



# СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

**«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**

II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

X МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНКУРС  
«ЛУЧШИЙ МОЛОДОЙ МЕТРОЛОГ КООМЕТ – 2023»



**#ЗАНАМИБУДУЩЕЕ**  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ



Совет молодых ученых и специалистов  
«Техноспецназ Росстандарта»

**РСТ** ВНИИМ  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»  
МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ

Молодежный совет  
при генеральном директоре  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»



Конференция проводится при поддержке  
Федерального агентства по техническому  
регулированию и метрологии (Росстандарт)



КОМИТЕТ ПО МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКЕ  
И ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ С ОБЩЕСТВЕННЫМИ  
ОРГАНИЗАЦИЯМИ

при информационной поддержке Комитета  
по молодежной политике и взаимодействию  
с общественными организациями  
Правительства Санкт-Петербурга

## II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»

### X Международный конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023»

Сборник тезисов докладов



14–16 июня 2023 года  
Екатеринбург

УДК 006.91  
ББК 74.58:53.54

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
(Росстандарт), Москва

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский  
научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»  
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), Санкт-Петербург

Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии  
и испытаний в Свердловской области» (ФБУ «УРАЛТЕСТ»), Екатеринбург

Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта»

Молодежный совет при генеральном директоре  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международный конкурс «Лучший молодой метролог КОООМЕТ — 2023». Сборник тезисов докладов. — ООО «Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2023. — 440 с.

ISBN 978-5-91258-499-2

В сборнике опубликованы тезисы докладов II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и полные тексты работ участников X Международного конкурса «Лучший молодой метролог КОООМЕТ — 2023».

Тематики конференции и конкурса охватывают такие направления, как:

- вопросы обеспечения единства измерений;
- вопросы в области оценки и подтверждения соответствия;
- компетенции метрологов будущего;
- деятельность советов молодых ученых и специалистов.

Сборник представляет интерес для научных работников, студентов учебных заведений общего среднего профессионального и высшего образования, аспирантов, инженерно-технического персонала, осуществляющего научные и прикладные исследования в области технического регулирования и метрологии.

© Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), 2023

© ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 2023

© ФБУ «Уралтест», 2023

© Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта», 2023

© Молодежный совет при генеральном директоре  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 2023

© ООО «ИПК «КОСТА», оформление, 2023

ISBN 978-5-91258-499-2

## ПРОГРАММА

# II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международного конкурса «Лучший молодой метролог КОOMET — 2023»



Совет молодых ученых и специалистов  
«Техноспецназ Росстандарта»

**IPCTI** **ВНИИМ**  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт  
метрологии им. Д. И. Менделеева»  
**МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ**

Молодежный совет  
при генеральном директоре  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»



Участники I Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ», приуроченной  
к 180-летию Всероссийского научно-исследовательского института  
метрологии им. Д. И. Менделеева,  
2022 год, Санкт-Петербург, Российская Федерация



Уважаемые коллеги!

От имени Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии приветствую участников Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ», которая в этом году проводится во второй раз.

Российская Федерация сегодня является одним из лидеров мировой метрологии, и огромная заслуга в этом принадлежит нескольким поколениям наших великих предшественников, которые внесли выдающийся вклад в развитие этой науки.

Вызовы, с которыми столкнулась наша страна в последние годы, требуют от российских ученых интенсификации исследований в самых разных сферах, совершенствования методов работы, новых нетривиальных научных решений, и я рад, что участники II Международной научно-практической конференции «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» в полной мере обладают качествами, позволяющими достичь целей, которые стоят перед отраслью.

Отрадно видеть, что новое поколение ученых и специалистов, делающее первые серьезные шаги в профессии, достойно продолжает традиции своих великих коллег. Уверен, что работы современных метрологов, представленные в этом сборнике, безусловно, вызовут самое пристальное внимание и интерес со стороны метрологического сообщества.

Желаю участникам конференции успешной работы, новых идей и достижений, творческой энергии для решения текущих и будущих задач.

*Антон Шалаев,*  
Руководитель  
Федерального агентства  
по техническому регулированию  
и метрологии

Уважаемые коллеги!

Я рад приветствовать всех участников X Международного конкурса «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023».

В этом году конкурс проводится в рамках II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ», на которой рассматриваются вопросы в области обеспечения единства измерений, оценки соответствия, а также новые приоритетные компетенции метрологов будущего и деятельность советов молодых ученых и специалистов, направленная на развитие научного потенциала и формирование научной политики.

В современном обществе метрология играет огромную роль и практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы не использовались результаты измерений. Достоверность и соответствующая точность измерений позволяют обеспечить правильность принимаемых решений на всех уровнях управления производством продукции и при оказании услуг. Кроме того, эффективное сотрудничество между странами, совместная реализация научных программ в области метрологии, обмен опытом и, конечно же, наличие высококвалифицированных специалистов способствуют укреплению связей между наукой и практикой.

Конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ» проводится с 2007 года. В нем традиционно принимают участие молодые специалисты, представляющие национальные метрологические институты и другие организации, выполняющие работы в метрологической сфере в странах-участницах КООМЕТ. Проведение конкурса позволяет выявлять, поддерживать молодых метрологов и поощрять их к участию в деятельности, способствующей развитию метрологии, обмену данными о результатах исследований, более тесным контактам и активному сотрудничеству не только между странами-участницами КООМЕТ, но и в масштабах глобального метрологического сообщества.



Желаю всем участникам и организаторам конкурса плодотворной работы, конструктивного диалога и эффективного взаимодействия. Уверен, что опыт участия в конкурсе, полученные знания и новые дружеские контакты будут полезны в дальнейшей практической деятельности каждого из вас.

Всем крепкого здоровья, благополучия и новых научных свершений!

*Валерий Гуревич,*  
Президент КООМЕТ,  
член Комитета КООМЕТ  
от Республики Беларусь

Дорогие друзья!

Рад приветствовать участников II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международного конкурса «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023».

Объявленное президентом Российской Федерации В.В. Путиным Десятилетие науки и технологий — еще одно свидетельство, что наука и инновации являются одним из ключевых приоритетов государства, огромное внимание уделяется в этой связи проектам молодых ученых; и отрадно заметить, что вошедшие в этот сборник статьи тех, кто будет определять облик отечественной метрологии в XXI веке, отличаются фундаментальной проработанностью материала, высочайшим уровнем компетентности, нестандартным подходом к решению сложных научных задач.

Глубоко символично, что в рамках программы конференции в этом году проходит Десятый юбилейный конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023», научное соревнование, позволяющее молодым ученым полнее раскрыть собственные достижения и представить свои работы на международном уровне. Объединение и без того внушительных потенциалов конкурса и конференции, без сомнений, будет способствовать их развитию.

Уверен, что конференция, этот представительный форум, объединивший ярких талантливых метрологов со всей страны, станет, как и конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023», замечательной традицией научной жизни и займет видное место в нашем календаре.

Пожелаем II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» успешной плодотворной работы, а ее участникам — новых блестящих научных побед!



*Евгений Лазаренко,*  
заместитель Руководителя  
Федерального агентства  
по техническому регулированию  
и метрологии, вице-президент КООМЕТ





Дорогие друзья!

Рад приветствовать участников II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ».

Первая конференция, проведенная год назад, продемонстрировала серьезный научный потенциал наших коллег и необычайную широту их научных интересов: темами докладов были расходометрия, лабораторная медицина, работы в области биологии, фундаментальные теоретические исследования, законодательная метрология и др.

Молодые ученые и специалисты, представляющие государственные научные центры, крупнейшие университеты, промышленные предприятия, центры стандартизации и метрологии и другие учреждения, доказали, что в полной мере владеют современным научным инструментарием, обладают особенной исследовательской дерзостью и готовы отвечать на самые серьезные научные вызовы.

Отрадно видеть, что год спустя молодые ученые и специалисты, участвующие в нашей конференции, вновь демонстрируют широту научных интересов, свежий оригинальный взгляд на поставленные проблемы, упорство в достижении поставленных целей, глубину знаний.

Нет сомнений, что авторов работ, представленных в этом сборнике, ожидает блестящее научное будущее.

Желаю всем участникам конференции «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» продуктивной работы, новых успехов и большой удачи!

*Антон Пронин,*  
генеральный директор  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Уважаемые коллеги!

