспечить калибровку НАП с достаточной точностью измерений.

Создание нового эталона привело в тому, что разработчикам удалось создать такой эталон, с помощью которого были решены существующие проблемы. Учёт калибровочных поправок по работе по сигналам ГЛОНАСС позволяет снизить погрешность определения координат более чем на 30 %. По результатам аналогичной обработки измерений по сигналам GPS выяснено, что точность определения координат по сигналам ГЛОНАСС при условии учёта калибровочных поправок к измерениям псевдодальности, становится соизмерима с аналогичной точностью определения местоположения потребителя по сигналам системы GPS.

В данный момент планируется модернизация эталона. Во-первых, в состав будет введён водородный стандарт частоты пассивного типа для обеспечения приёмников высокостабильной опорной частотой (как раз для устранения одного из недостатков). Во-вторых, в обозримом будущем планируется как минимум одну станцию из состава эталона ввести в сеть IGS, по которой рассчитывается международная система координат ITRF для интегрирования в сеть Международной ГНСС-службы IGS.

### Библиографический список

1. Главная | ФГУП ВНИИФТРИ; Диссертационная работа Д. С. Печерица [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.vniiftri.ru/activity/dissertation\\_council/preliminary\\_consideration/dissertatsionnoy-rabota-pecheritsy-dmitriya-stanislavovicha/](https://www.vniiftri.ru/activity/dissertation_council/preliminary_consideration/dissertatsionnoy-rabota-pecheritsy-dmitriya-stanislavovicha/)
2. Официальный сайт ГЛОНАСС [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://glonass-iac.ru/guide/glonass.php>
3. Официальный сайт РОСКОСМОС [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/34630/>
4. Перспективы применения государственного первичного специального эталона координат ГЭТ 218-2022 для метрологического обеспечения высокоточной навигационной аппаратуры потребителя ГНСС [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54597902>.

*М. Н. Митягина*

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СРЕДЫ

В статье описана необходимость контроля параметров процессов, реализуемых в организационной системе, при помощи квалиметрических шкал, позволяющих отслеживать ход протекания организационного взаимодействия элементов с целью предотвращения потерь.

**Ключевые слова:** организация, деградация, менеджмент, контроль.

*M. N. Mityagina*

Student of Department of Innovation and Integrated Quality Systems

St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## QUALIMETRIC SCALES FOR ASSESSING PARAMETERS OF ORGANIZATIONAL ENVIRONMENT ELEMENTS

The article describes the need to control the parameters of processes implemented in an organizational system using qualimetric scales that allow tracking the progress of organizational interaction of elements to prevent losses.

**Keywords:** organization, degradation, management, control.

Состав организационной среды определяется элементами, формирующими внешнюю и внутреннюю среду организации и оказывающими влияние на целевой результат цепочки создания ценности. Координация взаимодействия факторов среды осуществляется при помощи методик организационного менеджмента, нацеленных на достижение стратегической цели организации в условиях влияния случайных и закономерных явлений.

В основе деятельности как организации в целом, так элементов, определяющих её структурное и функциональное назначение, лежит понятие жизненного цикла. Так, по мере роста качественных количественных характеристик объекта следует зрелость, которая неизбежно завершается стадией устаревания оборотного и основного капитала, а также знаний [1].

Организационные процессы обеспечиваются взаимодействием организационных элементов. Нарушения тактических действий в карте потока ценности, выраженные в дисфункциях отдельных элементов, отклонениях от норм, игнорировании установленных процедур и методик, становятся причиной устойчивого недостижения целей организации. Таким образом, возникает необходимость в интеграции в организационный менеджмент системы контроля параметров элементов организации для предотвращения потерь.

Количественная оценка качественных показателей организационного взаимодействия осуществляется при помощи квалиметрии. Применение инструментов квалиметрии необходимо для оценки текущих показателей факторов среды организации для принятия решения о возможности нивелирования устаревания. Показатели оцениваются при помощи квалиметрических шкал, представленных на рис. 1.

Характеристики	Тип шкалы	Неметрические		Метрические		Абсолютные
	Наименований	Порядка	Интервалов	Отношений	Абсолютная	
Нуль физической величины	Отсутствует	Может быть задан условно	Произвольно заданный	Вводится естественным образом	Вводится естественным образом	
Единица измерения	Отсутствует	Необязательно	Имеется	Имеется	Единственная, естественная	
Возрастание/убывание физической величины	Отсутствует	Применимо	Применимо	Применимо	Применимо	
Возможные преобразования шкалы	Изоморфное отображение	Монотонные	Линейные	Умножение на число	Отсутствуют	
Соотношения между проявлениями свойств	Эквивалентность					
	Порядок Пропорциональность или суммирование					

Рис. 1. Характеристики квалиметрических шкал [2]

Измерение показателей и их сравнение с допустимыми значениями позволяет определить стадию жизненного цикла объекта и разработать стратегию предотвращения устаревания путём реализации методики: проактивной, реактивной, стратегической или концептуальной.

### Библиографический список

1. Митягина, М. Н. Исследование особенностей переходных состояний модели жизненного цикла модификации / М. Н. Митягина, С. А. Назаревич // Системный анализ и логистика. – 2022. – № 4(34). – С. 36–43. – DOI 10.31799/2077-5687-2022-4-36-43.
2. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие [Текст] / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря. – Изд-е 2-е. – М.: Логос, 2005. – 560 с.

*М. Н. Митягина*

Студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ПРЕВЕНТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИЗНАКАМИ ПАТОЛОГИЙ

В работе описана необходимость применения методов оценки организационной среды для реализации процесса управления изменениями в условиях влияния барьеров на целевой результат цепочки создания ценности.

**Ключевые слова:** организация, управление, организационные патологии, показатели, процесс, управление изменениями и сопротивлением.

*M. N. Mityagina*

Student of Department of Innovation and Integrated Quality Systems  
St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## APPLICATION OF ORGANIZATIONAL DIAGNOSTICS METHODS FOR PREVENTIVE MANAGEMENT OF PATHOLOGY SIGNS

The paper describes the need to apply methods for assessing the organizational environment to implement the change management process in the context of the influence of barriers on the target result of the value chain.

**Keywords:** organization, management, organizational pathologies, indicators, process, change and resistance management.

Задачей менеджмента является адаптация практического управления деятельностью организации в условиях дрейфующего процесса развития сложной системы. Период зарождения организации до полной ликвидации сопровождается возникновением проблем на стадиях жизненного цикла ввиду необходимости интеграции дополнительных ресурсов, обеспечивающих переход на более высокий уровень развития.

Итеративность в жизненном цикле реализуется за счёт стратегического плана управления изменениями. Ограничивают развитие организации барьеры – организационные патологии. Согласно классификации А. И. Пригожина выделяются патологии в строении организации, организационных отношениях и управленческих решениях.

Проблемы, проявляющиеся во время функционирования организационных процессов, оказывают сопротивление проведению изменений. Для того чтобы определить сдерживающие факторы необходимо провести оценку внутренней и внешней среды организации путём проведения диагностических мероприятий.

Организационная диагностика – это процесс оценки деятельности организации посредством установления взаимосвязи между определенными состояниями системы (отклонениями от нормы и их причинами) и множеством признаков [1]. Диагностика направлена на определение паталогических признаков – симптомов организационных элементов для разработки предупреждающих мероприятий, сдерживающих формирование организационных патологий на ранней стадии.

Диагностика проводится с применением методов (рис. 1) для идентификации единичных индикаторов процесса с последующим определением интегральных показателей, позволяющих моделировать поведение организационной системы и элементов под влиянием внешних и внутренних факторов.



Рис. 1. Этапы и методы организационной диагностики [2]

В результате оценки элемента организации можно сделать вывод относительно результативности и эффективности функционирования данного звена цепочки создания ценности. Чем раньше будет обнаружен паталогический признак, тем большее количество потерь и проблем можно предотвратить на ранней стадии.

### Библиографический список

1. Липатов С.А. Методы практической социальной психологии: Диагностика. Консультирование. Тренинг: Учебное пособие для вузов / Под ред. Ю.М. Жукова. – М.: Аспект Пресс, 2004. с. 48–68.
2. Пригожин А. И. Методы развития организаций. – М.: МЦФЭР, 2003. – 863 с.: ил. ISBN 5-7709-0198-5.

*М. Н. Митягина*

Студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

В работе описаны составляющие деградации основных производственных средств, определение значений которых станет основой для принятия управленческих решений.

В результате разработана модель, позволяющая определить

**Ключевые слова:** морально-технологическая деградация, устаревание, износ.

*M. N. Mityagina*

Student of Department of Innovation and Integrated Quality Systems  
St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## QUALIMETRIC SCALES FOR ASSESSING PARAMETERS OF ORGANIZATIONAL ENVIRONMENT ELEMENTS

The article describes the components of degradation of fixed production assets, the determination of the values of which will become the basis for making management decisions.

**Keywords:** moral and technological degradation, obsolescence, wear and tear.

Результативность и эффективность производственных процессов оценивается соответственно показателям, которые характеризуют компоненты сложной системы. Согласно закону жизненного цикла планомерный качественный рост объекта неизбежно завершается моральной и технологической деградацией показателей и характеристик как отдельных элементов, так и исследуемой системы в целом. Таким образом, существует необходимость в оценке показателей системы для последующей инициации инновационной деятельности с целью предупреждения производственных потерь.

Итак, технологическое устаревание проявляется в неполном соответствии требованиям, при котором компоненты производственной системы хотя и могут функционировать физически, но уже не способны обеспечивать ход протекания процесса согласно установленным показателям и тенденциям научно-технического развития. Моральный аспект в текущем процессе заключается в снижении уровня качества потребительских характеристик в связи с появлением предметов более высокого уровня полезности [1]. Данное положение связано с понятием износа, как процессом обесценивания основных производственных фондов [2]. Физический износ наступает в процессе эксплуатации производственного компонента под воздействием различных факторов среды. Определим составляющие производственной системы, которые подвержены устареванию на рис. 1.

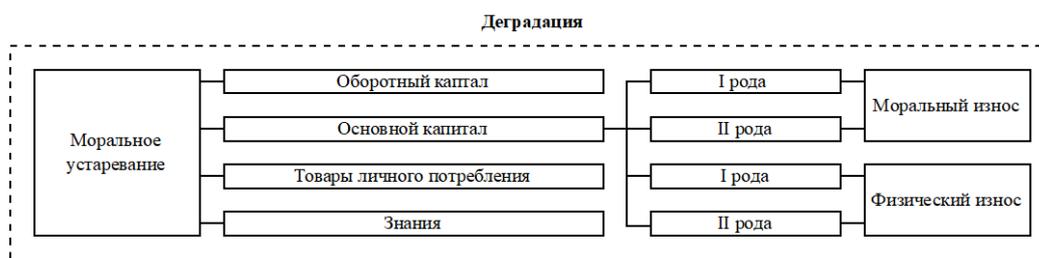


Рис. 1. Декомпозиция понятия деградация

Составим модель оценки деградации основных средств с применением общего параметра морального износа  $I_m$ , коэффициентов морального износа I и II рода  $M_I$  и  $M_{II}$  соответственно и физического износа  $B_f$  на рис. 2.

$I_m = \frac{K_n - K_{вн} * \Pi_n}{K_n}$ $M_I = \frac{C_{пер}}{\Pi * T_n} - \frac{C_{пер}'}{\Pi' * T_n'}$ $M_{II} = C_{пер} - \left( \frac{C_{пер}}{\Pi * T_n} - \frac{C_{пер}'}{\Pi' * T_n'} \right) * T_0 * \Pi$ $I_f = \frac{T_f * \Pi_f}{T_n * \Pi_n}$	<p><math>K_n</math> – сумма первоначальной стоимости старого оборудования; <math>K_{вн}</math> – восстановительная стоимости нового оборудования, аналогичного по назначению, но обладающего более предпочтительными характеристиками; <math>\Pi_n</math> и <math>\Pi_n'</math> – производительность старого и нового оборудования соответственно.</p> <p><math>Z_{вост}</math> – восстановительная стоимость фондов; <math>Z_n</math> – стоимость первичного оборудования.</p> <p><math>C_{пер}</math> и <math>C_{пер}'</math> – сумма первоначальной стоимости старого и нового оборудования соответственно, <math>\Pi</math> и <math>\Pi'</math> – производительность старого и нового оборудования в единицу времени, <math>T_n</math> и <math>T_n'</math> – нормативный срок службы старого и нового оборудования, <math>T_0</math> – оставшийся срок службы оборудования.</p> <p><math>T_f</math> – время, которое фактически было отработано советующей единицей фондов; <math>T_n</math> – нормативный срок службы единицы фондов; фактическая <math>\Pi_f</math> и нормативная <math>\Pi_n</math> производительность.</p>
--	--

Рис. 2. Математическая модель оценки деградации основных средств производства

Практическая значимость разработанной модели заключается в обеспечении актуальности технологии ввиду своевременного обнаружения признаков деградации компонентов на всех стадиях жизненного цикла. Показатели, полученные в ходе анализа, являются основой для составления стратегического плана управления устареванием.

#### **Библиографический список**

1. Митягина М. Н., Назаревич С.А. Модели уровней зрелости для жизненного цикла модификации // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2022. С. 402–405.
2. Митягина М. Н., Назаревич С. А. Исследование особенностей появления признаков морально-технологической деградации в производственных процессах // Будущее предприятия — в творчестве молодых / АО НПП «Радар ММС»; БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова. – Санкт-Петербург: СИНЭЛ, 2022. С. 208–213.

## ОШИБКИ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Статья рассматривает особенности метрологического обеспечения измерительных систем. Выделяются проблемы их использования. Подчеркивается опасность человеческого фактора. Предлагаются способы снижения рисков.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, измерительные системы, человеческий фактор.

## ERRORS IN METROLOGICAL ASSURANCE OF MEASURING SYSTEMS: POSSIBILITIES FOR PREVENTING THEM

The article examines the features of metrological support for measuring systems. The problems of their use are highlighted. The danger of the human factor is emphasized. Ways to reduce risks are proposed.

**Keywords:** metrological support, measuring systems, human factor.

Современная промышленность стремится к снижению рисков на производстве и улучшению качества продукции. Обоих факторов позволяет достичь автоматизация технологических процессов, для которой необходимы постоянные измерения на протяжении всей их территории и длительности. Для обеспечения данной задачи создаются измерительные системы (ИС).

ИС обладают рядом преимуществ: точность, отслеживаемость, быстрота и автоматизация измерений, удаленное управление, широкий диапазон, возможность обработки результатов, интеграция с другими элементами автоматизированных систем управления. Однако, для получения перечисленных достоинств необходимо особое внимание со стороны метрологии. Рассмотрим особенности метрологического обеспечения измерительных систем. Они образуются от структурных и конструктивных отличий ИС. В первую очередь можно выделить многоканальность: не зависимо от наличия разнородности физических величин используется несколько первичных измерительных преобразователей, и соответственно каналов измерений (ИК). При поверке важно учитывать их влияние друг на друга. В случае использования большого количества ИК, для сбора информации используют программируемые контроллеры (ПК), что подводит нас ко второй особенности строения. ИС включают в себя ИК, устройства ввода, ПК (в определенных случаях), электронные вычислительные машины и программное обеспечение (ПО). Не понимание данных особенностей зачастую приводит к ошибкам в метрологическом обеспечении ИС.

На производствах со слабой автоматизацией процессов сотрудники воспринимают датчики и измерительные каналы отдельно от ИС, что приводит к нарушению методики поверки:веряют только «измерительную часть», не учитывается степень влияния метрологических характеристик каждого элемента на последующую работу, а также не контролируется ПО. Риск данной ошибки повышается некомпетентностью или повышенной лояльностью контролирующих органов, что приводит к повторению сложившейся ситуации годами, и соответственно полному нарушению достоверности измерений. К аналогичным последствиям приводит желание сотрудников «упростить» процесс поверки, вызванное непониманием взаимодействия и влияния элементов ИС на весь процесс.

Для решения данных проблем необходим тщательный контроль за повышением квалификации сотрудников, на производстве которых вводится в работу ИС. Понимание особенностей строения и эксплуатации ИС, а также рисков их нарушений снизит количество случаев нарушения единства измерений. Так же необходим аудит со стороны разных уровней контролирующих органов для надежности исполнения требований к работе и МО ИС.

Хочется подчеркнуть не только важность автоматизации процессов и возможности, которые она открывает, но и сосредоточить внимание на риске человеческого фактора, который сохраняется при работе с ИС. Автоматизация, несомненно, снижает его, однако, его сохранившаяся часть приобретает новые формы и степень влияния на результат. Необходимо предвидеть человеческий фактор и влиять на него до возникновения последствий.

### Библиографический список

1. Захаров В. А., Волегов А. С. Метрологическое обеспечение измерительных систем: в 2 ч. Часть 1. Принципы построения и вопросы стандартизации автоматизированных измерительных систем// Издательство Уральского университета. 2018, 168 с.

*С. А. Немыкин\**

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

На основе усовершенствованной обобщенной структуры радиотелеметрической системы космического аппарата (КА) путем введения в нее передаточных звеньев и обратных связей, учитывающих особенности функционирования КА разработаны адаптивный и нечеткий регуляторы объекта управления.

**Ключевые слова:** регулятор, радиотелеметрическая система, управление, адаптивный подход, детерминированный подход, нечеткая логика.

*S. A. Nemykin\**

postgraduate student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg)

## APPLICATION OF REGULATORS IN THE DEVELOPMENT OF SPACECRAFT RADIO TELEMETRY SYSTEMS

On the basis of the improved generalised structure of the radio telemetry system of a spacecraft by introducing into it transfer links and feedbacks that take into account the peculiarities of spacecraft operation, adaptive and fuzzy regulators of the control object have been developed.

**Keywords:** regulator, radio telemetry system, control, adaptive approach, deterministic approach, fuzzy logic.

Основной задачей при разработке радиотелеметрической системы космического аппарата (КА) является применение такого схмотехнического решения, которое позволит реализовывать все возможные задачи с необходимыми критериями качества управления. Как правило, в системах управления радиотелеметрической системы КА применяют типовые регуляторы (интегральные, пропорциональные, пропорционально-дифференциальные, пропорционально-интегральные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (И, П, ПД, ПИ и ПИД-регуляторы соответственно), регуляторы с переменной структурой, робастные, адаптивные и оптимальные регуляторы [1].

Алгоритм поведения исследуемой системы формируется из соответствующего функционального алгоритма с учетом всех особенностей, характерных для КА.

В функциональном алгоритме радиотелеметрической системы присутствует фрагмент с параллельным процессом. Параллельный алгоритмический процесс следует редуцировать и отображать эквивалентным линейным процессом, параметры которого – вероятность правильного выполнения и средняя продолжительность правильного выполнения – определяются следующим образом: вероятность правильного выполнения линейного процесса эквивалентного к параллельному определяется, как вероятность правильного выполнения одного из потоков параллельного процесса с ее наименьшим значением; средняя продолжительность правильного выполнения определяется, как продолжительность правильного выполнения одного из потоков параллельного процесса с ее наибольшим значением.

Последовательно соединенные операционные блоки, изменения параметров которых не требуют детализации при моделировании, объединяют в один. Таким образом можно уменьшить графическое отображение алгоритма, а соответственно и размерность модели, поскольку количество операционных блоков определяют размерность графа состояний и переходов и соответственно размерность системы дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена, что позволяет адекватно представить все особенности структуры и алгоритма поведения анализируемой системы.

Исследовано влияние на показатели эффективности алгоритма поведения бортовых радиотелеметрических систем параметров адаптивных и оптимальных регуляторов. Для повышения помехозащищенности включен внутренний фильтр, принцип действия которого заключается в следующем: изменение сигнала будет обработано, если уровень сигнала стабилен на протяжении некоторого времени.

### Библиографический список

1. Liu L., Fu Z., Song X. Sliding Mode Control with Disturbance Observer for a Class of Nonlinear Systems // International Journal of Automation and Computing. – 2012. – Vol. 9. – No. 5. – P. 487–491.
2. Крячко А. Ф., Ковалев А. П., Немыкин С. А. Оценка риска эксплуатации системы радиоуправления малым космическим аппаратом // Тезисы докладов VII Международной научно-технической конференции. Омск, 4–6 октября 2023 г. С. 170-172. ISBN 978-5-6046517-7-3.

*А. А. Половинкина\**

студент бакалавриата

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В НОГТЕВОЙ ИНДУСТРИИ

Проанализированы стандарты на услуги, стандарты ногтевого сервиса, технические регламенты на лаки и гель-лаки.

**Ключевые слова:** стандарты, ногтевой сервис, услуги, лак для ногтей, маникюр.

*A. A. Polovinkina\**

bachelor's student,

\*Empress Catherline II Saint Petersburg Mining University

## THE ROLE OF STANDARDIZATION AND TECHNICAL IN THE NAIL INDUSTRY

The standards for services, standards for nail services, technical regulations for varnishes and gel varnishes are analyzed.

**Keywords:** nail service, services, nail polish, manicure

Для современной женщины маникюр стал неотъемлемой частью ее жизни. Каждый месяц девушки приходят в салон, чтобы посвятить себе время, расслабиться и получить удовольствие от результата. Маникюр предназначен не только для ухода за ногтями, но и для самовыражения.

Ногтевой сервис – это достаточно большой набор эстетико-гигиенических процедур в отношении ногтей и кожи рук и ног клиента. Данные процедуры улучшают их внешний вид и физиологическое состояние, тем самым оказывают благотворное влияние на здоровье и самоощущение клиента.

Ногтевой сервис – это сфера, в которой к каждому этапу следует подходить особенно внимательно. Чтобы обеспечить качество услуг и безопасность клиентов существуют определенные стандарты, которые мастерам необходимо соблюдать [1]. Так, в данной статье рассмотрены основополагающие стандарты ГОСТ Р 58091-2018 «Услуги бытовые. Ногтевой сервис. Терминология, классификация и общие требования» и ГОСТ Р 59455-2021 «Услуги бытовые. Ногтевой сервис. Термины и определения», которые устанавливает классификацию услуг, общие требования и терминологию в области ногтевого сервиса. Они распространяется на услуги ногтевого сервиса, оказываемые юридическими лицами различных организационно-правовых форм и индивидуальными предпринимателями в сфере бытовых услуг [2. 3]. Несмотря на то, что стандарты на бытовые услуги являются не обязательными для исполнения, как собственно, и другие национальные стандарты, в соответствии с принципом добровольности применения стандартов, их использование в салонах мастерами позволит привлечь клиентов безопасностью и качеством оказываемых услуг.

Стандартизирование предоставляемых услуг играет значимую роль в конечном качестве продукта и защиты прав потребителей. Соблюдение конкретных стандартов оказывает большое влияние на компанию. Благодаря им совершенствуется сервис, повышается качество товара, повышается лояльность клиентов, и вследствие этого, бизнес идет в гору.

Еще один важный аспект, который затрагивается в стандартах на ногтевой сервис – это требования экологичности. Так, в ГОСТе указано, что мастера услуг ногтевого сервиса должны соблюдать требования охраны окружающей среды, требования к техническому состоянию и содержанию помещений, вентиляции, водоснабжению и водоотведению, установленными нормативно-правовой документацией в Российской Федерации. После окончания выполнения услуг ногтевого сервиса, например маникюра или педикюра, необходимо собрать производственные отходы в соответствии с требованиями. Вывоз и утилизация отходов должны осуществляться специализированными организациями. Эти организации должны иметь лицензии на соответствующую деятельность.

При закупке материалов для работы с ногтями, нужно быть уверенным в их качестве и безопасности для здоровья клиента. Так как, например с покрытием гель-лака девушки ходят не менее двух недель. Поэтому возникает вопрос: существует ли технический регламент, благодаря которому будут обеспечены минимальные требования для обеспечения безопасности продукции и стандарты, в которых будут требования для обеспечения качества? Оказывается, существует несколько нормативных документов, которые определяют требования к лакам для ногтей.

В статье рассмотрен технический регламент таможенного союза ТР ТС 009/2011 «О безопасности парфюмерно-косметической продукции» [4]. Продукция для маникюра, входит в перечень, в отношении которой подача таможенной декларации сопровождается представлением документа об оценке соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности парфюмерно-косметической продукции» (ТР ТС 009/2011).

Также существуют наборы правил и норм, устанавливающие требования к условиям труда с целью обеспечения здоровья человека, которые называются СанПиНы. Они служат для обеспечения безопасности и сохранения здоровья человека, также направлены на улучшение качества жизни человека.

Важно отметить, что стандартизация услуг, не только в ногтевом сервисе, но и в других нишах считается значимой частью современного бизнеса. Для повышения доверия к предоставляемым услугам данная деятельность неоспоримо играет большую роль. Также стандартизация услуг обеспечивает соответствие требованиям и ожиданиям клиентам. Эта деятельность способствует повышению эффективности и конкурентоспособности организации.

#### **Библиографический список**

1. Управление качеством. Основы квалиметрии : учеб. пособие / Е. Е. Смирнова, Д. А. Кремчеева, Д. А. Радушинский. – Санкт-Петербург: Лема, 2023. – 170 с.
2. ГОСТ Р 58091-2018 «Услуги бытовые. Ногтевой сервис. Терминология, классификация и общие требования».
3. ГОСТ Р 59455-2021 «Услуги бытовые. Ногтевой сервис. Термины и определения».
4. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности парфюмерно-косметической продукции» (ТР ТС 009/2011).

Я. В. Попова\*

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Рассматриваются подходы математического моделирования, которые используются для описания элементарных измерительных сигналов

**Ключевые слова:** элементарный измерительный сигнал, функции сигнала, математическое моделирование, сигнал.

Y. V Potapova\*

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## MATHEMATICAL MODELING OF ELEMENTARY MEASURING SIGNALS

The approaches of mathematical modeling that are used to describe elementary measuring signals are considered

**Keywords:** elementary measuring signal, signal functions, mathematical modeling, signal.

Математическое моделирование играет решающую роль в понимании и анализе различных аспектов физического мира. В области измерений и приборостроения точное представление элементарных измерительных сигналов имеет первостепенное значение для надежной интерпретации данных. В данной статье представлен обзор нескольких подходов математического моделирования, используемых для понимания и анализа элементарных измерительных сигналов.

Математическое моделирование в измерительных системах подчеркивает его способность преодолеть разрыв между теоретическим пониманием и практической реализацией. В нем исследуются фундаментальные концепции элементарных измерительных сигналов – напряжение, ток, температура, давление и другие физические величины.

Математическое моделирование элементарных измерительных сигналов включает в себя различные методы: дифференциальные уравнения, ряды Фурье [2], основные математические функции, статистические методы и алгоритмы обработки сигналов. Так, дифференциальные уравнения обеспечивают основу для описания поведения динамических измерительных сигналов, отражая взаимодействие между различными физическими параметрами и их зависимыми от времени взаимосвязями.

Разделяют временную и частотную модели сигналов.

*Временная модель сигналов*

Математические функции, такие как функции косинуса, синуса, логарифм и экспонента используются во временной модели сигнала. Данная модель помогает определить важные характеристики измерительных сигналов – длительность, мощность, энергия.

Общий вид записи временной модели:

$$Y = F(t, A, B, C, \dots) \quad (1)$$

Параметры A, B, C напрямую зависят от измеряемой величины [1].

*Частотная модель представления сигналов*

Анализ рядов Фурье представлен как мощный инструмент для исследования периодических измерительных сигналов, позволяющий разлагать сложные формы сигналов на более простые гармонические составляющие. На данном преобразовании основывается частотная модель периодического сигнала Y(t):

$$Y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \cos(n\omega t + \varphi_n), \quad (2)$$

где  $A_0$  – постоянная составляющая периодического сигнала;  $A_n$ ,  $\varphi_n$  – амплитуда n-ой гармоники и фаза;  $\omega$  – циклическая частота сигнала [1]. Этот подход облегчает реконструкцию сигнала, спектральный анализ и удаление шума, повышая точность измеренных данных.

Существуют и другие модели и методы, помогающие описать элементарный измерительный сигнал.

Статистические методы, такие как регрессионный анализ и распределения вероятностей, позволяют охарактеризовать неопределенности и ошибки, связанные с измерением сигналов. Эти методы помогают оценить неопределенности измерений, подобрать калибровочную кривую и определить доверительные интервалы в результатах измерений.

Алгоритмы обработки сигналов, включая фильтры, преобразования и методы выделения признаков, используются для повышения качества измерительных сигналов. Эти алгоритмы помогают снизить шум, удалить артефакты и извлечь соответствующую информацию, тем самым повышая общую надежность и точность измерений

[3].

Рассмотрим конкретные измерительные сигналы, которые описываются математическими моделями.

К элементарным измерительным сигналам относится постоянный во времени сигнал, который описывается математической моделью:  $Y = A$ .  $A$  – это единственный параметр сигнала [1]. На рисунке 1 приведены графики временной и частотной моделей измерительного постоянного сигнала.

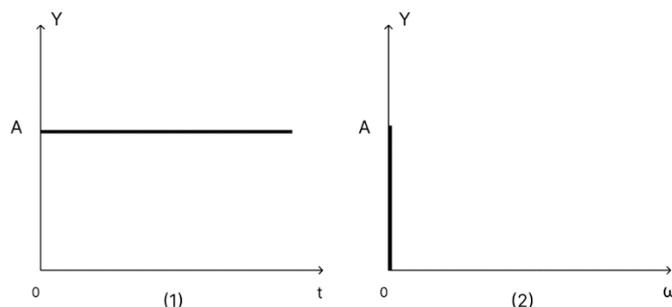


Рис. 1. Графики временной (1) и частотной (2) моделей постоянного сигнала

Примером математической модели, описанной через математическую функцию косинуса или синуса, является гармонический сигнал. Данную математическую модель можно записать в виде следующих функций:

$$Y(t) = Y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = Y_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right);$$

$$Y(t) = Y_m \cdot \cos(\omega t + \varphi) = Y_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right);$$

Параметрами гармонических сигналов являются циклическая частота, амплитуда и начальная фаза [1]. На рисунке 2 приведен график частотной и временной модели гармонического сигнала.

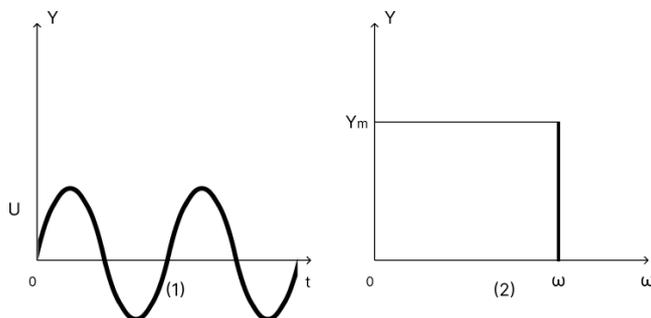


Рис. 2. Частотная (1) и временная (2) модель гармонического сигнала

В данной статье представлен краткий обзор подходов к математическому моделированию, относящихся к элементарным измерительным сигналам. Используя эти методы, исследователи и практики могут получить ценную информацию о поведении измерительных систем, обеспечивая более точную и надежную интерпретацию данных, что в конечном итоге способствует развитию различных областей науки, техники и технологий.

#### Библиографический список

1. *Куприянов, В. Е., Касаткина Э.Ф.* Общая теория измерений: в 2 ч. Ч. 2. Методы измерений. Математические модели. Погрешности и обработка результатов измерений. / Владимир – 2005. – 148 с.
2. *Белоус И.А., Левашов Ю.А.* Теория сигналов: учебное пособие / Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС – 2017. – 100 с.
3. *Вадутов О.С.* Математические основы обработки сигналов: учебное пособие / Томский политехнический университет/ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета – 2-11. – 212 с.

УДК 535.66; 535.392

**К. В. Сердюк\***

аспирант, старший преподаватель

**Т. С. Мисникова\***

аспирант, ассистент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТА ПОБЕЖАЛОСТИ ПУТЕМ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

В работе рассматривается получение цвета побежалости на поверхности нержавеющей стальной пластины путем воздействия лазерного излучения. Также в работе представлены результаты эксперимента.

**Ключевые слова:** цветная лазерная маркировка, лазерная обработка, цвет побежалости, оксидная пленка.

**K. V. Serdiuk\***

graduate student, senior lecturer

**T. S. Misnikova\***

graduate student, assistant

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## OBTAINING WHITE COLOUR BY LASER MARKING OF STAINLESS STEEL

The paper deals with the production of tarnish colour on the surface of stainless steel plate by laser irradiation. The paper also presents the results of the experiment.

**Keywords:** colour laser marking, laser processing, tarnish color, oxide film.

Лазерное оборудование позволяет создавать невероятно мелкие и детальные рисунки, тексты или QR-коды на самых разнообразных материалах, что позволило найти широкое применение в различных отраслях, включая производство, медицину, электронику и многое другое.

Один из самых интересных аспектов лазерной маркировки – это слой побежалости. Под понятием "побежалости металла" понимается спектр оттенков, которые могут появиться на металлических поверхностях при образовании оксидной пленки. Этот эффект создается при использовании определенных параметров лазерного облучения и придает маркировке особую глубину и выразительность. Для создания такого эффекта важно правильно настроить параметры лазерного оборудования. Это включает выбор подходящей мощности лазера, скорости движения луча и фокусного расстояния. Комбинируя эти параметры, можно достичь желаемого эффекта слоя побежалости [1]. Результат проведенного эксперимента и получения слоя побежалости представлен на рис.1., путем воздействия лазерного излучения с мощностью 80% со скоростью обработки 500 мм/с в первом проходе и мощностью 15% во втором.



Рис. 1. Результат эксперимента и получения слоя побежалости на поверхности нержавеющей стали

Скорость образования оксидных пленок может различаться и зависит от таких факторов, как наличие загрязнений на поверхности (которые могут образовывать углеродные отложения и затруднять равномерное образование окисной пленки), степень закалки деталей (закаленные детали образуют побежалости быстрее), наличие шероховатостей на поверхности (неровности способствуют более плотному образованию пленки), и используемая технология нагрева (скорость образования окислов зависит от оборудования, используемого при нагреве).

Для более эффективного контроля и поддержания нужной температуры при нагреве деталей рекомендуется использовать технику, которая позволяет осуществлять стабильный и контролируемый прогрев [2].

Лазерная маркировка с эффектом слоя побежалости является впечатляющим и эффективным способом нанесения маркировки на различные поверхности. Ее точность, долговечность и возможность создания уникальных эффектов делают ее незаменимым инструментом для многих отраслей.

#### **Библиографический список**

1. Цветная лазерная маркировка поверхности металлов / С. Горный, В. Вейко, Г. Одинцова [и др.] // Фотоника. – 2013. – № 6(42). – С. 034–044.
2. Экспериментальные исследования по формированию цветности на поверхности металлов лазерным излучением / Е. М. Притоцкий, А. П. Притоцкая, А. А. Бурцев [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 581–587. – DOI 10.17586/2226-1494-2018-18-4-581-587.

*К. В. Сердюк\**

аспирант, старший преподаватель

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В работе предлагается использование многоальтернативной системы контроля физико-технического состояния авиационного двигателя с использованием брэгговской решетки в качестве измерительного устройства, что имеет важное значение для обеспечения безопасности и снижения затрат на обслуживание.

**Ключевые слова:** многоальтернативная система контроля, контроль технического состояния авиационного двигателя, силовые устройства, брэгговская решетка, спектральный анализ.

*К. V. Serdiuk\**

graduate student, senior lecturer

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## SPECTROSCOPIC CONTROL OF PHYSICAL AND TECHNICAL AIRCRAFT ENGINE CONDITION

The paper proposes the use of a multi-alternative system for monitoring the physical and technical condition of an aircraft engine using a Bragg grating as a measuring device, which is important for ensuring safety and reducing maintenance costs.

**Keywords:** multi-alternative control system, aircraft engine technical condition control, power devices, Bragg grating, spectral analysis.

Применение спектроскопического контроля физико-технического состояния составляющих частей самолета позволяет обеспечить высокую надежность и ремонтпригодность авиационной техники. Для определения неисправностей и контроля износа двигателя можно использовать методы диагностики уровня вибрации и наличия твердых частиц в масле. В зависимости от степени износа или повреждения, можно своевременно заменить или отремонтировать компоненты и узлы авиационного двигателя, что значительно сокращает время, трудозатраты и стоимость обслуживания.