«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ». Вдумайтесь в эти слова. В них — огромные горизонты, которые открываются для вас, и огромная ответственность. Во многом от нового поколения зависит, как внедрение передовых технологий будет обеспечиваться нормативными документами, чем будет подтверждена точность измерений в важнейших отраслях экономики страны. Стандартизация и метрология являются одними из ключевых элементов промышленной политики государства, с которой напрямую увязана миссия Росстандарта — создание национальной инфраструктуры качества.



Выдающийся русский философ Иван Ильин сказал: «Верим и знаем: придет час, и Россия восстанет из распада и унижения и начнет эпоху нового расцвета и нового величия. Но возродится она и расцветет лишь после того, как русские люди поймут, что спасение надо искать в качестве!»

Сейчас созданы все условия и есть все возможности, чтобы идеи, появившиеся почти сто лет назад, стали реальностью. Понимая это, ожидаем от вас, молодых ученых, инноваций, прорывных исследований, теорий, которые создадут основу для прекрасного будущего и впишут ваши имена в историю страны.

*Юрий Суханов,*  
специальный представитель  
Руководителя Росстандарта  
в Уральском федеральном округе,  
генеральный директор  
ФБУ «УРАЛТЕСТ»



Человек есть мера всех вещей  
*Протагор*

Уважаемые коллеги!

II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ», главными направлениями которой являются вопросы обеспечения единства измерений, вопросы в области оценки и подтверждения соответствия, компетенции метрологов будущего, а также деятельность советов молодых ученых и специалистов, вошла в план мероприятий Десятилетия науки и технологий Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

X Международный конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023» впервые проходит в рамках конференции молодых ученых и специалистов.

Эти мероприятия призваны объединить молодых ученых и специалистов из разных стран, чтобы обмениваться опытом и знаниями, а также обсудить перспективы развития метрологии и ее роли в мировой науке и технологиях.

Непрерывное развитие компетенций молодых ученых и специалистов в области обеспечения единства измерений необходимо для повышения способности эффективно решать задачи, стоящие перед наукой и промышленностью. И мы должны подготовить молодых людей к тому, чтобы они могли работать в быстро меняющихся условиях, а для этого нужно создать возможности для обучения, развития и профессионального роста молодежи. Именно поэтому данная молодежная конференция является площадкой, имеющей большое значение для будущего. Ведь здесь молодые ученые и специалисты представляют свои исследования и научные разработки, обсуждают новые идеи и концепции, а также обмениваются опытом и знаниями. Это помогает расширить сферу влияния и взглядов молодежи, что в свою очередь способствует развитию науки, технологии и инноваций.

Вы — молодые ученые и специалисты — это наш будущий интеллектуальный капитал, и ваша работа крайне важна для того, чтобы мы могли сохранять и укреплять международное сотрудничество, содействуя развитию науки и промышленности!

Выражаю надежду на то, что участники II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» продолжат научную и профессиональную деятельность в области обеспечения единства измерений, вкладывая в общее дело свой огромный потенциал и талант, внедряя инновационные подходы к решению важнейших задач.

*Константин Чекирда,*  
заместитель генерального директора  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

## Программный комитет конференции

<i>Председатель</i>	
Евгений Русланович Лазаренко	Заместитель Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), Москва
<i>Сопредседатели</i>	
Валерий Львович Гуревич	Президент Евро-Азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (КОOMET), помощник директора Республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГим), Минск
Антон Николаевич Пронин	Генеральный директор ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург
<i>Члены программного комитета</i>	
Константин Владимирович Чекирда	Кандидат технических наук, заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург
Александр Юрьевич Кузин	Доктор технических наук, профессор, заместитель директора ФГБУ «ВНИИМС», Москва
Андрей Сергеевич Батурин	Кандидат физико-математических наук, доцент, директор ФГБУ «ВНИИОФИ», Москва
Дина Александровна Чепурная	Заместитель генерального директора по качеству ФГУП «ВНИИФТРИ», р. п. Менделеево
Михаил Александрович Черепанов	Кандидат педагогических наук, доцент, профессор РАЕ, директор Уральского филиала ФГАОУ ДПО АСМС, Екатеринбург

Денис Геннадьевич Дедков	Заместитель генерального директора по метрологии ФБУ «Уралтест», Екатеринбург
Лев Константинович Исаев	Доктор технических наук, профессор, научный руководитель направления по законодательной метрологии и методическому руководству в деятельности ГРЦСМИ, Москва
Анна Гурьевна Чуновкина	Доктор технических наук, профессор, руководитель метрологического отдела ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург
Егор Павлович Собина	Доктор технических наук, директор УНИИМ — филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Екатеринбург
Александр Иванович Горчев	Кандидат технических наук, заместитель директора филиала по науке ВНИИР — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Казань
Александра Васильевна Павлова	Председатель Совета молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта», специалист 1 разряда отдела внешних связей Управления административной работы и внешних связей Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), Москва
Надежда Дмитриевна Ляхова	Руководитель секретариата Евро-Азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (КООМЕТ), начальник отдела координации регионального сотрудничества в области метрологии Республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГим), Минск
<i>Секретарь программного комитета</i>	
Наталья Радиковна Вербицкая	Заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург

## Организационный комитет



Совет молодых ученых и специалистов  
«Техноспецназ Росстандарта»

**РСТ** **ВНИИМ**  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»  
**МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ**

Молодежный совет  
при генеральном директоре  
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

*Председатель* Анастасия Александровна Неклюдова Тел.: +7 921 980-35-54  
E-mail: [mscon@vniim.ru](mailto:mscon@vniim.ru)

*Сопредседатель* Павел Константинович Сергеев

*Члены секретариата* Антонина Юрьевна Смирнова  
Анастасия Александровна Пименова



Анастасия Андреевна Тумилович  
Алиса Игоревна Анцукова  
Анастасия Викторовна Миргородская  
Сергей Дмитриевич Пономарев  
Андрей Алексеевич Луценко  
Дарья Васильевна Москаленко

**РСТ**  
**ВНИИМ**  
им. Д.И.Менделеева  
**МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ**

### Контакты ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

Адрес: 190005, Российская Федерация,  
Санкт-Петербург, Московский пр., 19

Телефон: +7 812 251-76-01

Факс: +7 812 713-01-14

E-mail: [info@vniim.ru](mailto:info@vniim.ru)

Сайт: [www.vniim.ru](http://www.vniim.ru)

VK:







**Научный комитет**  
**X Международного конкурса**  
**«Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023»**

**В. Г. Гуревич**  
**Беларусь, КООМЕТ**

**Е. Р. Лазаренко**  
**Россия, КООМЕТ**

**Н. А. Жагора**  
**Беларусь, КООМЕТ**

**А. Г. Чуновкина**  
**Россия, КООМЕТ**

**Л. К. Исаев**  
**Россия, КООМЕТ**

**К. В. Чекирда**  
**Россия, КООМЕТ**

**Р. Ж. Аймагамбетова**  
**Казахстан, КООМЕТ**

**Г. А. Суйебаева**  
**Казахстан, КООМЕТ**

**Э. Садикоглу**  
**Турция, КООМЕТ/ЕВРАМЕТ**



**X Международный конкурс  
«Лучший молодой метролог  
КОOMET-2023»**

**КОOMET**



**НОВАЯ ДВУХЗЕРКАЛЬНАЯ ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ  
АНТЕННА С КРУГОВОЙ ОБРАЗУЮЩЕЙ ГЛАВНОГО  
ЗЕРКАЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
В КАЧЕСТВЕ СОСТАВНОГО ЭЛЕМЕНТА  
В НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОННЫХ КОМПЛЕКСАХ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АНТЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ**

**А. А. Хачатрян, Р. В. Тер-Антонян**

ЗАО «Национальный орган по стандартизации  
и метрологии», Ереван, Армения  
Тел.: + 7 374 093 800 232  
E-mail: akhachatryan@armstandard.am

***Аннотация***

*Национальный орган по стандартизации и метрологии располагает обширным антенным полигоном и измерительными комплексами (ИК), со статусом национальных эталонов, которые обеспечивают относительно точные измерений антенных характеристик небольших зеркальных антенн методом дальней зоны в расширенном диапазоне 3–42 ГГц. В состав ИК входят параболические однозеркальные антенны с диаметрами зеркал 0,5 м, 1 м и 2 м, которые не позволяют повышать точность измерений из-за недостатков, присущих однозеркальным антеннам.*

*В настоящей работе предлагается использовать в ИК новый альтернативный вариант зеркальной антенны с улучшенными характеристиками — двухзеркальную осесимметричную антенну с высоким частотно-независимым согласованием с облучателем и с круговой образующей главного зеркала, упрощающей его изготовление и аттестацию.*

*Антенна, как полезная модель, защищена патентом Армении № 521, приоритет от 06.03.2018.*

*В работе приведены оптическая схема антенны и формульная база для ее радиофизического проектирования.*

## 1. Оптическая схема новой антенны

На рисунке 1 изображена оптическая схема новой осесимметричной антенны.