Предлагается использовать многоальтернативную систему в качестве системы контроля технического состояния авиационного двигателя [1], изображенной на рис. 1, где ИУ – исполнительные устройства,  $x_k$  - входные переменные, ИзУ – измерительное устройство,  $y'_k$  - выходные переменные. В качестве измерительного устройства предлагается использование волоконно-оптической брэгговской решетки, регистрирующее информацию о физическом-техническом состоянии двигателя, таких как температура, растяжение, давление и вибрация [2]. Работа волоконно-оптической брэгговской решетки основана регистрации изменений отраженного сигнала последующей обработке данных [3].

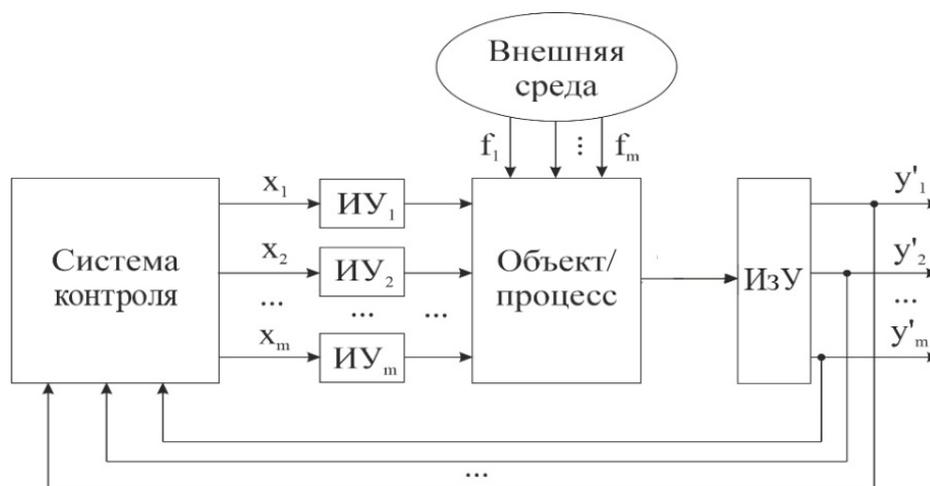


Рис. 1. Функциональная схема многоальтернативной системы контроля

Внедрение системы спектроскопического контроля физико-технического состояния в авиационной технике имеет важное значение для обеспечения высокой надежности, возможности ремонта и обслуживания, а также удобства эксплуатации. Это позволит предупредить возможные проблемы на ранних стадиях.

### Библиографический список

1. Москалец, О. Д. Дифракционный призмный спектральный прибор в многоальтернативной системе автоматического управления / О. Д. Москалец, К. В. Сердюк // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. Материалы XXIII международной научной конференции – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2020. – С. 150–156.
2. Васильева, В. И. Спектральные методы анализа. Практическое руководство: учебное пособие / В. И. Васильева, О. Ф. Стоянова, И. В. Шкутина, С. И. Карпов, В. Ф. Селеменев, В. Н. Семенов; Изд-во Лань, 2014, 416 с.
3. Fiber Bragg grating and long period grating sensor for simultaneous measurement and discrimination of strain and temperature effects / K. Srimannarayana [et. al.] // Optica Applicata. – 2008. – Vol. 38.

*Д. В. Серебрянский*

магистрант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕЧЕЙСКАТЕЛЯ**

Рассматриваются оптимальные режимы работы гелиевого течеискателя на основе масс-спектрометрического метода путем использования различных способов выявления течи.

**Ключевые слова:** гелиевый течеискатель, масс-спектрометрический метод, способы выявления течи, режим работы течеискателя.

*D. V. Serebrianskii*

undergraduate student

St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

**INVESTIGATION OF THE OPERATING MODES OF THE LEAK DETECTOR**

The optimal modes of operation of a helium leak detector based on the mass spectrometric method by using various leak detection methods are considered.

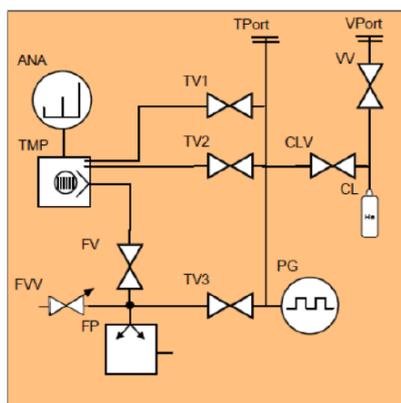
**Keywords:** helium leak detector, mass spectrometric method, leak detection methods, operating modes.

Герметичность – свойство конструкции препятствовать газовому или жидкостному обмену между средами, разделенными стенками конструкции. Контроль герметичности основан на применении пробных веществ (жидкостей или газов) и регистрации их проникновения через сквозные дефекты в конструкции при помощи различных приборов-течеискателей или других средств регистрации пробного вещества. Контроль герметичности позволяет обнаружить в металлических конструкциях (сварных соединениях и металлических материалах) сквозные дефекты типа трещины, непроваров, газовых пор, прологов и т.п. Степень герметичности конструкции оценивается суммарным потоком воздуха через все имеющиеся в конструкции сквозные дефекты из атмосферы в вакуум при нормальных условиях.

Величина сквозного дефекта оценивается потока воздуха через сквозной дефект при нормальных условиях из атмосферы в вакуум и при условии, что канал дефекта полностью освобожден от жидкостей и загрязнений, имеющих прохождению воздуха. Пороговая чувствительность течеискателей характеризуется минимальным потоком пробного вещества, который течеискатель может зарегистрировать. Пороговая чувствительность способа контроля характеризуется минимальным потоком или количеством пробного вещества, которая фиксируется в схеме проведения контроля. Под системой контроля понимается сочетание определенных способа и режимов контроля и способа подготовки изделия к контролю [1].

Масс-спектрометрический метод течеискания применяют при контроле герметичности, а также при проведении испытаний на герметичность. Масс-спектрометрический метод течеискания основан на обнаружении пробного вещества в смеси веществ, проникающих через течи, путем ионизации веществ с последующим разделением ионов по отношению их массы к заряду под действием электрического и магнитного полей.

Течеискатель масс-спектрометрический представляет собой вакуумную систему, состоящую, если рассматривать упрощенно, из масс-спектрометрического анализатора с двумя катодами, двух насосов: высоковакуумного и форвакуумного, системы клапанов, управляющей электроники и устройства индикации. На рисунке 1 приведена принципиальная вакуумная схема течеискателя.



- ANA – анализатор (масс-спектрометр);
- TMP – компонентный турбомолекулярный насос;
- FP – форвакуумный насос;
- FV – клапан форвакуумной откачки;
- VV – клапан напуска атмосферы;
- FVV – вентиляционный клапан форвакуумного насоса;
- TV1 – вакуумный клапан тест-линия 1;
- TV2 – вакуумный клапан тест-линия 2;
- TV3 – вакуумный клапан тест-линия 3;
- CLV – вакуумный клапан для подключения встроенной калиброванной течи;
- PG – встроенный датчик вакуума (типа Пирани);
- CL – встроенная калиброванная течь;
- TPport – Порт подключения к тестовому объекту;
- VPort – Порт подключения внешней продувки.

Рис. 1. Принципиальная схема течеискателя

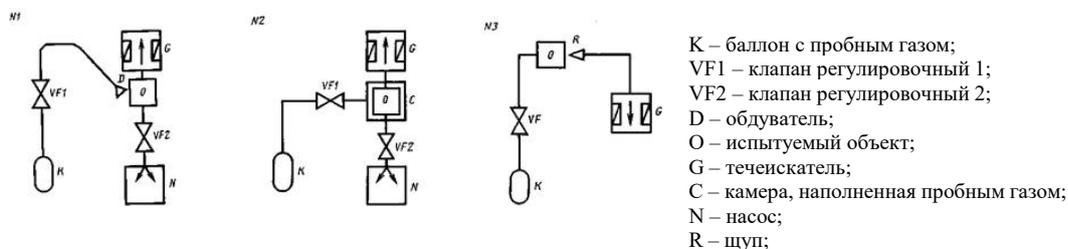


Рис. 2. Схемы способов реализации выявления течи

Основными пробными веществами являются инертные газы – гелий и аргон. Течеискание масс-спектрометрическим методом проводят при изготовлении герметизируемых изделий, их эксплуатации и ремонте. При изготовлении деталей, сборочных единиц и изделий течеискание проводят с учетом конструктивно-технологических особенностей изделия, экономической целесообразности и эксплуатационной надежности, вероятности образования течей на различных этапах технологического процесса и возможности их перекрытия.

Способы выявления течи:

- способ обдува (1) – откачанный контролируемый объект подсоединяют к течеискателю. При непрерывной откачке объекта течеискателем подозреваемые участки поверхности обдувают пробным газом с одновременной регистрацией сигнала течеискателя;
  - способ вакуумной камеры (2) – контролируемый объект помещают в вакуумную камеру, соединенную с течеискателем, заполняют пробным газом (контрольной средой) с одновременной регистрацией сигнала течеискателя;
  - способ щупа (3) – Контролируемый объект заполняют пробным газом (контрольной средой) под избыточным давлением. Течи обнаруживают сканированием поверхности объекта щупом течеискателя [2].
- На рис. 2 представлены схемы реализации способов выявления течей.

#### Библиографический список

1. ОСТ 5.0170-81 Контроль неразрушающий. Металлические конструкции. Газовые и жидкостные методы контроля герметичности. [Электронный ресурс]: <https://dokumen.tips/documents/-50170-81-4-.html?page=1> Доступ свободный. Дата обращения 10.01.2024 г.;
2. ГОСТ 28517-90 Контроль неразрушающий. Масс-спектрометрический метод течеискания. Общие требования. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200013313> Доступ свободный. Дата обращения 12.01.2024 г.

*Ю. А. Силин\**

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЕСПИЛОТНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО ШАССИ МАСШТАБОМ 1:10

Рассматривается реализация беспилотной системы на базе модели автомобильного шасси с использованием системы управления на протоколе ExpressLRS. Благодаря с высокой степенью схожести с реальным легковым автомобилем, данная система может быть использована для моделирования транспортных потоков, а также для последующей реализации систем навигации беспилотного автотранспорта.

**Ключевые слова:** беспилотный транспорт; беспилотная навигация; ExpressLRS; автотранспорт; системы управления.

*Y. A. Silin\**

student

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF AN UNMANNED SYSTEM BASED ON A MODEL OF AN AUTOMOBILE CHASSIS WITH A SCALE OF 1:10

Discusses the implementation of an unmanned system based on an automobile chassis model using an ExpressLRS protocol control system. Due to its high degree of similarity to a real passenger car, this system can be used to simulate traffic flows, as well as for the subsequent implementation of navigation systems for unmanned vehicles.

**Keywords:** unmanned transport; unmanned navigation; ExpressLRS; motor transport; control systems.

На данный момент ведутся много исследований и разработок в области беспилотной навигации автомобильного транспорта. Беспилотная система на базе модели автомобильного шасси масштабom 1:10 может заменить легковой автомобиль для тестирования, что позволит снизить затраты на разработки и значительно упростит их. Модель автомобильного шасси имеет конструктивно схожую подвеску, а также реалистичную управляемость, благодаря чему может быть использована для реализации проектов беспилотной навигации автотранспорта.

Для реализации устойчивой радиосвязи планируется использовать протокол радиоуправления дальнего действия ExpressLRS на частоте 2.4 ГГц. Данный протокол имеет хорошую шифровку пакетов данных, благодаря чему имеет высокую помехоустойчивость по сравнению с популярными протоколами AFHDS2A, Frsky D8, Frsky D16. Для реализации устойчивой видеосвязи планируется использовать аналоговую систему видеопередачи на частоте 5,8 ГГц. Мощность видеопередатчика должна составлять не менее 500 мВт.

В качестве вычислительного комплекса планируется использовать персональный компьютер. Для получения видеосигнала с FPV камеры модели необходимо подключить к персональному компьютеру FPV приёмник skydroid. Видео, получаемое данным FPV приёмником, имеет минимальную задержку и позволяет анализировать текущую обстановку вокруг беспилотной системы. Для осуществления управления моделью, необходимо наличие аппаратуры управления на протоколе ExpressLRS и микроконтроллера для эмуляции движения стиков. Связь микроконтроллера и персонального компьютера осуществляется через последовательный порт, а связь микроконтроллера и аппаратуры управления осуществляется при помощи rpm сигнала. Кроме канала видеосвязи, информация от модели на персональный компьютер может так же передаваться через каналы телеметрии, к примеру заряд батареи, текущая скорость, показания с датчиков, установленных по бортам.

Недостатком данной системы может являться возможность одновременно передавать видео только с одной камеры. Данный недостаток может быть компенсирован установкой камер с широким углом обзора и системы переключения приёма сигнала с нескольких камер.

Данную модель так же можно использовать для получения начальных навыков управления автомобилем. Для этого к микроконтроллеру необходимо подключить руль, коробку передач и педали от компьютерного автосимулятора. Так же для реалистичного обзора можно установить систему отслеживания положения головы.

По итогу, разрабатываемая модель может иметь широкий спектр применения:

- 1) разработка системы навигации с микрокомпьютером, установленным непосредственно на модель;
- 2) разработка системы навигации с осуществлением связи с внешним вычислительным устройством (персональным компьютером);
- 3) разработка тренажера для обработки начальных навыков управления автомобилем.

### Библиографический список

1. Силин, Ю. А. Разработка специализированного грузового захвата для беспилотных авиационных систем для решения задачи многоадресной доставки грузов / Ю. А. Силин, А. С. Костин, В. А. Фетисов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий : Сборник статей V Международного форума, Санкт-Петербург, 02 марта 2023 года / Под редакцией В.В. Окрепилова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 133-134. – EDN BRUNLG.
2. Пустохина, И. В. Современные тенденции развития логистики / И. В. Пустохина // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18, № 3. – С. 339-346. – DOI 10.18334/tp.18.3.37300. – EDN YGAGZN.
3. Еленин, Д. В. Основы автономного управления беспилотными авиационными системами для решения транспортных задач : Учебно-методическое пособие / Д. В. Еленин, А. С. Костин, Н. Н. Майоров. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2020. – 71 с. – EDN DYAQFK.

Г. Ю. Степанов\*

аспирант

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

В работе проведено сравнение различных схем фазовой модуляции и оценка их эффективности. В результате была выбрана наиболее предпочтительная схема фазовой модуляции для авиационных каналов связи.

**Ключевые слова:** модуляция, авиационный канал, фаза, бит, летательный аппарат.

G. U. Stepanov\*

graduate student

\*St.-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## EVALUATION OF THE QUALITY OF MASKING RADAR IMAGES

The paper compares various phase modulation schemes and evaluates their effectiveness. As a result, the most preferred phase modulation scheme for aviation communication channels was selected.

**Keywords:** modulation, aviation channel, phase, bit, aircraft

### Введение

За счёт скоротечного развития авиационного приборостроения, авиационные средства связи стали неотъемлемой частью при проектировании летательных аппаратов. Для достижения высокой эффективности применяются различные виды фазовой модуляции. В отличие от земной мобильной связи, авиационные каналы страдают от множества факторов, таких как: многолучевое затухание, которое возникает при дифракции, отражении, рассеянии и др.; эффект Доплера и другие факторы, возникающие в результате постоянного изменения скорости летательного аппарата. Из-за высокой сложности и стоимости восстановления фазы несущей, схемы дифференциальной модуляции, в частности, предпочтительнее чем схемы когерентной модуляции. Так как на данный момент есть сложности в оценке эффективности систематической частоты битовых ошибок (BER) в авиационных каналах, то возникает необходимость в сравнительном анализе различных схем фазовой модуляции.

### Схемы модуляции

Многопозиционная фазовая модуляция предполагает кодирование всей информации в фазе передаваемого сигнала. Таким образом, передаваемый сигнал за время действия одного символа задаётся следующим образом [1]:

$$s_i(t) = \Re \left\{ Ag(t) e^{j2\pi(i-1)/M} e^{j2\pi f_c t} \right\}, 0 \leq t \ll T_s \quad (1)$$

где  $A$  – типичная функция энергии сигнала,  $g(t)$  – формирующий импульс,  $f_c$  – несущая частота,  $T_s$  – период сигнала, и  $\theta_i = 2\pi(i-1)/M, i = 1, 2, \dots, M = 2^K$  – разные фазы, которые передают информационные биты. Сигнальное созвездие модуляции многопозиционной фазовой модуляции формируется с помощью кода Грея, где сообщение связано с сигнальными фазами, находящимися рядом друг с другом и отличающимися значением в один бит. Рисунок 1 показывает сигнальные созвездия квадратурной фазовой модуляции и восьмеричной фазовой модуляции с помощью кода Грея.

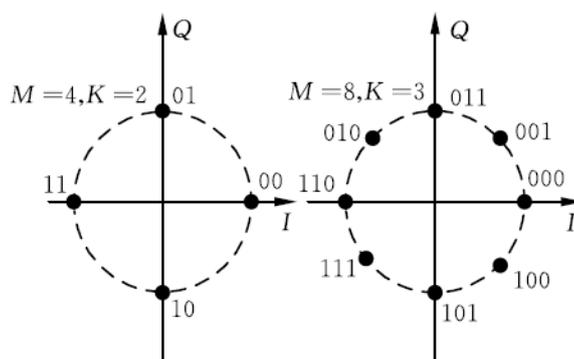


Рис. 1. Сигнальные созвездия квадратурной фазовой модуляции и восьмеричной фазовой модуляции

Дифференциальную модуляцию можно отнести к классу модуляции с памятью, где передаваемый во времени  $[kT_s, (k+1)T_s]$  символ зависит от связанных с сообщением битов, подлежащих передаче; и передаваемых битов в течение предшествующих периодов времени символа [1]. Главным отличием дифференциальной модуляции является применение предшествующего символа как фазовой привязки для текущего символа. За счёт этого можно избежать применения когерентной фазовой привязки в приемнике. Чаще всего информационные биты кодируются как разность фаз между текущим и предшествующим символом [1]. Фазовые переходы для дифференциальной квадратурной фазовой модуляции приведены в таблице 1.

Таблица 1

Отображение для дифференциальной квадратурной фазовой модуляции с кодировкой Грея

Последовательность битов	Фазовый переход
00	0
01	$\pi/2$
11	$\pi$
10	$-\pi/2$

Схема многопозиционной дифференциальной амплитудной модуляции подверглась расширению до комбинированной дифференциальной амплитудной и фазовой модуляции с целью повышения эффективности и производительности.