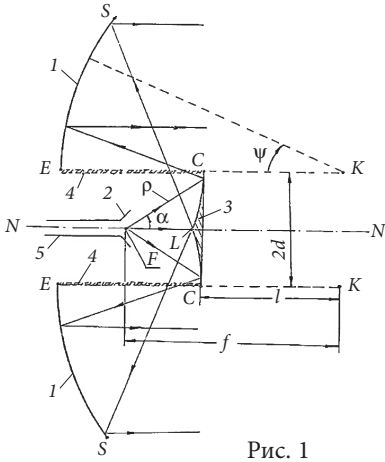


Рис. 1

$NN$  — ось симметрии системы, являющаяся осью вращения образующих зеркал; 1 — главное зеркало с круговой образующей  $ES$ , с центром в точке  $K$  и радиусом  $R$ , параллельно сдвинутой относительно оси вращения; 2 — облучатель с фазовым центром, совмещенным с фокусом системы  $F$ ; 3 — конический контррефлектор с криволинейной образующей  $LC$ , с заострением на оси симметрии; 4 — ось образующей главного зеркала; 5 — волновод, питающий облучатель. Показаны пути центрального и типичного лучей в режиме передачи. Видно, что облучатель оказывается вне лучей, отраженных контррефлектором в направлении на главное зеркало, что и обеспечивает высокое согласование антенны с облучателем;  $2d$  — диаметр контррефлектора;

$l \leq 0,5R$ ,  $f > \rho(\psi_{\max})$ ,  $d$  и  $R$  — управляемые константы оптической схемы, входящие в полярные параметрические уравнения  $\{\rho(\psi), \alpha(\psi)\}$  образующей контррефлектора, обеспечивающей фокусировку;  $\psi$  — текущий центральный угол, который выбран в качестве параметра,  $\psi_{\max}$  — угловой размер образующей главного зеркала.

## 2. Формульная база для радиофизического проектирования

Полярные параметрические уравнения образующей контррефлектора, обеспечивающей фокусировку, следуют из принципов геометрической оптики [1] с использованием обозначений приведенного выше рисунка. Ниже они приведены в форме, удобной для практических расчетов:

$$\rho = 0,5 \left\{ M_1 + M_2^2 / M_1 \right\}, \quad (1)$$

$$\alpha = 2 \arctg \{ M_2 / M_1 \} - 2\psi, \quad (2)$$

где

$$M_1 = M - 2R\cos\psi + f\cos 2\psi - d\sin 2\psi, \quad (3)$$

$$M_2 = f\sin 2\psi - R\sin\psi + d\cos 2\psi, \quad (4)$$

$$M = 2R - 1 + \{(f - 1)^2 + d^2\}^{1/2}. \quad (5)$$

Для радиофизического проектирования антенны удобны следующие, вполне очевидные, формулы, связывающие диаметр раскрыва главного зеркала ( $2D$ ), диаметр контррефлектора ( $2d$ ), осевой размер контррефлектора ( $z$ ), радиус ( $R$ ) и угловой размер ( $\psi_{\max}$ ) круговой образующей, угловой размер ( $\alpha_{\max}$ ) образующей контррефлектора, положение фокуса системы ( $f$ ):

$$\sin\psi_{\max} = (D - d)/R, \quad (6)$$

$$\alpha_{\max} = \alpha(\psi = 0) = 2\arctg\{d/(M - 2R + f)\}, \quad (7)$$

$$s = R/\{2\cos\psi_{\max}\} - d/\tg\psi_{\max}, \quad (8)$$

где  $s$  — расстояние заостренной вершины контррефлектора до проекции точки  $K$  (см. рис.) на ось симметрии.

Осевой размер контррефлектора:

$$z = s - l. \quad (9)$$

Из формулы  $\alpha(\psi_{\max}) = 0$ , с использованием (2), следует, что

$$(d + R\sin\psi_{\max})\cos\psi_{\max} = \{2R - 1 + \{(f - 1)^2 + d^2\}^{1/2} - f\}\sin\psi_{\max}. \quad (10)$$

Если положение фокуса системы выбрать вблизи вершины главного зеркала, то  $d^2 \ll (f - 1)^2$  и формула (10) упрощается до

$$(d + R\sin\psi_{\max})\cos\psi_{\max} = 2(R - 1)\sin\psi_{\max}. \quad (11)$$

Подставляя (6) в (11), мы получим формулу для вычисления  $R$ :

$$R = (D - d) / \{1 - 4(1 - z_0)^2(1 - l_0)^2\}^{1/2}, \quad (12)$$

где  $z_0 = d/D$ ,  $l_0 = 1/R \leq 0,5$ .

Для радиофизического проектирования антенны также необходима формула для так называемой трансфер-функции  $q(\psi)$ , которая путем простого умножения на осесимметричную диаграмму направленности облучателя переводит последнюю в амплитудное распределение поля в раскрыве антенны. Формула этой функции следует

из закона сохранения в лучевой трубке при трансформации, путем двойного отражения, сферического волнового фронта в плоский волновой фронт, и при выбранной математической форме представления образующей контррефлектора имеет вид:

$$q(\psi) = \{(\alpha' \sin \alpha / (d_0 + \sin \psi) \cos \psi)\}^{1/2}, \quad (13)$$

где знак (') означает производную по  $\psi$ ,  $d_0 = d/R$ .

Формулы (1)-(13) являются базой для радиофизического проектирования антенны.

Пробные расчеты значения коэффициента использования апертуры (gain factor) для варианта  $\{2D = 4 \text{ м}, 2d = 0,4 \text{ м}, R = 4,25 \text{ м}, l/R = 0,49, f/R = 0,9, z = 0,09 \text{ м}, \alpha_{\max} = 6,5^\circ, \psi_{\max} = 25^\circ\}$ , при варьировании диаграммы направленности облучателя, дали значение, близкое к максимальному.

### Литература

1. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. Часть 2. М.: Связь, 1977.

# НОВЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Д. В. Ивашенко, А. А. Багдюн

Белорусский государственный институт метрологии,  
Минск, Республика Беларусь  
Тел.: + 375 17 348 68 20, факс +375 17 244 99 38  
E-mail: ivashenko@belgim.by

## ***Аннотация***

*Для обеспечения прослеживаемости результатов измерений параметров дисперсных сред применяются стандартные образцы размера частиц на основе латексов полистирола, которые служат расходным материалом при метрологической оценке счетчиков частиц в жидкости, анализаторов размера частиц, счетчиков аэрозольных частиц и нефелометрических анализаторов пыли.*

*В настоящее время национальными метрологическими институтами не практикуется приписывать номинальные значения единиц величин несколькими методами, в основном ограничиваясь использованием электронного микроскопа.*

*Предложено приписывать номинальные значения характеристик стандартного образца не только с помощью микроскопии (линейный диаметр), но и иными методами, позволяющими получить эквивалентный диаметр частиц. Этот подход позволит обеспечить достоверность результатов измерений в различных дисперсионных средах.*

В работе предложен подход для обеспечения прослеживаемости результатов измерений параметров дисперсных сред при метрологической оценке (испытаниях, поверке и калибровке) счетчиков частиц в жидкости, анализаторов размера частиц, счетчиков аэрозольных частиц и нефелометрических анализаторов пыли, основанный на приписывании номинальных значений характеристик стандартного образца не только с помощью микроскопии (линейный диаметр), но и иными методами, позволяющими получить эквивалентный диаметр частиц.

## **Актуальность в научном или прикладном значении**

Такие средства измерений как счетчики частиц, анализаторы пыли и анализаторы размера частиц можно объединить в условную



группу средств измерений параметров дисперсных сред, предназначенных для измерения счетной концентрации частиц, массовой концентрации частиц и диаметра частиц соответственно. При этом измеряемая счетчиками и анализаторами пыли концентрация тесно связана с диаметром частиц, так как она определяется в размерных каналах.

Для обеспечения прослеживаемости результатов измерений параметров дисперсных сред применяются стандартные образцы размера частиц на основе латексов полистирола, которые служат расходным материалом при метрологической оценке (испытаниях, поверке и калибровке) счетчиков частиц в жидкости, анализаторов размера частиц, счетчиков аэрозольных частиц и нефелометрических анализаторов пыли.

В настоящее время в Республике Беларусь на рынке стандартных образцов размера частиц существует напряженность, связанная с необходимостью импорта большинства экземпляров из-за пределов ЕАЭС. Стоит отметить существенное влияние на возможность и сроки поставки жестких требований к транспортировке таких стандартных образцов.

Для обеспечения прослеживаемости результатов измерений диаметра частиц к эталону единицы длины номинальные значения должны быть приписаны с помощью средства измерения, которое имеет прослеживаемость к единице величины — метру. БелГИМ имеет измерительные возможности в этой области с использованием наноизмерительной машины NMM [1].

Однако средства измерений параметров дисперсных сред нацелены на измерение эквивалентных диаметров частиц, это связано с тем, что частицы имеют неидеальную форму и пребывают в различных дисперсных средах (например, аэрозольные частицы в воздухе и взвеси частиц в жидкости). Таким образом, пользователю необходимо обеспечить достоверность результатов измерений, принимая во внимание рабочую среду.

### **Цель работы**

Разработка подхода для обеспечения прослеживаемости результатов измерений нескольких типов средств измерений параметров дисперсных сред одновременно.

## **Научная новизна и практическая значимость**

В настоящее время национальными метрологическими институтами не практикуется приписывать номинальные значения характеристик стандартного образца несколькими методами, в основном ограничиваясь использованием электронного микроскопа.

Предложено приписывать номинальные значения характеристик стандартного образца для стандартных образцов не только с помощью микроскопии (линейный размер), но и иными методами, позволяющими получить эквивалентный диаметр частиц. Этот подход позволит обеспечить достоверность результатов измерений в различных дисперсных средах.

Наряду с этим решаются такие практические задачи как удешевление метрологической оценки (испытаний, поверки и калибровки) и оперативного контроля на предприятиях, а также и проблема доставки стандартных образцов в холодное время года из-за требований к условиям перевозки.

### **Задачи работы**

1. Определение линейного размера частиц сканирующим электронным микроскопом и наноизмерительной машиной NMM-1;
2. Определение эквивалентного размера частиц методами лазерной дифракции и анализа дифференциальной электрической подвижности частиц.

### **Суть работы**

В качестве объекта измерения выступал стабилизированный коллоидный раствор полистирола в воде с массовой долей полистирола около 7% с номинальным диаметром частиц порядка 500 нм. В растворе содержится не более 0,5% поверхностно-активных веществ.

Для определения линейного размера частиц были сделаны снимки SEM с использованием микроскопа LEO 1420, а также измерен размер частиц с помощью наноизмерительной машины NMM-1 с атомно-силовым микроскопом в качестве зонда.

Для определения эквивалентных диаметров применялись средства измерений, входящие в состав эталонного комплекса метрологического контроля средств измерений параметров дисперсных сред:

— анализатор размера частиц LA-960 фирмы Horiba (Япония), предназначенный для измерения эквивалентных диаметров частиц в жидкости;

— анализатор дифференциальной электрической подвижности частиц LongDMA, производства фирмы TSI Inc. (США), предназначенный для измерения эквивалентных диаметров аэрозольных частиц в диапазоне до 1 мкм.

Анализ полученных данных проводился с помощью прикладного программного обеспечения.

### Полученные результаты

На рисунке 1 представлены изображения поверхности, полученные в результате измерения методами микроскопии с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) (а) и с помощью наноизмерительной машины с атомно-силовым микроскопом в качестве зонда (NNM) (б). На изображении видно, что частицы не агрегированы и хорошо различимы. С помощью прикладного программного обеспечения проведена оценка среднего диаметра частиц.

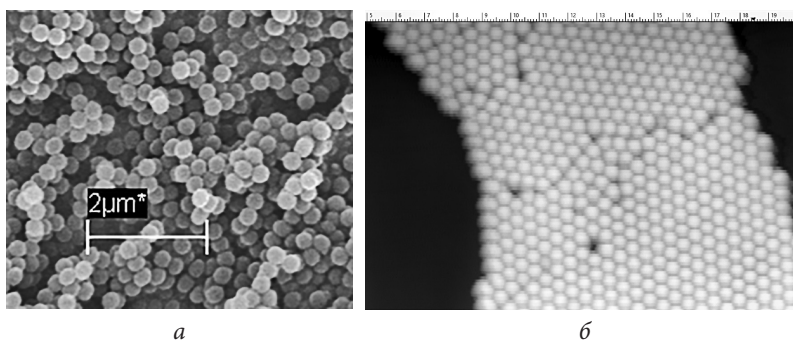


Рис. 1. Результаты измерения линейного диаметра с использованием SEM (а) и NNM (б)

Методом анализа дифференциальной электрической подвижности (DMA) были проведены измерения среднего эквивалентного диаметра частиц в аэрозоле. Анализируя результат сканирования в диапазоне от 30 до 800 нм (рис. 2а), можно отметить наличие нецелевых частиц, вероятно, связанных с обнаружением капель воды, поверхностно-активных веществ, входящих в состав латекса. Также наблюдается эффект неполной нейтрализации зарядов на частицах после прохождения через нейтрализатор, выражающийся в различных пиках по шкале счетной концентрации частиц при размерах порядка 206, 308 и 402 нм. Все эти факторы не позволяют оценить средний эквивалентный диаметр частиц в аэрозоле с помощью прикладного про-

граммного обеспечения. Исключение этих эффектов посредством установки диапазона сканирования с 400 до 600 нм (рис. 2б) позволило использовать средний арифметический диаметр в качестве оценки среднего эквивалентного диаметра частиц для исследуемого стабилизированного коллоидного раствора полистирола в воде.

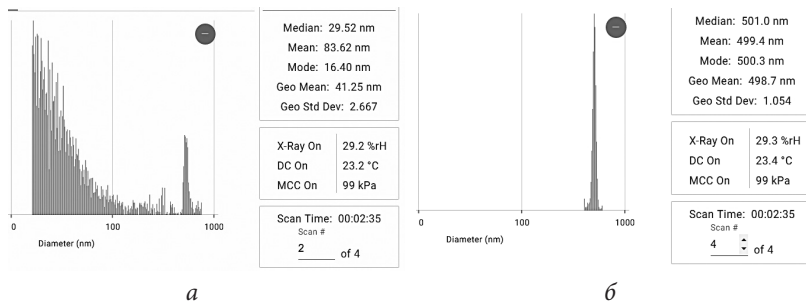


Рис. 2. Результаты измерения эквивалентного диаметра в аэрозоле методом анализа дифференциальной электрической подвижности

Методом динамического рассеяния света (DLS) были проведены измерения среднего эквивалентного диаметра частиц в воде. На рисунке 3 представлен результат измерения исследуемого латекса полистирола. Можно отметить узкое распределение по размеру и отсутствие дополнительных мод на графике распределения частиц по размеру.

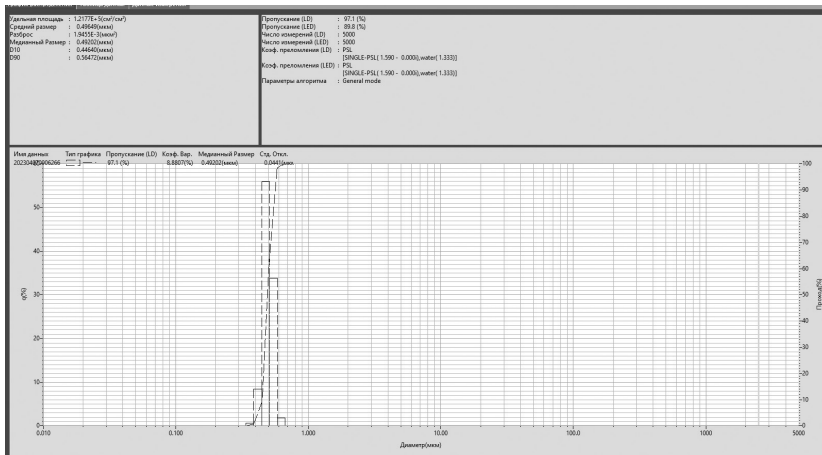


Рис. 3. Результаты измерения эквивалентного диаметра методом динамического рассеяния света

Результаты математической обработки представлены в таблице 1.