Сигнальное созвездие для шестидесяти четырехпозиционной дифференциальной амплитудной фазовой модуляции показано на рис. 2.

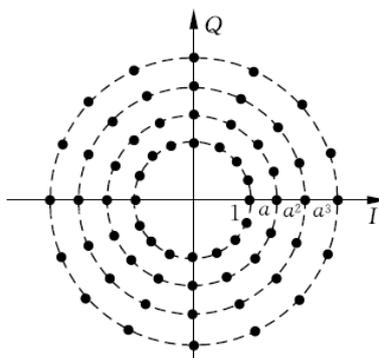


Рис. 2. Сигнальное созвездие шестидесяти четырехпозиционной дифференциальной амплитудной фазовой модуляции

Каждый символ состоит из шести битов  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ , которые делятся на две группы  $(b_5, b_6)$  и  $(b_1, b_2, b_3, b_4)$  для амплитудной и фазовой дифференциальной модуляции соответственно. Эта фазовая дифференциальная модуляция такая же, как и шестнадцатеричная дифференциальная фазовая модуляция. Амплитудные состояния  $|S_i|$  выбираются в соответствии с сигнальным созвездием и зависят от предыдущего амплитудного состояния  $|S_{i-1}|$  и двух входных информационных битов  $(b_5, b_6)$ . Подробное правило кодирования амплитуды представлено в таблице 2 [1].

Таблица 2

Шестидесяти четырехпозиционная амплитудная дифференциальная модуляция

$ S_{i-1} $	$ S_i $				
	$(b_5, b_6) =$	00	01	11	10
1		1	$a$	$a^2$	$a^3$
$a$		$a$	$a^2$	$a^3$	1
$a^2$		$a^2$	$a^3$	1	$a$
$a^3$		$a^3$	1	$a$	$a^2$

## Авиационные каналы и структура системы

Структурная схема системы с применением различных фазовых модуляций представлена на рис. 3.

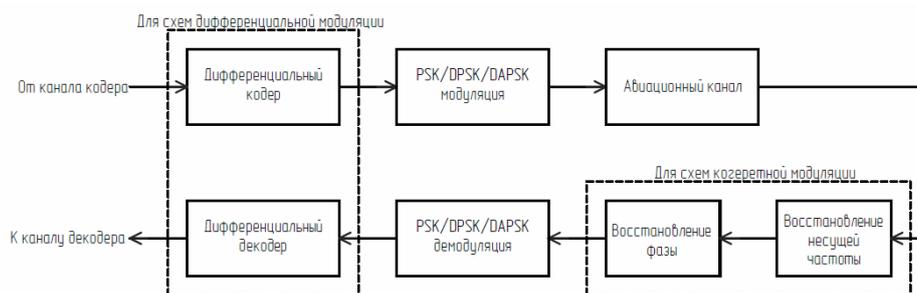


Рис. 3. Структурная схема системы с применением различных фазовых модуляций

Исходя из структурной схемы, от канала кодера входные биты транслируются через дифференциальный кодер для схем дифференциальной модуляции. Так как дифференциальный кодер не применяется в схемах когерентной модуляции, он выделен пунктирной линией. Выходные символы сравниваются с подходящим сигнальным созвездием и передаётся через авиационный канал. С другой стороны, у приёмника, полученные сигналы поступают в блок восстановления несущей частоты и, следом, в блок восстановления фазы. Так же, как и для дифференциальной модуляции, эти два блока обведены пунктирной линией, так как они применяются только в схемах когерентной модуляции. После этого, в случае дифференциальной некогерентной схемы модуляции, выходные символы подвергаются демодуляции и дифференциально декодируются. Необходимо заострить внимание на блоках восстановления несущей частоты и фазы, так как они могут усложнять и увеличивать задержки процессов в отличие от операций дифференциального кодера и декодера.

Различные модели авиационных каналов уже рассматривались множество раз [2, 3]. Разные условия во время полета летательного аппарата могут привести к совершенно различному развитию событий. Эти события можно охарактеризовать с помощью Рэлеевского и Райсовского замираний, эффектом Доплера и задержками в системе. Данная же статья обращает внимание именно на эффективность различных схем фазовой модуляций.

### Анализ эффективности

При общении между передатчиком и приемником могут возникать доплеровские сдвиги. Максимальный доплеровский сдвиг равен:

$$f_D = \frac{v(t)}{c} f_c \quad (2)$$

где  $f_D$  – максимальный доплеровский сдвиг,  $v(t)$  – относительная скорость передатчика и приемника, а  $f_c$  – несущая частота.

Максимальный доплеровский сдвиг можно зафиксировать и откорректировать с помощью блоков восстановления несущей частоты и фазы, применяемых в схемах когерентной модуляции. Но следует учесть, что влияние эффекта Доплера не может быть устранено во всех схемах фазовой модуляции [4]. Отношение остаточной мощности доплеровского спектра и мощности максимального доплеровского сдвига напрямую влияет на эффективность схем фазовой модуляции:

$$\alpha = \frac{P_{D,res}}{P_{D,max}} \quad (3)$$

где  $P_{D,res}$  – остаточная мощность доплеровского сдвига,  $P_{D,max}$  – мощность максимального доплеровского сдвига.

Во время полета скорость летательного аппарата может изменяться, что приводит к изменению доплеровского сдвига. Отсюда можно обозначить скорость изменения доплеровского сдвига  $f'_D$  как:

$$f'_D = \frac{v'(t)}{c} f_c \quad (4)$$

При превышении этой скорости допустимого диапазона, блок восстановления несущей частоты сместит частоту что повлечёт за собой и смещение фазы, после прохождения через блок восстановления фазы. Смещение остаточной частоты можно обозначить следующим образом:

$$\Delta f_{res} = f'_D (T_{tran} + T_{delay}) \quad (5)$$

где  $T_{delay}$  – физическая задержка блока восстановления несущей частоты,  $T_{tran}$  – время отклика блока восстановления несущей частоты.

Для фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ)  $T_{tran}$  можно рассчитать по следующей формуле:

$$T_{tran} = \arg \min \left\{ \left[ \frac{f'_D}{\omega_n^2} - \frac{f'_D}{\omega_n^2} \left( \cos \sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t \right) e^{-\zeta \omega_n t} \right] = 0 \right\} \quad (6)$$

где  $\omega_n$  – настоящая частота,  $\zeta$  – коэффициент демпфирования, равный 0,707 [1]. Смещение остаточной частоты преобразуется в смещение остаточной фазы сразу после прохождения через блок восстановления фазы. Соотношение между смещением остаточной частоты  $\Delta f_{res}$  и смещением остаточной фазы  $\Delta \varphi_{res}$  записывается как [1]:

$$\Delta \varphi_{res} = K \Delta f_{res} \quad (7)$$

где  $K$  зависит от расстояния между контрольным полем по количеству символов и периодом передаваемого символа. Следовательно, смещение остаточной фазы  $\Delta \varphi_{res}$  можно расценивать как приблизительно положительную величину пропорциональную скорости изменения доплеровского сдвига  $f'_D$ . Чтобы выполнить такое преобразование необходимо добавление динамического коэффициента  $\beta$ , который можно рассчитать с помощью (5)-(7).

Выразить его можно следующим образом:

$$\beta = C_0 K (T_{tran} + T_{delay}) f'_D \quad (8)$$

где  $C_0$  – постоянный коэффициент системы.

Отсюда можно сделать вывод, что при динамических условиях схемы дифференциальной фазовой модуляции будут эффективнее, чем просто фазовая модуляция.

Функция плотности вероятности изменения скорости доплеровского сдвига может быть вычислена в соответствии с состоянием летательного аппарата [4]. Функцию плотности вероятности можно смоделировать как экспоненциальное распределение и вероятность отключения может быть получена при максимальном допуске к изменению скорости доплеровского сдвига  $f'_{D,max}$  и выражена как:

$$P_{out} = \exp \left\{ -f'_{D,max} / f'_{D,mean} \right\} \quad (9)$$

где  $f'_{D,mean}$  – среднее значение изменения скорости доплеровского сдвига.

Например, при  $f'_{D,max} = 200$  Гц/с и  $f'_{D,mean} = 50$  Гц/с вероятность отключения  $P_{out} = 1,8\%$ .

### Анализ применения

Проанализированные схемы фазовой модуляции могут применяться в авиационных каналах типа “воздух-спутник”, “воздух-земля” и “воздух-воздух”. Когерентные схемы модуляции будут предпочтительнее при сверхсложном оценивании канала, но их работа может быть непостоянна в условиях высокой динамики. Дифференциальные схемы модуляции лучше других уменьшают значения доплеровского сдвига и изменения скорости доплеровского сдвига избегая применения сложных приёмников, но производительность будет постепенно уменьшаться и обеспечивать лишь самые маленькие потребности в связи. Выбор должен быть сделан в соответствии с действительными требованиями и ограничениями.

### Выводы

В этой статье был проведён краткий анализ схем фазовой модуляции. В результате оценки эффективности можно сказать, что дифференциальная фазовая модуляция будет предпочтительнее для применения в авиационных каналах из-за возможности применения простого приемника и способности выдержать доплеровский сдвиг и изменение его скорости.

### Библиографический список

1. Ипатов В., Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. Ипатов // Техносфера, 2007.
2. Bello P., Aeronautical channel characterization. IEEE Transactions on Communications, 1973, 21(5): 548–563.
3. Метелёв С. А. Модель авиационного канала радиосвязи в метровом и дециметровом диапазонах длин волн для адаптивного пространственно-разнесённого приёма / С. А. Метелёв, А. В. Львов // Известия вузов. Радиофизика. Том 8. 2015. № 2.
4. Холопов И., Сложные сигналы в радиотехнических системах. Учебное пособие / И. С. Холопов, Е. С. Штрунова // Рязанский государственный университет, 2022.

*Е. В. Тарасова\**

магистрант 1 курса

\*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ДВУХКООРДИНАТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В рамках исследования была разработана и успешно опробована методика калибровки двухкоординатной оптической измерительной системы (ДОИС) 2017 года выпуска, принадлежащей Санкт-Петербургскому горному университету императрицы Екатерины II.

**Ключевые слова:** двухкоординатная оптическая измерительная система (ДОИС), калибровка, объект-микрометр, меры длины концевые плоскопараллельные (ПКМД).

*E. V. Tarasova\**

1st year master's student

\*St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALIBRATION OF A TWO-COORDINATE OPTICAL MEASURING SYSTEM

A calibration technique for a two-coordinate optical measuring system manufactured in 2017, owned by the St. Petersburg Mining University was developed and successfully tested.

**Keywords:** two-coordinate optical measuring system (TCOMS), calibration, micrometer object, plane-parallel end length measures.

ДОИС предназначена для измерения линейных размеров различных изделий в прямоугольных координатах в диапазоне 0-50 мм. В состав ДОИС входит персональный компьютер, обеспечивающий обработку измерений и определение требуемых размеров контролируемых параметров. Основным преимуществом ДОИС является способность измерять геометрические параметры объектов без контакта с ними, что позволяет избежать повреждения или деформации объекта при измерениях [1, 2].

Согласно требованиям [3], методика калибровки ДОИС включает в себя: установление определенных условий проведения калибровки, включая параметры окружающей среды и приборов, фиксирующих данные параметры; выбор эталонов, по которым совершается калибровка; выявление требований при подготовке к процедуре калибровки; определение последовательности операций калибровки, включающих для ДОИС: внешний осмотр, опробование, определение идентификационных данных ПО, определение разрешения окуляра, определение метрологических характеристик.

Для проведения процедуры калибровки ДОИС могут быть использованы следующие основные и вспомогательные средства калибровки: термометр ТЛ-2; тарометр БАММ-1 или М-110; психрометр МВ-4-2М, М-34-М.

Согласно руководству по эксплуатации ДОИС установлены следующие условия окружающей среды, которые должны соблюдаться при калибровке (таблица 1):

Таблица 1

Условия окружающей среды

Наименование параметра	Значение
Температура окружающего воздуха, °С	20±2
Относительная влажность окружающего воздуха, %	60±20
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	101±5 (760±50)

При выборе эталонов исходили из следующего:

а) в связи с тем, что разрешающая способность зависит от комбинации окуляра и объектива, для определения разрешения используется объект-микрометр. В наличии в учебной лаборатории кафедры МПиУК Горного университета имеется объект-микрометр ОМ-О с ценой деления шкалы 0,01 мм, (производитель ОАО «НПП «Эталон», г.Омск, зав. №034, год выпуска 2014);

б) для определения метрологических характеристик в качестве эталона были приняты меры длины концевые плоскопараллельные (ПКМД) до 100 мм из стали, класс точности 2 (набор №2, состоящий из 38 мер, зав. №59607, год выпуска 2017).

Для калибровки были отобраны три меры из набора с номинальными значениями 10, 30 и 50 мм для равномерного покрытия диапазона измерений ДОИС. С помощью ДОИС были проведены измерения указанных

поочередно располагаемых ПКМД в направлении осей X, Y и в плоскости XY не менее 5 раз при прямом и обратном ходе. Разница между номинальным значением измеряемого эталона и средним значением показаний прибора является *оценкой правильности* измерений (систематическим отклонением).

Для выделенных составляющих бюджета неопределенности при апробации методики калибровки на ПКМД 50 мм были получены следующие значения (табл. 2).

Таблица 2

Составляющие бюджета неопределенности ДОИС

Составляющие неопределенности	Тип неопределенности (закон распределения)	Значение при апробации (мм)
Случайный разброс показаний	A (нормальный)	49,93
Систематическое отклонение (ошибка) $\Delta_{сист}$	B (равномерный)	-0,07
Погрешность эталона (ПКМД)		$\pm 0,0008$
Погрешность шага дискретности ДОИС*		$\pm 0,0005$
Погрешность разрешения окуляра ДОИС		$\pm 0,05$

\*Согласно метрологическим характеристикам ДОИС, шаг дискретности цифрового отсчетного устройства составляет 1 мкм. Предполагается, что вариация считываемых значений из-за конечного разрешения подчиняется прямоугольному (равномерному) распределению с полушириной интервала и равна  $\pm 0,0005$  мм.

В результате для меры 50 мм были получены следующие значения:  $u_A = 0,23$  мм;  $u_{B1} = 0,0004$  мм;  $u_{B2} = 0,0003$  мм;  $u_{B3} = 0,03$  мм;  $u_c(y) = 0,23$  мм;  $U_p = 0,46$  мм.

Согласно [4], рекомендовано вносить в результат измерений поправку путем увеличения расширенной неопределенности на величину известной систематической ошибки. Скорректированную неопределенность оценивают по формуле:  $U = U_p + |\Delta_{сист}|$

Для конечного результата калибровки предложено два варианта оформления, исходя из различных требований точности к результатам измерений и вероятного диапазона измерений. В первом варианте, исходя из полученных результатов измерений по каждой ПКМД (локального диапазона), выбирается наибольшее значение неопределенности, и данная неопределенность приписывается *ко всему диапазону* измерения прибора.

Второй вариант позволяет с использованием уравнения типа  $U = A + BX + CX^2$  (где X – измеряемая длина; A, B, C – коэффициенты для локальных диапазонов измерений ДОИС) более точно оценивать неопределенность для *конкретной* измеряемой длины.

Научный руководитель – Д. А. Радушинский, к. э. н., доцент, доцент кафедры метрологии, приборостроения и управления качеством Горного университета.

#### Библиографический список

1. Смирнова Е. Е., Кремчеева Д.А., Радушинский Д. А. Управление качеством (учебное пособие). СПб: Лема, 2023. – 170 с. – ISBN 978-5-00105-784-0.
2. Кремчеева Д.А. Смирнова Е. Е., Радушинский Д. А. Методы управления качеством продукции // Обслуживание и технологии для нефтегазового комплекса (ISSN 1999-6934). 2023, №3 (135). С. 30–34. DOI: 10.33285/1999-6934-2023-3(135)-30-34.
3. ГОСТ Р 8.879-2014 ГСИ. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению. – М.: Стандартинформ. – 2015. – 7 с.
4. ГОСТ 34100.3-2017/ ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения. – М.: Стандартинформ. – 2018. Рассматриваются принципы построения системы ватт-весов (весов Киббла), основные характеристики макетов технических устройств данных типа, созданных в начале 2020-х годов во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» совместно с ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» и призванных заменить «артефакт» государственного первичного эталона массы не ранее 2028 года. Рассматриваются принципы построения системы ватт-весов (весов Киббла), основные характеристики макетов технических устройств данных типа, созданных в начале 2020-х годов во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» совместно с ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» и призванных заменить «артефакт» государственного первичного эталона массы не ранее 2028 года.

*А. И. Тюрина\**

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## УМЕНЬШЕНИЕ ОШИБКИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Предложены рекомендации по уменьшению ошибки позиционирования БЛА в условиях торгового склада или цеха предприятия при использовании ультразвуковой системы навигации за счет учета температуры воздуха и калмановкой фильтрации результатов определения координат

**Ключевые слова:** БЛА, ультразвуковая система позиционирования, маяк, приемник-преобразователь, трилатерация, фильтр Калмана, микроконтроллер, датчик температуры.

*А. I. Tyurina\**

master's student at the Department of Design and Technologies of Electronic and Laser Equipment

*A. F. Kryachko\**

Professor, Doctor of Technical Sciences, scientific supervisor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

### REDUCTION OF POSITIONING ERROR OF UNMANNED AERIAL VEHICLE IN LIMITED SPACE

Recommendations on reduction of UAV positioning error in conditions of commercial warehouse or enterprise workshop when using ultrasonic navigation system by taking into account air temperature and optimal filtering of coordinate determination results are offered.

**Keywords:** UAV, ultrasonic positioning system, beacon, receiver-converter, trilateration, Kalman filter, microcontroller, temperature sensor.

В последнее время перспективным направлением является использование БЛА в ограниченных и замкнутых пространствах, таких как цеха предприятий и склады. Дроны существенно облегчают проведение инвентаризаций складов, контроль качества объемных деталей а также проведение погрузочно-разгрузочных работ. Для организации работы БЛА в ограниченных пространствах остро встает вопрос определения местоположения аппарата с точностью до единиц сантиметров. Традиционные системы навигации в этих условиях не применимы. Весьма перспективным направлением является использование локальных систем навигации с использованием ультразвуковых сигналов [1-4]. Недостатками существующих систем является малый радиус действия, определение только двух координат, что недостаточно для позиционирования БЛА, влияние на результаты позиционирования температуры окружающего воздуха. В локальной системе позиционирования сигналы спутников заменяются сигналами ультразвуковых маяков, располагаемых в опорных точках с известными координатами. Информационный сигнал, излучаемый БЛА принимается приемниками преобразователями маяков и по радиоканалу передаются на стационарную часть системы для обработки. Результаты расчетов передаются на БЛА. Точность позиционирования может быть повышена за счет отслеживания решающим устройством данных о температуре окружающего воздуха и использовании программной реализации калмановского линейного фильтра фильтрации при определении координат БЛА в управляющем микропроцессоре.