**Таблица 1 — Результаты математической обработки данных для полистирольных латексов**

Метод	Измеренное значение диаметра частиц, нм	Расширенная неопределенность размера частиц ( $P = 0,95$ ), нм
SEM	501,21	4,80
NNM	502,11	2,91
DMA	499,41	11,98
DLS	496,49	5,46

Таким образом, предложенный подход обеспечивает прослеживаемость результатов измерений средств измерений параметров дисперсных сред, при этом обеспечивается достоверность результатов измерений благодаря приписыванию номинальных значений характеристик стандартного образца и расчета неопределенности размера частиц для стандартных образцов не только с помощью микроскопии (линейный размер), но и иными методами, позволяющими получить эквивалентный диаметр частиц.

Полученные результаты будут использоваться для разработки стандартных образцов размера частиц на основе латексов полистирола.

### Литература

1. Багдюн А. А., Соломахо В. Л. Наука и техника. 2022. Т. 21 (6). С. 473–479.

# РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА АВТОПОДСТРОЙКИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ UTC(KZ) С ПОМОЩЬЮ ЕЖЕНЕДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ RAPID UTC

С. Б. Смагулов<sup>1,2</sup>, К. Г. Мишагин<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> РГП «КазСтандарт», Астана, Казахстан

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, Томск, Российская Федерация

<sup>3</sup> АО «Время-Ч», Нижний Новгород, Российская Федерация

<sup>4</sup> ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

Тел.: + 7 (717) 228 29 93, e-mail: s.smagulov@ksm.kz

## **Аннотация**

*В настоящей работе представлены результаты работы системы автоматической подстройки шкалы времени UTC(KZ), которая использует еженедельные данные UTCr, публикуемые BIPM.*

*UTC(KZ) — это первая национальная шкала времени, которая формируется на основе только пассивных водородных стандартов частоты. Для физической реализации шкалы времени, как правило, используются вспомогательные генераторы, стабилизированные по частоте сигналом атомных часов и позволяющие вводить поправки по фазе и частоте относительно этого сигнала.*

*В работе впервые представлен реализованный алгоритм автоматической коррекции шкалы атомного времени на основе данных UTCr. Проведено экспериментальное исследование характеристик процесса автоподстройки шкалы времени UTC(KZ). Исследованы метрологические характеристики ГЭВЧ-2021 на основе эталонного комплекса производства АО «Время-Ч», Россия.*

*Подстройка осуществляется путем коррекции частоты выходного сигнала эталона. Управляющее воздействие рассчитывается пропорционально ошибке по фазе и частоте шкалы времени UTC(KZ) относительно UTC на момент времени управления. Для достижения наилучшей характеристики нестабильности частоты подстраиваемого сигнала на всех интервалах времени измерения необходимо выбирать постоянную времени системы автоподстройки, приблизительно равную по величине интервалу времени, на котором графики параболической девиации сигнала без управления и опорного сигнала совпадают.*

*Результаты данной работы будут использоваться для дальнейшего улучшения метрологических характеристик Государственного первичного эталона времени и частоты Республики Казахстан и ведения национальной шкалы времени UTC(KZ). Разработанный алгоритм формирования шкалы времени может быть использован в других национальных лабораториях.*

## **1. Актуальность работы**

Ведение и физическая реализация шкал атомного времени, максимально приближенных к международной шкале координированного времени UTC, на национальных эталонах представляется важной задачей, решение которой необходимо для обеспечения единства измерений.

## **2. Цель работы**

Целью работы является разработка алгоритма формирования национальной шкалы времени UTC(KZ) на основе пассивных водородных стандартов частоты и времени и экспериментальное исследование методов повышения точности метрологических характеристик Государственного первичного эталона времени и частоты Республики Казахстан.

## **3. Научная новизна или практическая (прикладная) значимость**

UTC(KZ) — это первая национальная шкала времени, которая формируется на основе только пассивных водородных стандартов частоты.

Впервые представлен реализованный алгоритм автоматической коррекции шкалы атомного времени на основе данных UTCr.

Проведено экспериментальное исследование характеристик процесса автоподстройки шкалы времени UTC(KZ). Исследованы метрологические характеристики ГЭВЧ-2021 на основе эталонного комплекса производства АО «Время-Ч», Россия.

Результаты данной работы будут использоваться для дальнейшего улучшения метрологических характеристик Государственного первичного эталона времени и частоты Республики Казахстан и ведения национальной шкалы времени UTC(KZ).

Разработанный алгоритм формирования шкалы времени может быть использован в других национальных лабораториях.

## **4. Задачи работы**

Необходимо произвести расчет параметров системы автоматической коррекции шкалы атомного времени по данным UTCr на основе результатов внутренних и внешних сравнений эталонного комплекса.

Необходимо провести анализ характеристик точности шкалы времени UTC(KZ) в установившемся режиме подстройки.

## 5. Суть работы

В январе 2022 года завершили работы по модернизацию Государственного первичного эталона времени и частоты [1], и на сегодняшний день в состав ансамбля часов входит два водородных стандарта пассивного типа VCH-1008 (PHM 1 и PHM2) и один водородный стандарт Ч1-1007 (PHM 3).

Разницу между UTC и UTC(KZ) можно получить из бюллетеня Rapid UTC (UTCr) [2], который предоставляется Международным бюро мер и весов (BIPM) еженедельно с задержкой в 3–4 дня.

Для физической реализации шкалы времени, как правило, используются вспомогательные генераторы (в нашем случае VCH-317), стабилизированные по частоте сигналом атомных часов и позволяющие вводить поправки по фазе и частоте относительно этого сигнала [3, 4, 5].

На рисунке 1 и в таблице 1 представлены сведения об отклонении шкалы времени UTC(KZ) относительно UTC.

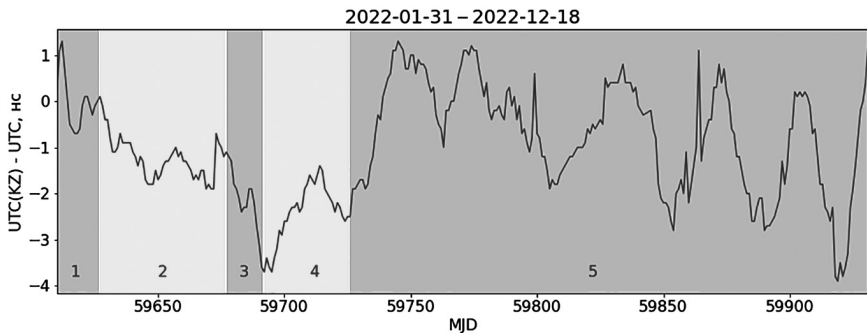


Рис. 1. Отклонение шкалы UTC(KZ) относительно UTC, различные периоды управления отмечены цифрами

Таблица 1. Описание периодов управления

Описание	Даты
Автоподстройка относительно UTC(SU) Интервал управления — 1 сут. Постоянная времени — 5 сут.	до 17.02.2022
Отсутствие коррекций	17.02.2022 – 08.04.2022
Ручная коррекция	09.04.2022 – 22.04.2022



Описание	Даты
Отсутствие коррекций	23.04.2022 – 26.05.2022
Автоподстройка относительно UTC по данным UTCr Интервал управление — 7 сут. Постоянная времени — 10 сут. ( $g_x = 4,2 \cdot 10^{-7}$ , $g_y = 0,75$ )	после 26.05.2022

Среднеквадратическая погрешность (СКП) шкалы времени UTC(KZ) составляет:

- 1) СКП за весь период: 1,55 нс;
  - 2) СКП при использовании UTCr: 1,11 нс.
- Максимальное по модулю отклонение: 3,9 нс.