Предлагаемая схема построения локальной системы навигации не решает всех проблем. Ее работа, возможно, будет затруднена при высоком уровне акустических помех. При этом, например, может быть сорван этап ночной инвентаризации склада. Проблема может быть решена за счет комплексирования-использования управляющим модулем БЛА данных оптических систем, лидаров, ик-модуля, высотомера а также оперативное устранение источника помехи.

Для увеличения радиуса действия системы связь маяков со стационарным блоком целесообразно организовать по радиоканалу на основе стандартных приемо-передающих модулей, работающих в разрешенном диапазоне.

### Библиографический список

1. Ультразвуковая система определения координат 2.0 [Электронный ресурс] <https://habr.com/ru/post/479530/>(дата обращения: 14.05.2022)
2. The Cricket Indoor Location System [Электронный ресурс] <http://cricket.csail.mit.edu/#download> (дата обращения: 14.05.2022)
3. Indoor «GPS» с точностью +-2см [Электронный ресурс] <https://habr.com/ru/post/254361/> (дата обращения: 14.05.2022)
4. Геоскан Пионер Система УЗ-навигации в помещении “Локус” [Электронный ресурс] <https://www.geoscan.aero/ru/products/pioneer/hive>(дата обращения: 14.05.2022)

*А. И. Тюрина\**

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ОЦЕНКА ОБОБЩЕННОГО ПОПЕРЕЧНИКА РАССЕЯНИЯ ОТРАЖАТЕЛЯ В НЕГАРМОНИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ

Рассматриваются особенности оценки обобщенного поперечника рассеяния объекта локации при использовании РЛС сверхширокополосных сигналов.

**Ключевые слова:** радиолокационная цель, сверхширокополосный сигнал, относительная ширина спектра база сигнала, спектральная плотность, блестящая точка, обобщенный поперечник рассеяния.

*А. И. Тюрина\**

master's student at the Department of Design and Technologies of Electronic and Laser Equipment

*А. Ф. Крыачко\**

Professor, Doctor of Technical Sciences, scientific supervisor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## ESTIMATION OF THE GENERALIZED SCATTERING CROSS-SECTION OF THE REFLECTOR IN THE NON-HARMONIC CASE

The features of estimation of generalized scattering cross-section of the location object when using radar of ultra-wide-band signals are considered.

**Keywords:** radar target, ultra-wideband signal, relative width of the signal base spectrum, spectral density, brilliant point, generalized scattering cross-section.

Уже на протяжении полувека заметной тенденцией в радиолокации, позволяющей улучшить характеристики радиолокационных станций (РЛС) является использование сигналов с большой относительной шириной спектра-сверхширокополосных сигналов [1]. Весьма перспективным направлением современной сверхширокополосной радиолокации является радиофотоника. Применение радиофотонных элементов предположительно позволит обеспечить повышение разрешающей способности и увеличение дальности обнаружения.

Для сравнения различных целей в радиолокации используют такую характеристику как эффективный поперечник рассеяния (ЭПР) [2]:

$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

$r$ -расстояние от наблюдаемой цели до радара,  $P_1$ ,  $P_2$  – значение вектора Пойтинга электромагнитной волны (ЭМВ) в точке с координатами объекта и точке приема соответственно. Выражение (1) справедливо только для узкополосных сигналов и не пригодно для сверхширокополосного случая.

В работе [3] приведено обобщение понятия эффективного поперечника рассеяния для использования при сравнении целей в негармоническом случае:

$$\sigma_{\omega} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |F_1(i\omega)|^2 \sigma(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{+\infty} |F_1(i\omega)|^2 d\omega} \quad (2)$$

где

$$\sigma(\omega) = 4\pi r^2 |K(r, \theta, \varphi, i\omega)|^2 -$$

эффективный поперечник рассеяния на частоте  $\omega$ ,  $r$ ,  $\varphi$  координаты точки наблюдения в цилиндрической системе координат,  $\theta$ - импеданс граней угловой структуры.  $F_1(i\omega)$ -спектральная плотность зондирующего сверхширокополосного сигнала.  $K(i\omega)$  – фазочастотная характеристика элемента цели, например острой кромки крыла летательного аппарата, полученная на основе известного решения дифракционной задачи на рассматриваемом теле в гармоническом случае [4]. Анализ соотношения (2) позволяет сделать вывод о том, что абсолютное значение ОЭПР объекта локации будет зависеть от спектральных свойств зондирующего сигнала. Это позволяет подобрать для типовых целей сигналы с характеристиками, позволяющими получить максимальное значение ОЭПР. Также можно заключить, что ОЭПР также становится зависимой от времени и эта зависимость (форма портрета)

изменяется при смене ракурса наблюдения за целью. Анализ зависимости величины ОЭПР элементов цели от их формы, наличия и параметров покрытий позволяет решать задачу уменьшения радиолокационной заметности цели.

#### **Библиографический список**

1. Terrens W Barret History of Ultra Wide-Band(UWB) Radar&Communikation:Pioners and Innovators. Progress in Electromagnetic Symposium (PIERS 2000) Кембридж, Массачусетс, 2000.
2. Штагер Е. А., Чаевский Е. В. Рассеяние волн на телах сложной формы. М: Сов. Радио., 240 с.
3. Тюрин И. Е., Зернов Н. В. Определение эффективной поверхности рассеяния объекта локации в случае использования радиолокационной станцией сверхширокополосных сигналов / Труды НТК ВМУРЭ им. А. С. Попова ,1994 г. с. 129–131.
4. Крячко А. Ф., Лихачев В. М., Смирнов С. Н., Сташкевич А. И. Теория рассеяния электромагнитных волн в угловых структурах. СПб: Наука, 2009.

*А. И. Тюрина\**

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ЗАЩИТА БИЗНЕСА ОТ МОШЕННИЧЕСТВА С АВТОМОБИЛЬНЫМИ ВЕСАМИ

Рассматриваются способы противодействия мошенническим действиям с весами для грузовых автомобилей.

**Ключевые слова:** антифрод, экономическая безопасность, весы для грузовых автомобилей, «корректоры» веса, тензорный датчик, сигнальный кабель, клемная коробка, весовой терминал, ось, генератор радиопомех, блокиратор беспроводной и сотовой связи.

*А. I. Tyurina\**

master's student at the Department of Design and Technologies of Electronic and Laser Equipment

*A. F. Kryachko\**

Professor, Doctor of Technical Sciences, scientific supervisor

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## PROTECTING BUSINESSES FROM TRUCK SCALE FRAUD

The ways of counteracting fraudulent actions with truck scales are considered.

**Keywords:** anti-fraud, economic security, scales for truck, weight correctors, tensor sensor, signal cable, terminal box, weighing terminal, axle, radio interference generator, wireless and cellular communication blocker.

Весы для грузовых автомобилей- это точный прибор, использующийся для взвешивания автомобилей и автопоездов. Они широко применяются в черной и цветной металлургии, пищевой и химической промышленности, на транспорте, сельское хозяйство, строительстве, таможне и т.д. Механические автомобильные весы практически ушли в историю. В настоящий момент наиболее широко используются электронные автомобильные весы различных видов на основе тензорнорезистивных датчиков (фундаментные и бесфундаментные, колейные, весы с полным заездом автомобиля, весы поосного взвешивания, переносные весы, бортовые и т.д.). В тоже время по данным МВД широко распространены различные типы мошенничества с автомобильными весами. К самыми распространенными способам мошенничества с автомобильными относятся неправильное размещение груза, манипуляции с датчиками веса, занижение нагрузки, кража товара, фальсификация данных. Если не принимать мер защиты, разные способы такого обмана могут оставаться незамеченными в течение многих месяцев. Доверяя фальшивым показаниям весов, можно потерять тонны ценностей и сотни тысяч денежных средств!

Защита бизнеса от данного типа мошенничества является составной частью системы обеспечения экономической безопасности предприятия и начинается с обеспечения кадровой безопасности (безусловное проведение комплекса проверок при приеме персонала на работу).

Исключить манипуляции с датчиками веса и неправильное размещение груза позволяют автоматизированные системы взвешивания автомобилей, оснащенные светофорами въезда/выезда, шлагбаумами, стоп-линиями, датчиками положения транспортного средства на весах. Камеры распознавания номеров автомобиля и камеры осмотра кузова, интегрированные со специализированным ПО водоизмерительной системы, обеспечивают дополнительные антимошеннические и контрольные функции.

Одной из самых больших проблем является фальсификация данных с помощью мошеннических устройств-электронных «корректоров» веса. Корректоры это устройства, обычно работающие по радиоканалу устройства, которые не санкционированно подключаются к сигнальному кабелю, клеммной коробке или даже весовому терминалу и позволяющие исказить аналоговый сигнал с тензодатчиков. Существуют как очень простые устройства, искажающие результаты взвешивания на определенный процент, так и продвинутые, позволяющие «творчески» подходить к процессу обмана при взвешивании и устанавливать конкретный перевес(недовес). Одним из способов противодействия является использование генераторов радиопомех, блокираторов беспроводной и сотовой связи [3, 4]. В качестве дополнительного метода, но не дешевого метода предотвращения мошенничества в обычных грузовых весах можно рекомендовать использование бортовых весов для грузовых автомобилей.

Перспективным направлением борьбы с данным типом мошенничества является применение цифровых систем измерения веса, использование цифровых тензодатчиков, передающих сигнал на терминал в цифровом виде, оптоволоконных линий для связи специальных тензодатчиков с измерительным устройством в системах взвешивания.

### Библиографический список

1. Пять самых распространенных способов мошенничества с автомобильными весами [Электронный ресурс] [https://www.mt.com/ru/ru/home/library/guides/transport-logistics/vehicle\\_scale\\_fraud\\_prevention.html](https://www.mt.com/ru/ru/home/library/guides/transport-logistics/vehicle_scale_fraud_prevention.html) (дата обращения: 24.01.2024).
2. Внимание, корректоры! (обман на весах) [Электронный ресурс] <https://alfaetalon.ru/novosti/vnimanie-korrektory-obman-na-vesakh> (дата обращения: 24.01.2024).
3. Пространственное зашумление [Электронный ресурс] <http://www.pps.ru/?part=catalog&product=59> (дата обращения: 24.01.2024).
4. Блокираторы беспроводной связи, Блокираторы сотовой связи [Электронный ресурс] <http://www.pps.ru/?part=catalog&category=37> (дата обращения: 24.01.2024).

*Т. С. Федькова*

магистрант 1 курса Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ АНАЛИЗАТОРА ПЫЛИ ETL

В рамках исследования была разработана и успешно опробована в лаборатории государственных эталонов и научных исследований в области измерений параметров дисперсных сред ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» методика поверки анализатора пыли ETL – D 200.

**Ключевые слова:** анализатор пыли ETL, поверка, измерения массовой концентрации пыли.

*T. S. Fedkova*

1st year master's student at St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CHECKING THE ETL DUST ANALYZER

A verification method for the ETL-D 200 dust analyzer was developed and successfully tested in the laboratory of state standards and scientific research in the field of measuring parameters of dispersed media at VNIIM (Saint-Petersburg, Russia).

**Keywords:** ETL dust analyzer, verification, measurements of dust mass concentration.

Анализатор пыли ETL – D 200 предназначен для автоматического измерения массовой концентрации аэрозольных частиц в газопылевых потоках в газоходах и дымовых трубах. Измерение массовой концентрации пыли происходит путем определения интенсивности рассеянного света, которая пропорциональна количеству пыли в воздухе [1]. Приборы на этом принципе действия позволяют измерять концентрации в диапазоне менее 20 мг/м<sup>3</sup>, что очень важно, поскольку такие значения концентраций в промышленных выбросах достаточно широко распространены.

Разработка методик поверки *анализаторов пыли* позволяет гарантировать точность и надежность измерений, что в свою очередь позволяет соблюдать экологические требования и предпринимать меры по защите окружающей среды и здоровья людей [2, 3].

При разработке методики поверки (МП) должен быть выполнен перечень операций, включающий в себя внешний осмотр средства измерений (СИ), подготовку к поверке и опробованию СИ, проверку программного обеспечения (ПО), определение метрологических характеристик (МХ) и подтверждение соответствия СИ метрологическим требованиям [4].

Процедура поверки начинается с проведения внешнего осмотра СИ. После проведения внешнего осмотра выполняется подготовка к поверке и опробованию СИ, состоящая из двух этапов. Первый включает в себя контроль условий проведения поверки на соответствие требованиям, установленным в МП. В таблице 1 представлены требования к параметрам окружающей среды для МП «ГСИ. Анализаторы пыли ETL-D 200», согласно методике.

Таблица 3

Условия окружающей среды

Наименование параметра	Значение
температура окружающего воздуха, °С	от +15 до +25
относительная влажность воздуха, %, не более	80
атмосферное давление, кПа	от 90,6 до 104,8

Вторым этапом является подготовка к работе оборудования для проведения измерений. Для методики поверки анализатора пыли ETL – D 200 необходимо разместить анализатор в аэрозольной камере и подключить к ПК. Для получения тестового аэрозоля нужно приготовить раствора натрия хлористого, смешав воду и NaCl с помощью магнитной мешалки. Генератор аэрозоля заполнить полученным раствором и подключить ко входу аэрозольной камеры. После чего подключить эталонные анализаторы к выходным штуцерам аэрозольной камеры.

Для проведения процедуры поверки (май 2023 года) применялось оборудование из состава Государственного рабочего эталона единицы массовой концентрации частиц в аэродисперсных средах в диапазоне от 0,02 до 1500 мг/м<sup>3</sup>, рег. № 3.1.ZZB.0161.2015.

Оборудование, входящее в состав эталона:

- анализатор пыли ДАСТ-1-Э, зав.№ 04;
- камера аэрозольная статическая ШДЕК.418313.010, зав.№ 01;
- генератор аэрозоля ШДЕК.418329.001, зав.№ 01.

В рамках разработки МП была проведена идентификация ПО СИ. Проверялось наличие идентификационных данных ПО, указанных в его документации и подлежащих внесению в описание типа. Было

Для определения МХ анализатора необходимо подключить установку, в которой сжатый воздух поступает в генератор, обеспечивающий подачу аэрозоля в камеру. Внутри камеры помещается испытываемый анализатор пыли ETL – 200, подключенный к персональному компьютеру для наблюдения и анализа измерений в реальном времени. Также к камере подключается эталонный анализатор для отбора пробы пыли. Для очистки воздуха используется воздушный фильтр.

В рамках работы испытания проводились при разных концентрациях раствора, в зависимости чего менялось время отбора проб. Одновременно проводились измерения массовой концентрации испытываемым и эталонных анализаторах. Результаты измерений подтвердили диапазон измерений и значение относительной погрешности, указанных в заявке на проведение испытаний в целях утверждения типа.

Следующим этапом в разработке МП является подтверждение соответствия СИ метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа СИ, в рамках которого необходимо рассчитать относительную погрешность измерений массовой концентрации пыли и относительное среднее квадратическое отклонение среднего. Для расчета СКО были проведены по 5 измерений для каждого из задаваемых значений массовой концентрации взвешенных частиц.

По результатам испытаний относительная погрешность не превысила допустимых пределов ( $\pm 20\%$ ), относительное среднее квадратическое отклонение среднего не превысило 4 %. Значит, результаты подтверждения соответствия поверяемого анализатора метрологическим требованиям считаются положительными; предусмотренные в МП эталоны и СИ достаточны для определения МХ поверяемых анализаторов и подтверждения соответствия их метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа. Следовательно, методика поверки «ГСИ. Анализаторы пыли ETL-D 200. Методика поверки» реализуема и пригодна для применения при поверке анализаторов.

Научный руководитель – к. э. н., доцент, доцент кафедры Метрологии, приборостроения и управления качеством Горного университета Радушинский Д. А.

#### **Библиографический список**

1. Yumeng Zhao, R. P. Kingsly Ambrose. A real-time method for sensing suspended dust concentration from the light extinction coefficient. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (2020). DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104242.
2. Смирнова Е. Е., Кремчеева Д.А., Радушинский Д. А. Управление качеством (учебное пособие). СПб: Лема, 2023. – 170 с. – ISBN 978-5-00105-784-0.
3. Кремчеева Д. А., Смирнова Е. Е., Радушинский Д. А. Методы управления качеством продукции // *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*. 2023, №3 (135). С. 30-34. DOI: 10.33285/1999-6934-2023-3(135)-30-34.
4. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 28.08.2020 г. № 2907.

*Т. А. Фролова*

Студент

*О. С. Коновалова*

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕТРОЛОГИИ

В статье рассмотрена возможность применения нейронных сетей метрологии.

**Ключевые слова:** автоматизация, измерения, нейронные сети, метрология.

*T. A. Frolova\**

Student

*O. S. Konovalova\**

Student

\*St. Petersburg state University of Aerospace Instrumentation

## THE USE OF NEURAL NETWORKS IN METROLOGY

The article discusses the possibility of applying neural networks to metrology.

**Keywords:** automation, measurements, neural networks, metrology.

Метрология, как наука об измерениях, имеет огромное значение во многих сферах человеческой деятельности. Точные измерения и высокая надежность результатов играют ключевую роль в таких областях, как производство, наука, технологии и многие другие. Современные технологии развиваются с быстротой, невиданной ранее, и требуют все более точных и сложных методов измерений. В этом контексте использование нейронных сетей в метрологии становится все более актуальным и перспективным.

Одним из главных преимуществ использования нейронных сетей является их способность обрабатывать большие объемы данных и находить закономерности в сложных системах. Кроме того, нейронные сети могут быть использованы для прогнозирования возможных погрешностей измерений на основе предыдущих данных, что способствует повышению надежности метрологических систем.

Также применение нейронных сетей может позволить автоматизировать процессы калибровки и тестирования измерительных приборов. Например, для калибровки и поверки измерительного оборудования требуется проведение большого количества измерений и сравнение результатов с эталонными значениями. Нейронные сети позволяют обучиться на этих данных и автоматически настроить параметры измерительного оборудования для достижения наибольшей точности. Это сокращает время проведения измерений, улучшает их качество и снижает вероятность человеческих ошибок, что в свою очередь упрощает работу метрологических служб.

Благодаря возможности обучения нейронных сетей на больших массивах данных, достигается улучшение эффективности метрологических процессов. Нейронные сети также открывают новые возможности для создания инновационных методов метрологического обеспечения в различных отраслях промышленности. Применение нейросетевых моделей позволяет решать сложные задачи, которые традиционные методы метрологии не в состоянии эффективно решить, и способствует развитию новых технологий измерений.

Таким образом, использование нейронных сетей в метрологии представляет собой перспективное направление, которое способствует повышению точности измерений, автоматизации метрологических процессов и развитию инновационных методов метрологического обеспечения в различных отраслях промышленности. Однако следует отметить, что применение таких сложных алгоритмов требует высокой степени экспертизы и аккуратности в процессе обучения нейронных сетей. Важно учесть все особенности измеряемых систем и обеспечить правильную предобработку данных для получения надежных результатов. В будущем, с развитием нейронных сетей и компьютерных технологий, можно ожидать еще большего внедрения этих методов в метрологическую практику.

### Библиографический список

1. Абрамов, С. Д. Нейронные сети и исследование процессов измерительной информации [Текст] / С. Д. Абрамов, А. А. Макаренко. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 208 с.
2. Жиглов, В. В. Нейронные сети и проблема обнаружения аномалий в метрологических данных [Текст] / В. В. Жиглов, Е. Ю. Багиров. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 177–187.
3. Карпушев, Т. А. Применение нейронных сетей в измерительной технике [Текст] / Т. А. Карпушев, В. Ф. Самсонов, С. К. Углова. – Москва: Наука, 2003. – 240 с.
4. Хороман, К. О. Разработка и применение нейронных сетей для решения задач метрологии [Текст] / К. О. Хороман, А. В. Никитин. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборы и системы управления». – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 36–46.

*А. Д. Шумилова\**

Студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ ПРИНЦИПОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ

Статья охватывает аспекты создания и внедрения системы менеджмента качества в метрологической службе. Статья рассматривает цели, принципы и преимущества внедрения СМК в метрологическую службу.

**Ключевые слова:** система менеджмента качества, метрологическая служба.

*A. D. Shumilova\**

Student of the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety

\*St. Petersburg state University of aerospace instrumentation

## ON THE ISSUE OF THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF QUALITY MANAGEMENT IN THE METROLOGICAL SERVICE

The article covers aspects of creating and implementing a quality management system in the metrological service. It considers the goals, principles, and advantages of implementing a QMS in the metrological service.

**Keywords:** quality management system, metrological service

Создание системы менеджмента качества (СМК) для проведения работ в метрологической службе является важным аспектом обеспечения точности, надежности и стабильности измерений. Основная идея создания СМК для метрологической службы заключается в том, чтобы установить и документировать процессы, процедуры и требования, необходимые для обеспечения качества проводимых измерений. Такая система поможет обеспечить стабильное и предсказуемое качество проводимых измерений, повысить доверие к результатам измерений, улучшить техническую оснащенность, повысить профессионализм сотрудников, установить ответственность за качество работы.

Для создания СМК в метрологической службе необходимо осуществить ряд ключевых шагов. Во-первых, необходимо провести анализ текущего состояния деятельности метрологической службы, выявить сильные и слабые стороны, а также определить потенциальные угрозы и возможности. Такой анализ позволит установить ключевые аспекты, на которые необходимо обратить особое внимание при создании СМК.

Затем необходимо разработать стратегию создания СМК, определить цели и задачи, план действий и ресурсы, необходимые для реализации данной стратегии. Этот этап может включать в себя обучение персонала, обновление технического оборудования, установление процедур и документации, а также создание механизмов контроля за выполнением установленных требований.

Также необходимо разработать систему документации, включающую политику качества, процедуры и инструкции по обеспечению качества, а также формы учета результатов измерений и документации. Такая документация должна быть доступной для всех сотрудников метрологической службы, а также должна соответствовать требованиям международных стандартов качества и метрологии.

После внедрения системы менеджмента качества необходимо осуществлять постоянный мониторинг и улучшение системы, проводить внутренние аудиты, а также анализировать результаты измерений для выявления отклонений и возможных улучшений. Важной частью системы менеджмента качества является обратная связь от заказчиков и пользователей результатов измерений, что позволяет эффективно реагировать на изменения в требованиях и потребностях рынка.

Одним из ключевых аспектов успешной реализации системы менеджмента качества в метрологической службе является активное участие руководства и постоянная поддержка со стороны высшего руководства организации. Кроме того, важно обеспечить необходимое обучение и развитие персонала, чтобы сотрудники понимали цели СМК, знали свои роли и обязанности, а также могли активно участвовать в процессах улучшения и развития системы.

### Библиографический список

1. Правиков, Ю. М. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина. – М.: КНОРУС, 2012. – 240 с.
2. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 2005. – 479 с.
3. Васин, С. Г. Управление качеством. Всеобщий подход: учебник для СПО / С. Г. Васин. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 404 с.
4. Тебекин, А. В. Управление качеством: учебник для бакалавриата и магистратуры / А. В. Тебекин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 410 с.

А. В. Южакова\*

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ (КАЛИБРОВКИ) НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Описан подход к организации проведения поверки (калибровки) с помощью технологии машинного зрения на основе преобразования Фурье, разработан алгоритм программного обеспечения и алгоритм поверки (калибровки) электротехнических средств измерений (СИ), приведен анализ перспектив сокращения времени поверки (калибровки) за счёт уменьшения влияния человеческого фактора.

**Ключевые слова:** преобразование Фурье, алгоритм поверки, калибровка, электротехнические средства измерений, LabVIEW.

A. V. Yuzhakova\*

student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METHOD OF REGISTRATION OF VERIFICATION (CALIBRATION) RESULTS BASED ON FOURIER TRANSFORM

The approach to organizing the verification (calibration) using computer vision technology based on Fourier transform is described. An algorithm for software development and a calibration algorithm for electrical measuring instruments have been developed. An analysis of the prospects for reducing the verification (calibration) time by reducing the influence of human factors is provided.

**Keywords:** Fourier transform, calibration algorithm, calibration, electrical measuring instruments, LabVIEW.

Метрология и автоматизация – два из наиболее быстро растущих последних технологических тенденций.

Существует два варианта проведения поверки и калибровки измерительных приборов при помощи автоматизированной системы. Первый вариант подразумевает использование канала общего пользования (при его наличии) для передачи команд с программы на калибруемый прибор (изменение пределов, выставление калибруемых точек), а также для передачи данных с прибора непосредственно в систему для создания протокола результатов поверки (калибровки). Второй вариант – при отсутствии у СИ канала общего пользования (КОП) или его неисправности. В этом случае оператор выставляет пределы измерения вручную, а данные с СИ предполагается передавать в протокол с помощью технологии машинного зрения.

Рассмотри второй вариант: регистрация результатов поверки(калибровки) на основе преобразования Фурье при отсутствии у СИ КОП.

Архитектура системы принимает следующий вид (рис. 1).

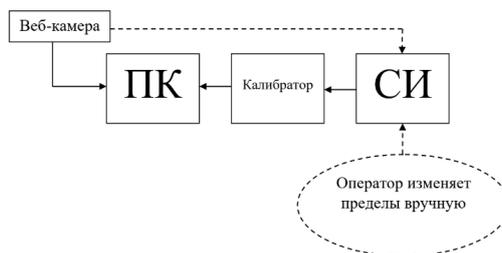


Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы при отсутствии или неисправности КОП у СИ

В соответствии с описанной структурой был разработан алгоритм программного обеспечения для обслуживания автоматизированной системы проведения поверочных работ.

Началом данного процесса является изучение технического описания прибора и определение наличия у него КОП.

В случае если СИ имеет неисправный КОП, или КОП не предусмотрен конструкцией прибора, то оператор должен выполнить следующие действия:

- 1) подключить веб-камеру к компьютеру;
- 2) запустить программу и выбрать определившуюся веб-камеру;
- 3) зайти в LabVIEW и запустить программу;
- 4) добиться устойчивого захвата изображения индикатора СИ;

- 5) указать путь для сохранения файлов с результатами измерений;
- 6) проверить правильность сохранения результата измерений.

В этом случае оператор вручную задает режимы работы прибора, а система автоматически считывает и регистрирует показания.

LabVIEW – это мощный инструмент для работы с изображениями, который предлагает широкий спектр возможностей для обработки, редактирования, фильтрации и анализа визуальных данных. Его графический пользовательский интерфейс позволяет пользователям с легкостью создавать собственные алгоритмы обработки изображений и приложения, что делает его универсальным и незаменимым инструментом для различных отраслей промышленности, включая метрологию и автоматизацию. Используя возможности LabVIEW, пользователи могут эффективно и точно обрабатывать, а также анализировать изображения, что позволяет им принимать обоснованные решения и оптимизировать свои рабочие процессы [1].

Разработанная программа выполнена на основе низкочастотного преобразования Фурье. Этот метод позволяет выделить основные компоненты изображения, такие как фон и крупные объекты, которые соответствуют "низким" пространственным частотам.

Преобразование Фурье позволяет представлять любую информацию в виде синусоидальных и косинусоидальных функций, позволяя идентифицировать периодические компоненты в данных и оценивать их вклад в общую структуру или функцию. Это свойство делает преобразование Фурье мощным инструментом для анализа и обработки сигналов и изображений в различных областях, включая метрологию и автоматизацию. Применяя преобразование Фурье к данным, полученным из цифровых источников или носителей, пользователи могут получить более глубокое представление о сигналах и принимать более обоснованные решения относительно калибровки и проверки измерительных приборов.

Дискретное преобразование Фурье преобразует последовательность вещественных чисел в последовательность коэффициентов Фурье.

Пусть  $\{x_i\}_{0 \leq i < N-1}$  – последовательность вещественных чисел, такая как значения яркости пикселей в строке изображения, может быть представлена в виде комбинации конечных сумм:

$$x_i = a_0 + \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} a_n \cos\left(\frac{2\pi ni}{N}\right) + \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} b_n \sin\left(\frac{2\pi ni}{N}\right),$$

где

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i,$$

$$a_{\frac{N}{2}} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i (-1)^i,$$

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cos\left(\frac{2\pi ik}{N}\right),$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \sin\left(\frac{2\pi ik}{N}\right),$$

$$i \leq k \leq \frac{N}{2}.$$

Наибольший интерес для систем цифровой обработки сигналов представляет дискретное преобразование Фурье. Данные, получаемые с цифровых носителей или источников информации, представляют собой упорядоченные наборы чисел, записанные в виде векторов или матриц.

Дискретное преобразование Фурье представляет значительный интерес для систем обработки сигналов, поскольку оно позволяет анализировать и синтезировать сигналы в частотной области. В контексте калибровки и проверки измерительных приборов данное преобразование может применяться к данным, полученным из цифровых источников или носителей, чтобы облегчить процесс выявления и исправления любых ошибок или расхождений. Преобразуя сигнал в частотную область, дискретное преобразование Фурье позволяет проводить более эффективный и точный анализ данных, что в конечном итоге может привести к улучшению результатов калибровки и верификации.

При дискретном преобразовании Фурье входные данные разлагаются на частотные составляющие, которые являются целыми кратными базовой частоте. Самая высокочастотная составляющая, определяемая размером входных данных, которая равна  $1/2\Delta$ , называется частотой Найквиста и играет решающую роль дискретному преобразовании Фурье. При использовании преобразования важно учитывать частоту Найквиста, поскольку это помогает точно представить сигнал в частотной области. Любые частотные составляющие, превышающие частоту Найквиста, сглаживаются, что происходит к возвращению к основной полосе частот и могут привести к ошибкам в анализе. Таким образом, понимание и работа в пределах частот Найквиста жизненно важны для получения точных и надежных результатов при обработке сигналов [2].

Алгоритм поверки (калибровки) выглядит следующим образом:

- 1) Запуск разработанного программного обеспечения и веб-камеры.
- 2) Выбор определенной в программе камеры.
- 3) Получение устойчивого изображения индикатора калибруемого СИ.
- 4) Запуск программы поверки.

5) Захват и сохранение изображения индикатора прибора. Если программа распознает и обрабатывает числа с индикатора, то результат сохраняется в протокол и поверка (калибровка) считается завершенной. Если обработка изображения не происходит, то процедура начинается сначала.

Использование преобразования Фурье в способе регистрации результатов поверки (калибровки) позволяет достичь высокой точности и надежности измерений.

Разработанный алгоритм позволяет эффективно обрабатывать результаты поверки (калибровки) на основе преобразования Фурье, что может ускорить процесс поверки (калибровки), а также снизить влияние человеческого фактора на результаты. В сравнении с актуальным процессом калибровки электротехнических средств измерений время, потраченное на проведение калибровки, должно уменьшиться с одного часа до десяти минут при отсутствии или неисправности КОП. Данные расчеты не учитывают времени на принятие прибором температуры окружающей среды.

Применение технологии машинного зрения в сочетании с преобразованием Фурье позволяет автоматизировать процесс поверки (калибровки) и повысить его эффективность, что особенно актуально при работе с большим объемом данных или сложными электротехническими средствами измерений.

В целом, способ регистрации результатов поверки (калибровки) на основе преобразования Фурье является эффективным и перспективным подходом, который может привести к улучшению точности, надежности и эффективности поверки (калибровки) электротехнических средств измерений.

#### **Библиографический список**

1. Питер Блум. LabVIEW. Стиль программирования //– М. : ДМК Пресс, 2015. – 400 с.
2. Корасек Р. Metrology and measurement systems / Корасек Р. – М. : Атлант, 2014. – 413 с.

*М. С. Туровская\**

к. э. н., доцент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА

Рассмотрены основные принципы и методы метрологического контроля, а также применение аддитивных технологий. Аддитивные технологии позволяют создавать сложные геометрические формы и уменьшать время производства, но требуют точного контроля качества изготавливаемых деталей и конструкций.

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, аддитивные технологии, система, качество измерений, производство, контроль, метод аддитивного производства.

*M. S. Turovskaya\**

Phd. Docent

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## METROLOGICAL SUPPORT AND APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF TRANSPORT

The basic principles and methods of metrological control, as well as the use of additive technologies, are considered. Additive technologies make it possible to create complex geometric shapes and reduce production time, but require precise quality control of manufactured parts and structures.

Keywords: metrological support, additive technologies, system, quality of measurements, production, control, additive manufacturing method.

Метрологическое обеспечение – это система обязательных мероприятий, которая позволяет контролировать достоверность и точность измерений и испытаний технических объектов, а также обеспечивать их систематическую оценку в соответствии с требованиями стандартов и регламентов. К одним из основных видов метрологического обеспечения можно отнести контрольно-измерительную аппаратуру, которая используется для проверки точности датчиков скорости, веса транспортных средств, дорожных измерений т.д. Ряд устройств могут измерять как стационарные, так и движущиеся транспортные средства. Среди приборов метрологического обеспечения можно выделить регистраторы движения и контроллеры, которые используются для сбора и обработки данных о движении транспортных средств. Можно оценивать такие параметры, как количество транспортных средств, скорость, время в пути и многое другое. Данные, собранные этими устройствами, можно использовать для анализа дорожных условий и предотвращения аварий.

Кроме того, метрологическое обеспечение также включает в себя системы дистанционного управления, которые используются для контроля и управления движением. Эти системы используются для определения того, какие направления транспортных средств являются наиболее важными для предотвращения аварий и создания оптимальной транспортной инфраструктуры.

Метрология может быть использована в дорожной инфраструктуре для:

- Оценки качества строительства дорог и мостов
- Контроля соответствия дорожных знаков и разметки стандартам
- Измерения шума и вибраций от транспорта на дорогах
- Выявления неисправностей и деформаций в дорожном покрытии
- Мониторинга скорости движения транспорта и пробок на дорогах
- Оценки безопасности на дорогах и улучшения дорожной среды.

Правильное метрологическое обеспечение может быть полезным для обеспечения точности и качества создаваемых деталей при использовании аддитивных технологий в дорожной инфраструктуре.

Аддитивные технологии — это процессы создания трехмерных объектов из материалов последовательного наслаения. Они также склонны к 3D-печати или быстрому творчеству. Эти технологии используются в различных областях, включая медицину, авиацию, производство и дизайн. Примеры аддитивных технологий включают фотополимеризацию, плакирование, лазерный синтез и экструзию.

Процесс 3D-печати начинается с создания объекта цифровой модели на компьютере. Затем модель загружается в программное обеспечение для 3D-печати, которое разбивает ее на тонкие слои. Печатающая головка движется над платформой и наносит материал на каждый слой постепенно создаваемого объекта.

Метод аддитивного производства позволяет создавать изделия, которые можно реализовать самыми разными способами, а также экономит время и ресурсы на производстве. Аддитивные технологии используются при производстве различных изделий, от запчастей до протезов и домов. Также в некоторых случаях 3D-печать можно описать как метод измерения.

Дополнительные технологии, такие как 3D-печать, могут использоваться в качестве метода измерения в дорожной инфраструктуре. Например, 3D-сканер может создать точную модель дорожного покрытия или элементов дорожной ситуации, которые можно измерить и проанализировать для определения их размера, формы и других характеристик. 3D-печать также может быть использована для создания прототипов дорожных элементов для испытаний и определения их соответствия требованиям безопасности и качества. Однако необходимо учитывать, что точность измерений с помощью 3D-печати может быть высокой от качества использования материалов и оборудования, а также от опыта и приобретения оператора.

Аддитивные технологии (3D-печать) регистрируются как метод измерения при создании прототипов или деталей. С помощью 3D-сканера можно получить точные данные о геометрии объекта, а затем создать его с помощью 3D-принтера. Таким образом, размер объекта и форма объекта могут быть максимально завышены. Кроме того, аддитивные технологии Российской Федерации создают средства и разрешительную документацию для регистрации, которая представляет собой процесс получения контроля качества продукции.

Одним из преимуществ таких технологий является возможность изготовления сложных форм и конструкций без применения альтернативных методов формования материалов.