### 5.1. Описание алгоритма подстройки по данным UTCr

Подстройка осуществляется путем коррекции частоты выходного сигнала эталона:

$$f_{n+1} = f_n + u_n, \quad (1)$$

где  $f_n$  — частота выходного сигнала эталона (шкалы UTC(KZ)) в относительных единицах,  $u_n$  — управляющее воздействие также в относительных единицах. Выходной сигнал эталона формируется VCH-317, который стабилизирован по частоте относительно пассивного водородного стандарта частоты PNM1 (VCH-1008).

Управляющее воздействие рассчитывается пропорционально ошибке по фазе  $x_n$  и частоте  $y_n$  шкалы времени UTC(KZ) относительно UTC на момент времени управления:

$$u_n = -g_x x_n - g_y y_n, \quad (2)$$

где  $g_x$  и  $g_y$  — коэффициенты автоподстройки, которые рассчитываются по формулам (3, 4).

$$g_x = \frac{1}{\Delta t} \left( 1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}} \right)^2, \quad (3)$$

$$g_y = 1 - e^{-\frac{2\Delta t}{T}}, \quad (4)$$

где  $\Delta t$  — интервал управления,  $T$  — постоянная времени автоподстройки.

В рассматриваемой задаче  $\Delta t = 604800$  с (7 суток),  $T = 864000$  с (10 суток),  $g_x = 4,2 \cdot 10^{-7}$ ,  $g_y = 0,75$ .

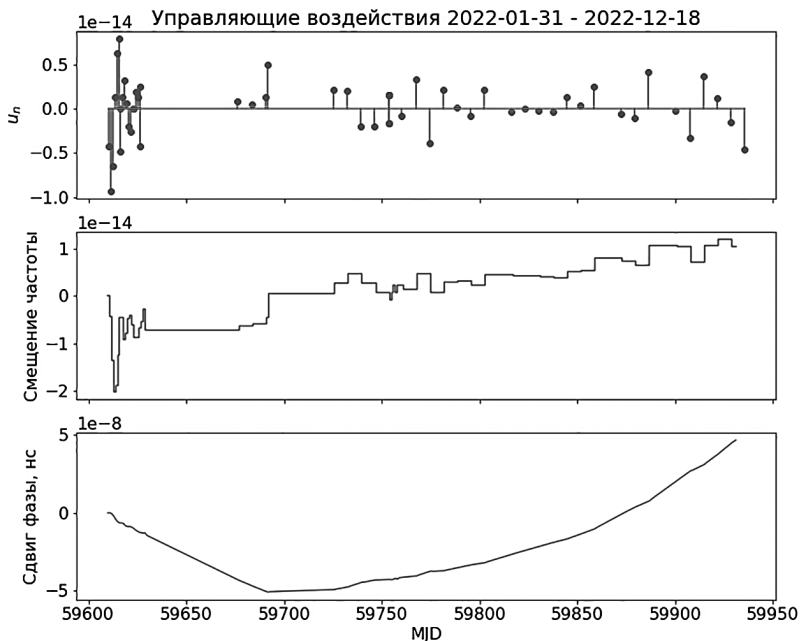


Рис. 2. Сверху вниз: коррекции частоты сигнала шкалы времени UTC(KZ), суммарное смещение частоты и суммарный сдвиг фазы сигнала шкалы времени UTC(KZ) относительно опорного стандарта

Файл Rapid UTC содержит информацию об отклонениях UTC(KZ) от UTC за неделю — 7 значений, рассчитанных на 00:00:00 с понедельника по воскресенье. Файл обновляется, как правило, в среду вечером, то есть имеет место задержка в данных почти 4 суток.

На основе последнего файла Rapid UTC осуществляется расчет отклонения по фазе и частоте на момент управления — четверг 08:00:00 UTC. Расчет осуществляется с помощью линейной аппроксимации при учете предыдущего управляющего воздействия.

Рисунок 2 иллюстрирует оценку отклонения шкалы времени UTC(KZ) относительно UTC по данным UTCr.

## 5.2. Обоснование выбранных параметров автоподстройки

Для достижения наилучшей характеристики нестабильности частоты подстраиваемого сигнала на всех интервалах времени измерения необходимо выбирать постоянную времени системы автопод-

стройки, приблизительно равную по величине интервалу времени, на котором графики параболической девиации сигнала без управления и опорного сигнала совпадают [3].

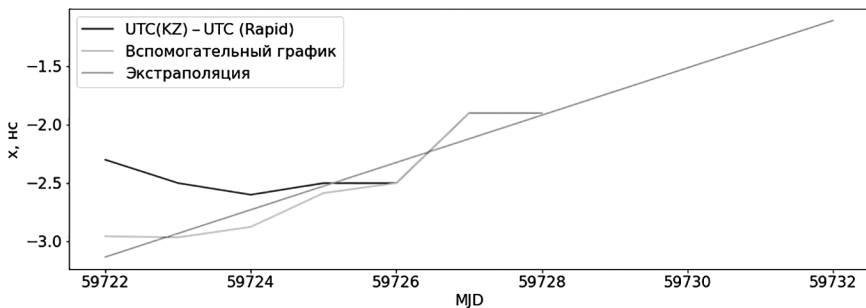


Рис. 3. Экстраполяция по данным UTCr с учетом предыдущего управления

На рисунке 4 показаны характеристики нестабильности частоты — параболической девиации опорного стандарта РНМ1, измеренные относительно UTC (с помощью внешних сличений через ГНСС) и относительно аналогичного стандарта (с помощью компаратора). Графики начинают совпадать с  $\tau \approx 1 \cdot 10^6$  с или около 12 суток.

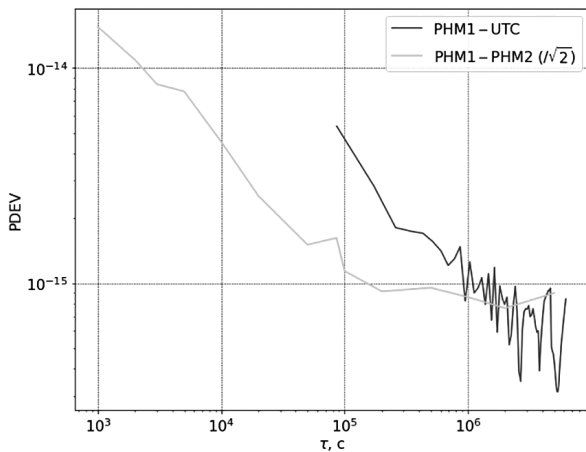


Рис. 4. Оценка параболической девиации частоты опорного стандарта РНМ1 относительно UTC и относительно РНМ2

## 6. Полученные результаты

Можно сделать вывод, что выбранная постоянная времени автоподстройки  $T = 10$  суток близка к оптимальному значению, но может быть несколько увеличена до 15–20 суток. При увеличении постоянной времени нестабильность частоты шкалы времени должна несколько улучшиться, но увеличится погрешность подстройки шкалы времени.

На рассмотренном интервале наблюдения при подстройке по данным UTCr среднеквадратическая погрешность составила менее 1,2 нс, абсолютное отклонение UTC(KZ)-UTCr не превысило 4 нс. В дальнейшем планируется провести более детальный анализ точности автоподстройки на более длительном интервале времени наблюдения.

## Литература

1. Смагулов С. Б., Юрченко А. В. Алгоритм формирования национальной шкалы времени UTC(KZ) на основе пассивных водородных стандартов частоты и времени // Сборник материалов V Международного форума «Интеллектуальные системы 4-й промышленной революции». Томск: STT, 2023. С. 44–46.
2. <https://www.bipm.org/en/time-ftp/utcr>.
3. Мишагин К. Г., Медведев С. Ю. Реализация метода оптимальной автоподстройки шкалы времени атомных часов // Измерительная техника. 2021. № 8. С. 51–55. DOI 10.32446/0368-1025it.2021-8-51-55. EDN MDLUYT.
4. Mishagin K. G., Lysenko V. A., Medvedev S. Y. A practical approach to optimal control problem for atomic clocks // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. 2019. Vol. 67. N 5. P. 1080–1087.
5. Zhao Shu-Hong, Wang Zheng-Ming, Yin Dong-Shan. A Study on the Steering Strategy for the Master Clock // Chinese Astronomy and Astrophysics. 2015. Vol. 39. P. 118–128.

# УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ф. Ю. Виноградов, В. Л. Минаев, Г. Н. Вишняков

ФГБУ «ВНИИОФИ», Москва, Российская Федерация

Тел.: + 7(495) 781 4576

E-mail: vinogradov@vniiofi.ru

## **Аннотация**

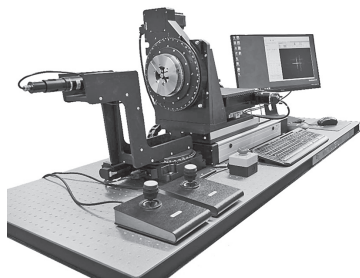
*С появлением оптических приборов возникла необходимость в оценке их качества изображения. Изначально качество изображения оценивали визуально, и такая оценка носила субъективный характер. С развитием теории аберраций оптических систем численную оценку качества изображения можно было дать исходя из величин аберраций оптической системы, но такой метод оценки был осуществим лишь изготовителем, поскольку только изготовитель обладал полной информацией о конструктивных параметрах системы. Поэтому качество изображения оценивали с помощью специальных мир — тест-объектов с определенной частотой линий. Такой метод был более объективным, но трудоемким и недостаточно информативным.*

*В настоящее время в связи с развитием производства оптических систем и цифровых приемников излучения (CMOS и CCD матриц) возникает потребность в более точных и информативных методах контроля их качества изображения. Сейчас для количественной оценки качества изображения оптических систем применяется единица коэффициента передачи модуляции (далее — КПМ). В работе рассматривается разработка установки для измерения единицы КПМ, которая предназначена для оценки качества изображения и метрологического обеспечения оптических систем. Актуальность данной работы заключается в отсутствии в настоящее время в России системы метрологического обеспечения средств измерений КПМ. В докладе были рассмотрены существующие зарубежные прототипы приборов для измерения КПМ.*

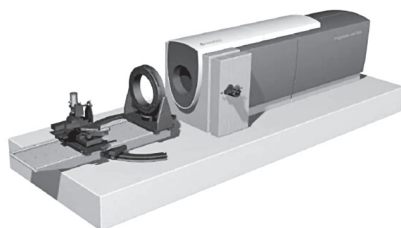
В связи с развитием производства оптических систем возникает потребность в методах контроля их качества изображения. В настоящее время для количественной оценки качества изображения оптических систем применяется единица коэффициента передачи модуляции (далее — КПМ). В работе рассматривается разработка

установки для измерения единицы КПМ, которая предназначена для оценки качества изображения и метрологического обеспечения оптических систем. Актуальность данной работы заключается в отсутствии в настоящее время в России системы метрологического обеспечения средств измерений КПМ. В докладе были рассмотрены существующие зарубежные прототипы приборов для измерения КПМ.

В России на данный момент нет коммерческих аналогов установок для измерения КПМ, а данные установки по ряду параметров не удовлетворяют требованиям задания на проектирование. Методы измерения КПМ в основном разделяют по виду используемого тест-объекта, где может использоваться периодический тест-объект или непериодические тест-объекты. Для периодических тест-объектов КПМ определяется как отношение контраста в изображении к контрасту в предмете. Для непериодических тест-объектов вычисление значений КПМ сводится к вычислению передаточной функции от функции рассеяния точки. При этом ГОСТ Р 58566-2019 рекомендует использовать именно непериодический тест-объект.



Установка MTF Master 200,  
Optik Elektronik Geratetechnik  
(Германия)



ImageMaster Universal, TRIOPTICS  
(Германия)

Рис. 1. Зарубежные установки измерения КПМ

На основе анализа известных схем были сформулированы технические решения по выбору коллиматора, источника, тест-объекта, приемников излучения для разных диапазонов. На основании предварительных расчетов была разработана функциональная схема установки.

Излучение от источника проходит через светофильтр и освещает тест-объект. Коллиматор в виде внеосевого параболического зеркала

проецирует изображение тест-объекта в бесконечность. Испытуемый объектив строит дифрагированное изображение тест-объекта в своей фокальной плоскости. Это изображение с помощью микрообъектива в увеличенном виде проецируется в плоскость приемника излучения.

На основании предварительных расчетов была разработана функциональная схема установки.

Приемники излучения выполнены в двух исполнениях: для диапазона от 0,45 до 1 мкм используется многоэлементный приемник, а для диапазона от 1 мкм одноэлементный приемник с обеспечением механической развертки изображения. Сигнал с многоэлементного приемника поступает сразу в компьютер, а сигнал с одноэлементного приемника сначала проходит оцифровку, проходя через АЦП. В компьютере происходит обработка сигналов и вывод измеренных значений. В процессе измерений компьютер также выполняет управление моторизированным позиционером для поиска плоскости наилучшей установки и системой механической развертки изображения.

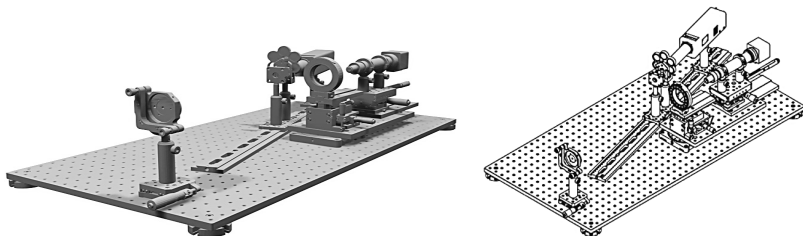


Рис. 2. Общий вид опытного образца установки измерения КМП

По описанной схеме был собран опытный образец установки, общий вид которой представлен на рисунке 2. В схеме выделено два основных функциональных блока: блок осветителя и блок регистрации. Все элементы монтируются на общей оптической плите.

Для передачи единицы КМП установке в ФГБУ «ВНИИОФИ» был разработан рабочий эталон единицы КМП, содержащий эталонные объективы.

Эталонные объективы содержат и хранят единицу КМП, полученную расчетным методом в программе для расчета оптики способом трассировки лучей, и предназначены для передачи единицы КМП установкам для измерения КМП.

## Литература

1. Norton C.L., Brock G.C., Welch R. Optical and Modulation Transfer Functions // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1977. Vol. 43. N 5. P. 613–636.
2. Williams T.L., Ashton A. The Use Standard Test Lenses for Verifying the Accuracy of OTF Equipment // Appl. Optics. 1969. Vol. 8. N 10. P. 2007–2012.
3. ОСТ 3 2635. Устройства для измерений функции передачи модуляции съёмочных объективов. Метод поверки.
4. ГОСТ Р 58566 2019 Оптика и фотоника. Объективы для оптико-электронных систем. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.
5. Шульман М. Я. Измерение передаточной функции оптических систем. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. 208 с., ил.
6. Schenker M., Stavridis M., Schulz M., Tutsch R. Effects of misalignments on the modulation transfer function measurement of camera lenses analyzed in optomechanical simulations // Opt. Eng. 2020. Vol. 59. N 3. P. 034101. doi: 10.1117/1.OE.59.3.034101.
7. Цуканова Г. И., Безруков В. А., Карпова Г. В., Багдасарова О. В. Габаритный расчет и выбор компонентов оптических систем микроскопов: Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 92 с.
8. СанПиН 2.2.4.3359 16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М., 2016. 72 с.
9. СанПиН 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.
10. ГОСТ Р 56274 2014. Общие показатели и требования в эргономике. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.