Одним из вариантов использования аддитивных технологий при метрологической оценке дорожной обстановки является создание точных копий элементов дороги, которые используются для оценки и проверки мобильных сканеров. Этот метод позволяет значительно повысить точность и достоверность измерений в дороге.

Таким образом, аддитивные технологии применяются в дорожной инфраструктуре как метод измерения, измерения и улучшения, повышающий качество и надежность метрологического обеспечения дорог.

### Библиографический список

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 184-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_40241/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/).
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 N 102-ФЗ (последняя редакция).
3. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 № 162-ФЗ (с изм. от 30.12.2020 № 523-ФЗ).
4. Федеральный закон «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.12.2017 N 443-ФЗ.
5. VIM-3 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms. – 3rd edition. – 2008.
6. Шишмарёв В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник для высшего образования / В. Ю. Шишмарёв. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ОРГКОМИТЕТА VI МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА «МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» .....	3
ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ .....	4
<b>ЭКОНОМИКА МЕТРОЛОГИИ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В МЕТРОЛОГИИ</b>	
<i>Д. К. Аутова.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ .....	5
<i>Н. А. Вихарев.</i> ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ: СУЩНОСТЬ, ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ .....	7
<i>В. В. Кабатов, В. Н. Проконишин.</i> КВАНТОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ .....	8
<i>М. Д. Козлов.</i> РАСЧЕТ ПОЛНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА .....	10
<i>М. Д. Козлов.</i> РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ХОЛОСТОГО ХОДА ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА .....	14
<i>В. С. Комарова, Т. И. Комаров, А. В. Чабаненко.</i> УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ .....	18
<i>Б. Я. Литвинов, Н. Н. Скориантов, Р. Н. Целмс, А. А. Тинкова.</i> МЕНЕДЖМЕНТ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	19
<i>Т. П. Мишура.</i> АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРИИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ .....	21
<i>В. В. Окреплов.</i> ЭКОНОМИКА КАЧЕСТВА В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ .....	23
<i>A. A. Pavlov, E. Yu. Ganshina.</i> METHODOLOGICAL APPROACHES FOR MEASURING THE EXPORT POTENTIAL OF AN INTERNATIONAL MARKET .....	25
<i>И. В. Романченко, Е. В. Булах.</i> ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ КАК ФАКТОР ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ СПОРОВ .....	27
<i>Felicien Hakizamungu, Julius Ngoga.</i> RESW PROJECT EVALUATION BASED ON OECD-DAC STANDARDS .....	28
<b>НОВЫЕ ЭТАЛОНЫ</b>	
<i>К. В. Гоголинский, А. А. Павельева.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЙТРОННОЙ СТРЕСС-ДИФРАКТОМЕТРИИ .....	30
<i>Д. В. Жилина.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ .....	32
<i>А. Р. Забирова.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 1 ДО 10 ТЛ ГЭТ 82-85 .....	34
<i>О. А. Кононов, Е. П. Барышева, О. А. Шевантаева.</i> НОВЫЙ ЭТАЛОН КИЛОГРАММА .....	35
<i>Я. А. Лебедева.</i> О РАБОТАХ ПО ПЕРЕХОДУ ОТ «АРТЕФАКТА» КИЛОГРАММА НА ВАТТ-ВЕСЫ В РОССИИ .....	37
<i>М. Ю. Морозов, А. Н. Микрюков, В. И. Шевцов.</i> О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗРЕАКТИВНЫХ ШУНТОВ В КАЧЕСТВЕ ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА .....	39
<b>ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ</b>	
<i>А. Е. Агафонов, Е. Д. Пономарева, И. В. Мателенок.</i> О ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ УГЛОМПАДЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ПРИ АКТИВНОМ ЗОНДИРОВАНИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ .....	40

<b>М. В. Аскерко, С. М. Зорин.</b> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛИМАТОРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ЮСТИРОВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ ВИДИМОГО И ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ .....	42
<b>Б. А. Аюков, И. А. Вельмисов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	44
<b>Б. А. Аюков, А. Ф. Крячко.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА РТС .....	46
<b>М. Р. Бибарсов.</b> ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В МИМО СИСТЕМАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА.....	48
<b>М. Р. Бибарсов.</b> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОМ СКАНИРОВАНИИ .....	50
<b>М. Р. Бибарсов.</b> ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.....	52
<b>Б. Л. Бирюков.</b> ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В КОМПЛЕКСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.....	54
<b>А. П. Бобрышов, С. В. Солёный.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИКИ ИСКЛЮЧЕНИЯ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ .....	56
<b>Л. П. Вершинина.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОСБОРОК .....	57
<b>Е. П. Виноградова, И. В. Григорьев.</b> АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ K155ЛАЗ .....	59
<b>Е. А. Вознесенский, А. С. Костин.</b> УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННЫХ ПОЛЕТНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СФЕРЕ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ.....	62
<b>В. С. Волобуев, В. К. Долгий, А. Е. Почтенный.</b> ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА ИНДИЯ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ КИСЛОРОДА .....	64
<b>В. С. Волобуев, В. К. Долгий, А. Е. Почтенный.</b> ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ КАК ПЕРСПЕКТИВА В КОНСТРУКЦИЯХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ.....	66
<b>В. И. Гончарова.</b> ПЕРЕХОД ОТ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ К ОБЫКНОВЕННЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ .....	68
<b>В. И. Гончарова.</b> ОБЩАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ .....	72
<b>А. Г. Грабарь.</b> О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК .....	75
<b>Г. С. Гришкин, В. И. Казаков.</b> МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ДЕТЕКТОРА ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	77
<b>Е. А. Гуцина.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ И МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С АНИЗОТРОПНЫМИ ЧАСТИЦАМИ.....	79
<b>Е. А. Гуцина.</b> ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТА ОТ СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ .....	81
<b>С. С. Дробышевская, С. С. Поддубный.</b> КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВОЙ ПОМЕХИ НА ВЫХОДАХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ФИЛЬТРОВ, НАСТРОЕННЫХ НА НАПРАВЛЕНИЕ А0 И МИНУС А0, ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗЛУЧАЕМЫХ СИГНАЛОВ .....	83
<b>А. А. Дрогинский, А. Л. Ляшенко.</b> РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ АППАРАТУРЫ.....	84

<i>М. Ю. Егоров, И. Н. Медведникова.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	86
<i>М. Ю. Егоров, С. С. Митогуз.</i> ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ.....	88
<i>К. В. Епифанцев.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ САМОКОМПЕНСАЦИИ КРУГЛОМЕРОВ «MANIFORM MMQ200» И «ROUNDTTEST RA-120P».....	90
<i>М. А. Епринцев, А. С. Кузовов.</i> РАЗРАБОТКА ПЛАТЫ КОНТРОЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОКА ДЛЯ МАКЕТА СПУТНИКА.....	93
<i>Н. О. Еременко, А. А. Аристов.</i> КАЛИБРОВКА И ОЦЕНКА КАЛИБРОВКИ МЕТЕОДАТЧИКОВ BMP280.....	95
<i>Д. Ю. Ершов, И. Н. Лукьяненко, Е. Э. Аман.</i> АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ.....	97
<i>Д. Ю. Ершов, И. Н. Лукьяненко, Е. Э. Аман.</i> ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПО ТОЧНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ.....	100
<i>Д. Ю. Ершов, И. Н. Лукьяненко, Е. Э. Аман.</i> ОСОБЕННОСТИ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ В НЕИДЕАЛЬНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКАХ.....	103
<i>Н. Ю. Ефремов.</i> АППРОКСИМАЦИЯ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЙ.....	105
<i>Н. Ю. Ефремов.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	107
<i>С. А. Иванов, А. А. Сенцов.</i> МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СРЕДСТВАМ.....	109
<i>Ю. П. Иванов.</i> УНИВЕРСАЛЬНАЯ ФИНИТНО-ВРЕМЕННАЯ И СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ПОМЕХ ИЗМЕРЕНИЯ С ОДНОМОДАЛЬНЫМ ЗАКОНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ.....	112
<i>В. И. Казаков, В. В. Китаев.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДНОЙ СРЕДЕ.....	114
<i>В. И. Казаков, А. С. Параскун, Я. А. Рывкина.</i> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА С ТЕПЛОМЫМ КОНВЕКТИВНЫМ ПОТОКОМ.....	115
<i>М. В. Калашишникова.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ОЦЕНКУ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РАДОНА.....	117
<i>М. В. Калашишникова.</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ОЦЕНКУ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РАДОНА.....	119
<i>И. А. Киришина, А. К. Шереметьев.</i> МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОТ ШУМОВ И НАВОДОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	121
<i>И. А. Киришина, А. В. Жмурин.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ФОТОГРАФИИ: ОБЪЕКТИВНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ.....	125
<i>А. В. Клименко.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SDR ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАДИОСКАНИРОВАНИЯ.....	127
<i>Т. В. Колобашкина, Р. Н. Целмс, М. А. Скоков.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОДИСПЕРСНЫХ ПОЛИСТИРОЛОВЫХ ЛАТЕКСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ.....	128
<i>Т. В. Колобашкина, М. А. Скоков.</i> АНАЛИЗ СПОСОБОВ РАСПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ.....	131
<i>Т. В. Колобашкина, Я. В. Добрицкий.</i> ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА НА ЧЕЛОВЕКА.....	133
<i>А. В. Кондратьев, М. В. Букреев.</i> ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОИСКА ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	135
<i>Д. В. Копытина, А. И. Шихов, А. А. Виноградова, А. В. Кондратьев.</i> АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....	136

<b>О. М. Косогоров, А. А. Макаров.</b> О ФОРМИРОВАНИИ ВХОДНОГО ПОТОКА ДАННЫХ В СИСТЕМЕ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЙ ЦИФРОВУЮ ОБРАБОТКУ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА.....	138
<b>А. С. Костин, Н. Н. Майоров.</b> ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛОЖНОТРАЕКТОРНОГО АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА.....	140
<b>Е. С. Костыгов, В. В. Перлюк.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ОТНОСИТЕЛЬНО ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ С ПОМОЩЬЮ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ.....	142
<b>Е. Н. Котликов.</b> УЧЕТ ДИССИПАТИВНЫХ ПОТЕРЬ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ.....	144
<b>Е. Н. Котликов, Н. П. Лавровская, Г. В. Терещенко.</b> СИНТЕЗ СВЕТОДЕЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА СПЕКТРА.....	146
<b>Н. С. Красненков, Ю. П. Иванов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФИНИТНО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ И ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА.....	148
<b>А. Ф. Крячко, М. Е. Невейкин.</b> ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ НА РЕАЛЬНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ.....	150
<b>О. С. Лебеденко.</b> НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЯМ.....	152
<b>Я. Я. Левин.</b> СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫМ СИГНАЛОМ ТИПА ФРАКТАЛЬНОГО ГАУССОВСКОГО ШУМА.....	154
<b>С. Н. Лисовенко, Е. П. Виноградова.</b> ВЫБОР ДОПУСКОВ И РАСЧЕТ ПОСАДОК ДЛЯ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА.....	155
<b>С. Н. Лисовенко, Е. П. Виноградова.</b> РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НА СТАДИИ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА.....	160
<b>Р. А. Макаридин, А. Д. Филин.</b> ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА КОМПЛЕКСА КООРДИНАТОМЕТРИИ АВИАЦИОННОГО ВИРТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПОЛИГОНА.....	164
<b>В. Ф. Михайлов.</b> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	167
<b>В. Ф. Михайлов.</b> ПОГРЕШНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	169
<b>В. Ф. Михайлов.</b> ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАДИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	171
<b>Т. П. Мишура.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ПРОВЕРОК ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	173
<b>Т. П. Мишура.</b> АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	175
<b>Г. И. Неуймина, А. А. Сенцов.</b> ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА КЛЕТКИ ОРГАНИЗМА.....	177
<b>Ю. А. Новикова, Д. А. Владимиров.</b> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА, ИСКАЖЕННОГО ПРИ ЕГО ПРОХОЖДЕНИИ СКВОЗЬ НЕОДНОРОДНЫЙ СЛОЙ.....	180
<b>Ю. А. Новикова.</b> НЕЛИНЕЙНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ РЕЗОНАНСНЫХ УРОВНЕЙ МЕТОДОМ ФОТОННОГО ЭХА.....	182
<b>Ю. А. Новикова.</b> ПРОЦЕДУРА КАЛИБРОВКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХФОТОННОГО СВЕТА.....	183
<b>А. В. Носаева, Е. С. Цобкалло.</b> РАЗРАБОТКА ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЭТФ.....	184
<b>В. В. Перлюк.</b> АНАЛИЗ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ МАЛЫХ СПУТНИКОВ ПО ПОКАЗАНИЯМ МАГНИТОМЕТРОВ.....	185

<b>В. В. Перлюк, М. А. Епринцев.</b> АЛГОРИТМ ВЫСОКОТОЧНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ МАЛЫХ СПУТНИКОВ ПО ПОКАЗАНИЯМ МАГНИТОМЕТРОВ .....	187
<b>В. В. Перлюк.</b> ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ И ВРЕМЕННЫХ РАССИНХРОНИЗАЦИЙ МЕЖДУ МАЛЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ.....	189
<b>Г. М. Петров, Н. В. Тарасов.</b> АППАРАТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ .....	191
<b>Л. Д. Примак, В. А. Галанина.</b> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ.....	193
<b>О. К. Пучкова.</b> НЕКОТОРЫЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОСТРАДАВШИХ .....	194
<b>М. Б. Рыжиков.</b> ИСКАЖЕНИЯ ПРИ СЖАТИИ СИГНАЛОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕИДЕАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ.....	196
<b>М. Б. Рыжиков.</b> СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ УСРЕДНЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОПАСНОСТИ СДВИГА ВЕТРА .....	197
<b>М. Б. Рыжиков.</b> ЗАКОН НАЧАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ УСИЛЕНИЯ В БОРТОВОЙ МЕТЕО РЛС .....	199
<b>Е. Н. Савкова, М. А. Гундина.</b> ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В КОЛОРИМЕТРИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	201
<b>Е. Н. Савкова.</b> ВАЛИДАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В КОЛОРИМЕТРИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	203
<b>Г. В. Симонова, П. П. Солощенко.</b> РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ.....	205
<b>Р. О. Сироткин.</b> ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕГИОНАЛЬНОМ МЕТЕОЛОГИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ .....	206
<b>С. Ф. Скорина.</b> ЭВОЛЮЦИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЕНСОРОВ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОСНОВАНИЯ .....	208
<b>Е. А. Скорнякова.</b> АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКУПКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ .....	209
<b>Е. А. Скорнякова.</b> ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ .....	211
<b>А. С. Слюсаренко.</b> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ ИНФОРМАЦИОННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ.....	213
<b>А. С. Слюсаренко, С. Г. Бурлуцкий.</b> ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ .....	214
<b>А. С. Слюсаренко, М. А. Желавский.</b> НОВЫЙ ПОДХОД К ОБНАРУЖЕНИЮ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ В IEEE-754 .....	215
<b>В. М. Смирнов.</b> ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧЕЛОВЕКА.....	216
<b>В. М. Смирнов.</b> МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ДАТЧИКАХ.....	218
<b>А. С. Смирнова.</b> МЕЖОТРАСЛЕВОЙ СПУТНИКОВЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ И ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ.....	220
<b>И. В. Сурков.</b> РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ.....	222
<b>С. Б. Тарасов, А. В. Петров.</b> ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ.....	225
<b>К. Н. Тимофеев, А. В. Куцов.</b> ТЕСТИРОВАНИЕ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА ОПЕРАТОРА FPV-ДРОНА .....	227

<i>С. С. Тимофеев, С. К. Шорохов, Д. А. Верховлядов, Е. А. Грецкий, Я. В. Клинов.</i> ОЦЕНКА МАГНИТНОГО НАСЫЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	230
<i>И. В. Токаревский, А. А. Сенцов, В. А. Ненашев.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДЕМАСКИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	234
<i>А. Ю. Федоринов, Ю. П. Иванов.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ.....	238
<i>Г. Г. Федоров, Е. С. Цобкалло.</i> РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ ПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ .....	241
<i>В. А. Фетисов, А. А. Силина, Е. А. Гайдук.</i> ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ .....	243
<i>Е. А. Фролова, А. С. Тур.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ИЗДЕЛИЯ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА .....	245
<i>Ю. А. Хаханов.</i> ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОЙ ТРЕХОСНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НАВЕДЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ( УНИКАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ « МАРС-96 » ) .....	247
<i>А. В. Чудотворов, И. А. Захаркив.</i> УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КОММУТАЦИИ СРЕДСТВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ .....	249
<i>О. В. Чупринова.</i> МЕТОДЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ УХУДШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ .....	251
<i>А. В. Шушков, А. А. Закутин.</i> К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ИСПЫТАНИЙ КАБЕЛЬНОЙ СБОРКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ФАЗЫ.....	252
<i>М. С. Щербакова, А. А. Друцэ, В. В. Васильева, В. В. Архалова.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИК КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСТЕЖЕК-МОЛНИЙ.....	254
<i>А. В. Яковлев, А. С. Волкова.</i> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА РЕЧЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	256
<b>ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ</b>	
<i>Ю. А. Антохина, Е. А. Фролова, К. В. Епифанцев.</i> СЕТЕВАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ КАК СОСРЕДОТОЧЕНИЕ ЛУЧШИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МЕТОДИК ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ .....	258
<i>К. З. Билятдинов, Е. А. Кривчун.</i> СИСТЕМАТИЗАЦИЯ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДСТВ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗАЦИИ.....	261
<i>Б. Н. Гузанов, А. Д. Колясникова.</i> РЕФЛЕКСИВНЫЙ МЕТОД ОБУЧЕНИЯ В СТАНОВЛЕНИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В ПРОЦЕССЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ .....	262
<i>Б. Я. Литвинов, Н. Н. Скориантов, Р. Н. Целмс.</i> СПЕЦИАЛИСТЫ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ И ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ПРИ ИХ ПОДГОТОВКЕ.....	264
<i>А. В. Мосичкина.</i> ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТРУДОВЫХ ФУНКЦИЙ МЕТРОЛОГОВ .....	266
<i>Е. В. Пастухова, Ю. С. Романова.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЕЙСОВ В ИЗУЧЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН .....	267
<i>Ю. С. Романова, Е. В. Пастухова.</i> УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ГЕЙМИФИКАЦИЮ: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ .....	269
<i>М. С. Серик, А. В. Копыльцов, С. К. Жумагулова, Г. Б. Абилдаева.</i> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ...	271

<i>Е. В. Состина.</i> ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ.....	273
<i>А. Г. Чуновкина, Н. Ю. Ефремов.</i> О ПРЕПОДАВАНИИ ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ.....	274
<b>МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ</b>	
<i>А. Г. Албутов, А. С. Албутова, Ю. И. Попов.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИМПЕДАНСОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ СОСТАВА БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	275
<i>И. В. Бороденкова, С. В. Кааль.</i> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ТЕПЛОВЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ .....	277
<i>Д. С. Губа, А. А. Керн, А. Н. Алексеева, Н. Н. Скориантов.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ СУДОВЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ....	278
<i>А. А. Закутин, А. В. Беляков.</i> НОВЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ВЫХОДА ВАТТМЕТРОВ ПРОХОДЯЩЕЙ МОЩНОСТИ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ .....	280
<i>А. А. Закутин, И. А. Савчак.</i> МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ СВЧ ПУТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВАТТМЕТРА СВЧ НА ОСНОВЕ БОЛОМЕТРА.....	281
<i>А. С. Киселева.</i> О ПОРЯДКЕ ПЛАНИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК (МЕТОДОВ) ИЗМЕРЕНИЙ .....	282
<i>Т. А. Клепова.</i> АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА, РЕГУЛИРУЮЩЕГО ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПО ВОПРОСАМ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ .....	283
<i>А. Д. Колясникова, Д. В. Жаркова, Е. Г. Сапожникова.</i> РОЛЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВТ .....	284
<i>Н. Е. Кочугуров, К. А. Пылаев, В. А. Тимофеев, А. Н. Алексеева.</i> ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛЕЙ СУДОВ .....	286
<i>А. А. Красавина.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЕДОМСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ .....	287
<i>Е. А. Лесников, А. С. Кучер, А. С. Хатеев.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕСТАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА .....	289
<i>С. В. Луговский, О. В. Гречкина.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛОГА ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ .....	291
<i>С. В. Луговский.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА, ЭМУЛИРУЮЩЕГО АДАПТИВНЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ФИЛЬТР .....	293
<i>А. В. Мазур, А. С. Вендин.</i> ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКООМНЫХ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ ЛИТОГО МИКРОПРОВОДА .....	295
<i>В. А. Матвеев, А. М. Гареев.</i> О КАЧЕСТВЕ ПЕРЕВОЗКИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ .....	296
<i>П. А. Мотлич, А. И. Печатнова.</i> МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА .....	298
<i>И. А. Никитина, И. А. Талалай.</i> ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В МЕТРОЛОГИИ .....	299
<i>А. А. Осина, А. А. Решетников А. А.</i> ВТОРИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ СВЕРХМАЛЫХ УРОВНЕЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	300
<i>О. Н. Панамарева.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИННОВАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....	301
<i>А. А. Парамонов, Е. А. Тараскин, И. С. Щетинин.</i> ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ.....	304

<i>А. А. Парамонов, И. С. Щетинин.</i> К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ В СХЕМЕ РАДИОФОТОННОГО ПЕЛЕНГАТОРА .....	306
<i>С. В. Псурцева.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЕРКИ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	308
<i>В. А. Стяжкин, И. Е. Стяжкина.</i> ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ УСЛОВИЙ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	310
<i>А. В. Талалай, А. С. Григорьев, И. А. Талалай.</i> ПЕРЕДАЧА ЕДИНИЦЫ ИЗБЫТОЧНОГО СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОСТИ.....	312
<i>В. Г. Шагаев, А. С. Кучер.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ .....	313
<i>А. С. Швед, А. С. Соколовский, И. Б. Крестина.</i> ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	314
<i>Д. М. Щеглов, В. К. Боженов.</i> ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ, УСТАНОВЛИВАЕМЫЕ В ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ЗАДАНИИ НА ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКУЮ РАБОТУ ПО РАЗРАБОТКЕ (МОДЕРНИЗАЦИИ) АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ .....	315
<i>В. И. Яснюк, М. Р. Григорьева.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА .....	316
<i>В. И. Яснюк, Н. А. Тришина, М. Р. Григорьева.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ МАЛЫХ УСИЛИЙ .....	317

## **СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

<i>М. Ю. Белова.</i> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ .....	318
<i>К. З. Билятдинов, Е. А. Кривчун.</i> УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	320
<i>К. З. Билятдинов, Е. А. Кривчун.</i> СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИФИЦИРОВАННЫХ ТАБЛИЧНЫХ ФОРМ.....	321
<i>А. В. Винниченко.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И СИНХРОНИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ.....	323
<i>Н. А. Вихарев.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ .....	324
<i>Н. А. Вихарев.</i> СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.....	325
<i>Н. В. Григин.</i> ИЕРАРХИЯ ПРИНЦИПОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ.....	326
<i>К. А. Гуляев, А. И. Разумова.</i> АКТУАЛЬНАЯ НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ.....	328
<i>К. В. Епифанцев.</i> ГАРМОНИЗАЦИЯ СТАНДАРТОВ КАК ПРОГРЕССИВНЫЙ СПОСОБ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ.....	330
<i>Н. А. Жильникова, А. А. Березина.</i> АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ОЦЕНКЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	332
<i>Н. А. Жильникова, Л. А. Климочкина, Е. А. Минкинен.</i> УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА.....	334
<i>К. В. Золотухин.</i> ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	336

<b>К. В. Золотухин.</b> НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА ДЛЯ ВЫТЯГИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ .....	339
<b>К. В. Золотухин.</b> ФИЛОСОФИИ УЛУЧШЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ – КАЙЗЕН И ДЖИШУКЕН.....	341
<b>А. В. Чабаненко, Д. Ф. Казадио.</b> ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	343
<b>А. Д. Ковалева.</b> ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ .....	344
<b>Т. И. Комаров, В. С. Комарова, Г. В. Гетманова.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ .....	345
<b>Г. И. Коришунов.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.....	347
<b>Н. Н. Крупина, Е. Н. Киприянова, А. А. Березина.</b> КАРТА «РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ-ЭФФЕКТИВНОСТЬ- ЭКОЛОГИЧНОСТЬ-ЭТИЧНОСТЬ» КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ .....	349
<b>Е. Ю. Крылова, А. В. Чабаненко.</b> ПРОБЛЕМЫ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ .....	351
<b>Г. И. Лезезина.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВНЕДРЕНИЕ ОСНОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	352
<b>В. Д. Мельникова, Е. Е. Смирнова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ .....	353
<b>С. В. Мищурич, Н. А. Вешев.</b> РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ .....	355
<b>Г. Ю. Пешикова, К. М. Михальчук.</b> НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ .....	359
<b>А. Б. Плаченков, Г. Н. Дьякова.</b> ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ВЫСШИХ МОД МНОГОЗЕРКАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРОВ С НЕПЛОСКИМ ОСЕВЫМ КОНТУРОМ .....	361
<b>А. А. Полетаев, А. Е. Яблоков.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПИЩЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ .....	363
<b>М. Д. Рассыхаева.</b> НЕПРЕРЫВНОЕ УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА .....	365
<b>М. Д. Рассыхаева.</b> ЭЛЕМЕНТЫ СТРАТЕГИИ TQM.....	367
<b>Н. В. Решетникова, А. Г. Панкратов.</b> О МЕТОДАХ СИНТЕЗА НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	369
<b>Н. А. Романченко.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ПРОБЛЕМАМ ОБУЧЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ.....	371
<b>Н. В. Сакова.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К КЛАССИФИКАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	372
<b>Н. В. Сакова.</b> АНАЛИЗ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ ТРУДА .....	373
<b>Л. И. Седин, С. А. Назаревич.</b> МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	374
<b>М. О. Силиванов, Ю. Д. Сопина.</b> ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ РАЗРАБОТАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ .....	376
<b>Г. В. Симонова, А. Н. Матвеев.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ .....	377
<b>В. О. Смирнова, Е. А. Минкинен.</b> ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА .....	378

<b>И. В. Сурков.</b> НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА БАЗОВЫХ ПРИНЦИПОВ КООРДИНАТНОЙ МЕТРОЛОГИИ В НОВОМ ПОКОЛЕНИИ СТАНДАРТОВ.....	381
<b>Liu Zhaojun.</b> ANALYSIS OF THE STANDARD SYSTEM AND THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM.....	384
<b>Н. К. Третьяков, В. П. Кузьменко, О. Я. Солёная.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИХ НЕТЯГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	386
<b>А. Ю. Туманов.</b> КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ РИСКА ПРОЕКТОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	387
<b>А. Ю. Туманов.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ .....	389
<b>А. Ю. Туманов.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКА ПРОЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАЛИБРОВАННЫХ ГРАФОВ .....	392
<b>Felicien Hakizamungu.</b> EFFECT OF STANDARDS IMPLEMENTATION ON FINANCIAL PERFORMANCE OF MANUFACTURING INDUSTRIES IN RWANDA.....	394
<b>Felicien Hakizamungu.</b> THE IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF STANDARDS ON FINANCIAL PERFORMANCE OF THE COMPANY «RULIBA CLAYS LTD».....	396
<b>Е. А. Харитонова.</b> ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ КАК НЕОБХОДИМАЯ СИСТЕМА В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ .....	398
<b>А. В. Чабаненко.</b> КВАЛИМЕТРИЯ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	400
<b>А. В. Чабаненко.</b> МЕТРОЛОГИЯ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	402
<b>Д. С. Шукина, С. А. Назаревич.</b> ФОРМИРОВАНИЕ ФРОНТИРОВ СРЕДИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕННОСТНЫХ ИННОВАЦИЙ.....	404
<b>Э. Юхра, А. В. Вячеславов.</b> УМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ЕГО СВЯЗЬ С ЦИФРОВОЙ МЕТРОЛОГИЕЙ .....	406

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕТРОЛОГИИ**

<b>Anish Nair, Ramkumar P., Sivasubramanian Mahadevan, Chander Prakash, Saurav Dixit, Gunasekaran Murali, Kaushal Kumar.</b> TYPES OF MACHINE LEARNING FOR PREDICTING THE EFFICIENCY OF HEATED PRESSURE VESSELS .....	409
<b>Е. Л. Варустина, В. М. Монахов.</b> МЕТРОЛОГИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ АНТРОПОЛОГИИ.....	412
<b>Е. Ю. Ватаева, Н. Л. Гречкин, В. Ф. Шишлаков.</b> АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ИМПУЛЬСНЫХ САУ ПРИ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК .....	416
<b>И. А. Вельмисов, М. Е. Невейкин.</b> ВЫБОР ПОРЯДКА АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ МАКСИМИЗАЦИИ НИЖНЕЙ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ГРАНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕТЕРМИНАЦИИ.....	418
<b>Н. Л. Гагулина.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ.....	419
<b>Е. А. Гущина, Л. А. Решетов.</b> К ВОПРОСУ О НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОМ ПОПОЛНЕНИИ БАЗЫ ДАННЫХ.....	421
<b>С. В. Дворников, Д. В. Васильева.</b> НИВЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ .....	423
<b>А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладыгин, М. В. Якимов.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА .....	425
<b>М. Ю. Егоров, Д. С. Завойкин.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТРОЛОГИИ .....	426

<b>М. В. Загураева.</b> ФОРМИРОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ РАБОТ СТУДЕНТОВ.....	428
<b>А. Ю. Зилинберг.</b> ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТОЧНОГО ЭНКODЕРА.....	431
<b>О. А. Кононов, О. А. Шевантаева, Е. П. Барышева.</b> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕТРОЛОГИИ .....	433
<b>А. В. Копыльцов.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ПОРОЖДАЕМОГО ЗАРЯДАМИ НА МЕМБРАНЕ ЭРИТРОЦИТА .....	435
<b>А. Ф. Крячко.</b> СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОТКРЫТЫХ РЕЗОНАТОРОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВКЛЮЧЕНИЕМ.....	438
<b>Б. В. Лобанов.</b> ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК.....	439
<b>А. Л. Ляшенко.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЛАГОМЕРА .....	440
<b>П. А. Носуленко, Д. В. Бутенина.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СУБТИТРОВ К ВИДЕО .....	441
<b>О. В. Опалихина, М. А. Желавский.</b> КВАТЕРНИОНЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	442
<b>Г. В. Терещенко, А. Р. Плехов, А. А. Ковadlo.</b> СОЗДАНИЕ ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	444
<b>К. Н. Тимофеев.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ .....	445
<b>С. С. Тимофеев, С. К. Шорохов, Д. А. Верхоглядov, Е. А. Грецкий, Я. В. Клинов.</b> ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЧЕТОМ МАГНИТНОГО НАСЫЩЕНИЯ.....	448
<b>В. Е. Титов, О. Е. Дик.</b> О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ .....	452
<b>Е. С. Цобкалло, Г. П. Мещерякова.</b> АДЕКВАТНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЕРКОЛЯЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ.....	455
<b>О. В. Чупринова.</b> ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....	457
<b>О. В. Чупринова.</b> ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ САМОКАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ .....	459
<b>МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ</b>	
<b>А. Е. Агафонов, Е. Д. Пономарева, Н. В. Сакова.</b> К ВОПРОСУ О РАССЕИВАНИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	460
<b>В. В. Алехнович.</b> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ ШАРОВОЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ .....	462
<b>И. А. Андреев, Д. А. Владимиров.</b> ГЕНЕРАЦИЯ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА В СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ .....	464
<b>А. А. Анисимов.</b> НОВЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СТРУКТУР ИЗ АТОМОВ РИДБЕРГА.....	466
<b>И. Ю. Братухин.</b> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ИСКУССТВЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ.....	468
<b>В. Ю. Горбунова.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НА ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ .....	469

<b>А. В. Деева.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА.....	471
<b>Д. Н. Денисова.</b> РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРИЕМА И ВЫДАЧИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ .....	473
<b>К. И. Доронин, А. С. Голев, А. С. Уманский.</b> ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ .....	474
<b>А. Э. Егоров, А. Ю. Зилинберг.</b> АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ .....	476
<b>М. А. Епринцев.</b> УВЕЛИЧЕНИЕ ЧАСТОТЫ РАБОТЫ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	478
<b>Д. Ф. Казадио.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ВОЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ.....	480
<b>А. А. Казаев, А. В. Сычевский.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ МОДУЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВБЛИЗИ КРАЯ СОБСТВЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ.....	482
<b>М. В. Калашишникова.</b> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ И ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ .....	484
<b>А. В. Кондратьев, А. В. Долгова.</b> К ВОПРОСУ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО И ДИФРАКЦИОННО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	486
<b>О. С. Коновалова, Т. А. Фролова.</b> НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК ПО КАЛИБРОВКЕ ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ПОВЕРКИ .....	488
<b>М. А. Крячко.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СПОСОБОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ СВЕРТКИ И БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ .....	490
<b>В. А. Кузнецова.</b> ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ БЛОКА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	491
<b>А. Е. Ленич.</b> ПРОБЛЕМА РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ КОНТРОЛЛЕРОВ, ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ, ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ .....	495
<b>Д. А. Малыгин, Д. В. Бутенина.</b> БАЗОВАЯ ОСНОВА СИСТЕМЫ УЧЁТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ... ..	496
<b>Д. Д. Мельникова.</b> ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И СОДЕРЖАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ГПСЭ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ГЭТ 218-2022.....	497
<b>М. Н. Митягина.</b> КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СРЕДЫ.....	499
<b>М. Н. Митягина.</b> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ПРЕВЕНТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИЗНАКАМИ ПАТОЛОГИЙ .....	500
<b>М. Н. Митягина.</b> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ.....	501
<b>А. И. Митяева.</b> ОШИБКИ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ .....	503
<b>С. А. Немыкин.</b> ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	504
<b>А. А. Половинкина.</b> РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В НОГТЕВОЙ ИНДУСТРИИ .....	505
<b>Я. В. Потапова.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ.....	507
<b>К. В. Сердюк, Т. С. Мисникова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТА ПОБЕЖАЛОСТИ ПУТЕМ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ .....	509

<b>К. В. Сердюк.</b> СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	511
<b>Д. В. Серебрянский.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕЧЕИСКАТЕЛЯ .....	513
<b>Ю. А. Силин.</b> РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЕСПИЛОТНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО ШАССИ МАСШТАБОМ 1:10 .....	515
<b>Г. Ю. Степанов.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ .....	517
<b>Е. В. Тарасова.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ДВУХКООРДИНАТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ .....	521
<b>А. И. Тюрина.</b> УМЕНЬШЕНИЕ ОШИБКИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ .....	523
<b>А. И. Тюрина.</b> ОЦЕНКА ОБОБЩЕННОГО ПОПЕРЕЧНИКА РАССЕЯНИЯ ОТРАЖАТЕЛЯ В НЕГАРМОНИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ .....	524
<b>А. И. Тюрина.</b> ЗАЩИТА БИЗНЕСА ОТ МОШЕННИЧЕСТВА С АВТОМОБИЛЬНЫМИ ВЕСАМИ .....	526
<b>Т. С. Федькова.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ АНАЛИЗАТОРА ПЫЛИ ETL .....	528
<b>Т. А. Фролова, О. С. Коновалова.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕТРОЛОГИИ.....	530
<b>А. Д. Шумилова.</b> К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ ПРИНЦИПОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ .....	531
<b>А. В. Южакова.</b> СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ (КАЛИБРОВКИ) НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ .....	532
<b>М. С. Туровская.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА .....	535

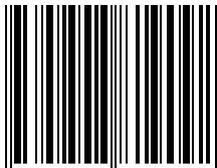
Научное издание

VI Международный форум

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник статей  
под редакцией академика РАН  
В. В. Окрепилова

ISBN: 978-5-8088-1909-2



9 785808 819092

Ответственные за выпуск:

доктор экономических наук, профессор *Ю. А. Антохина*

доктор технических наук, доцент *Е. А. Фролова*

кандидат технических наук, доцент *К. В. Епифанцев*

Публикуется в авторской редакции  
Компьютерная верстка *В. Н. Костиной*

---

Подписано к печати 27.02.2024. Дата выхода в свет: 29.02.2024.  
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 63,7. Тираж 150 экз. Заказ № 36.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67, лит. А

Распространяется бесплатно