# РАЗРАБОТКА МЕТОДА И СТЕНДА ГРАВИТАЦИОННОЙ КАЛИБРОВКИ БОРТОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТОМЕТРОВ

Р. А. Давлатов

ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область,  
поселок Менделеево, Российская Федерация

Тел.: + 7 (495) 526 63 63

E-mail: davlatov\_r\_a@mail.ru

## **Аннотация**

*Для обеспечения работы глобальных навигационных спутниковых систем вне зависимости от местоположения потребителя и качества принимаемого навигационного сигнала необходима разработка корреляционно-экстремальной навигационной системы по гравитационному полю Земли. При этом необходимо создание навигационных карт параметров гравитационного поля Земли. Для удаленных и труднодоступных территорий это можно сделать только с использованием космических средств измерений. Из всех параметров гравитационного поля в условиях космоса возможно измерить только гравитационный градиент с помощью космического гравитационного градиентометра. При этом погрешность градиентометра составляет  $10^{-3}$  Этвеш ( $1$  Этвеш —  $10^{-9}1/c^2$ ). Для подтверждения указанной погрешности необходимо использовать стенд калибровки с погрешностью не более  $10^{-4}$  Этвеш. В настоящее время такие стенды отсутствуют. В работе представлен новый метод гравитационной калибровки градиентометров с использованием бортовой калибровочной массы. Для реализации метода обоснована структура и выполнена оценка параметров бортового стенда для достижения погрешности калибровки  $10^{-4}$  Этвеш. Для апробации предложенного метода проведено численное моделирование наземного лабораторного стенда и выполнено его изготовление. В работе представлены результаты экспериментального подтверждения правильности принятых технических решений и алгоритмов обработки данных при осуществлении калибровки.*

## **Актуальность**

Широко используемые глобальные навигационные спутниковые системы обеспечивают высокую точность определения местоположения потребителя. Однако существует ряд ситуаций, в которых уровень принимаемых сигналов оказывается либо ниже порогового уровня (в туннелях, каньонах, закрытых помещениях), либо прием сигналов

вообще невозможен (под землей, под водой). Одним из направлений обеспечения помехозащищенности навигационных решений является создание комплексной системы навигации на основе использования корреляционно-экстремальной навигационной системы (КЭНС), работающей по гравитационному полю Земли (ГПЗ). Однако для обеспечения работы такой системы необходимо формирование навигационных гравиметрических карт. На удаленные и труднодоступные территории это возможно только с использованием космических бортовых средств измерения параметров ГПЗ.

В условиях космоса, когда гравиметры не работоспособны, возможно определение только гравитационного градиента. Для этого используются космические градиентометры, основная идея которых заключается в определении разности гравитационных сил, действующих на сами космические аппараты, либо на их бортовые пробные массы. В настоящее время за рубежом реализовано несколько проектов космических градиентометров, самым точным из которых является бортовой градиентометр GOCE с погрешностью  $10^{-3}$  Этвеш ( $1 \text{ Этвеш} = 10^{-9} \text{ 1/c}^2$ ) [1]. Для подтверждения указанной погрешности необходимо иметь калибровочный стенд [2] с погрешностью на порядок меньше, т. е.  $10^{-4}$  Этвеш.

В Российской Федерации разработка космических градиентометров находится на стадии НИОКР. Однако уже на этом этапе возникают вопросы метрологического сопровождения разрабатываемых макетов и опытных образцов.

Таким образом, актуальна разработка принципиально нового метода и стенда калибровки бортовых космических градиентометров.

### **Цель работы**

Разработка нового метода и стенда калибровки бортового космического градиентометра с погрешностью не хуже  $10^{-4}$  Этвеш.

### **Прикладная значимость**

Новый метод калибровки позволит подтвердить метрологические характеристики как перспективных отечественных бортовых космических градиентометров, так и зарубежных. Это обеспечит достоверную оценку погрешности сформированных навигационных гравиметрических карт гравитационного градиента при реализации КЭНС по ГПЗ, что значительно снизит погрешность определения местоположения потребителя.

## Задачи работы

1. Разработка нового метода калибровки космических бортовых градиентометров.
2. Обоснование структуры бортового космического стенда для реализации разработанного метода и оценка его параметров.
3. Разработка наземного лабораторного стенда.
4. Выполнение экспериментов с использованием разработанного наземного стенда для проверки принятых технических решений и алгоритмов обработки данных.

## Суть работы

### Метод гравитационной калибровки

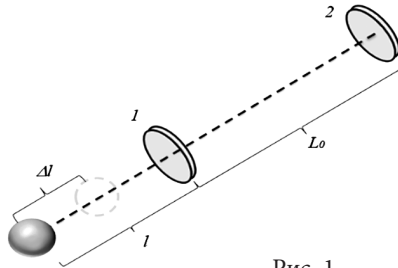


Рис. 1

Идея разработанного метода гравитационной калибровки заключается в следующем [2, 3]. Расположим на борту космического аппарата в непосредственной близости к чувствительной массе (ЧМ) градиентометра калибровочное тело (КТ) однородной плотности с известными геометрическими параметрами (рис. 1). При этом калибровочное тело создает потенциал притяжения в точках 1 и 2:

$$V_1 = G \frac{m}{l}, \quad V_2 = G \frac{m}{L_0 + l},$$

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $m$  — масса КМ,  $l$  — расстояние между КТ и ЧМ градиентометра,  $L_0$  — расстояние между ЧМ градиентометра.

По направлению  $l$  ускорение будет:

$$a_{1l} = -G \frac{m}{l^2}, \quad a_{l2} = -G \frac{m}{(L_0 + l)^2}.$$

Тогда КТ в исходном положении создает градиент равный:

$$\Gamma_0 = \frac{a_{l1} - a_{l2}}{L_0} = \frac{-Gm}{L_0} \left( \frac{1}{(l+L_0)^2} - \frac{1}{l^2} \right) = \frac{-Gm}{L_0} \left( -\frac{2lL_0 + L_0^2}{l^2(l+L_0)^2} \right) = \frac{Gm(2l+L_0)}{l^2(l+L_0)^2}.$$

При перемещении на  $\Delta l$  величина градиента будет составлять:

$$\Gamma_{\Delta l} = \frac{Gm(2l+L_0-2\Delta l)}{(l-\Delta l)^2(L_0+l-\Delta l)^2}.$$

В итоге уравнение изменения бортового градиента вследствие перемещения массы будет следующим:

$$\Gamma_{\text{выч.}} = \Gamma_{\Delta l} - \Gamma_0 = Gm \left[ \frac{(2l+L_0-2\Delta l)}{(l-\Delta l)^2(L_0+l-\Delta l)^2} - \frac{(2l+L_0)}{l^2(l+L_0)^2} \right]. \quad (1)$$

Значение перемещения КТ  $\Delta l$  и расстояние  $l$  между КТ и ЧМ задается изначально с высокой точностью. Масса КТ известна заранее. Расстояние между пробными телами градиентометра измеряется бортовым лазерным интерферометром. Таким образом, возникает возможность вычислить значение изменения градиента  $\Delta \Gamma_{\text{выч.}}$ .

Далее выполняется вычисление отклонения измеренного изменения градиента от вычисленного, что позволит оценить абсолютную погрешность бортового градиентометра:

$$\Theta_{G_{xx}} = \Gamma_{\text{изм.}} - \Delta \Gamma_{\text{выч.}}$$

### *Бортовой космический стенд*

Для реализации предложенного метода калибровки необходимо использовать бортовой космический стенд, состоящий из калибровочного тела и платформы для его перемещения (рис. 2). На основе выражения (1) выделим следующие основные параметры стенда:

– значение, направление и скорость перемещения калибровочного тела;

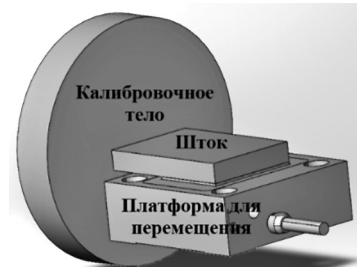


Рис. 2. Модель бортового стенда

- форма и плотность калибровочного тела;
- исходное расстояние между пробной массой градиентометра и калибровочным телом  $l$ .

Согласно выражению (1) для увеличения эффекта от перемещения КТ необходимо увеличить его массу. Кроме того, существенное значение имеет начальное расстояние между КТ и ЧМ. Чем меньше расстояния между КТ и ЧМ градиентометра, тем больше изменение градиента. Это приводит к необходимости выбора формы КТ в виде диска.

Для однозначного фиксирования изменения градиента его значение должно быть не менее 0,1 Этвеш. К примеру, этому требованию будет соответствовать перемещение КТ массой 0,5 кг на 10 мкм на расстоянии 2,5 см до ЧМ градиентометра. При использовании высокоплотного сплава КТ (например, из золота с плотностью 19,3 г/см<sup>3</sup>) будет иметь диаметр 6 см при толщине 1 см.

Ключевой характеристикой стенда является точность расчета возмущающего градиента. На основе выражения (1) можно определить доверительные границы неисключенной систематической погрешности вычисленного значения изменения градиента по формуле:

$$\Theta_{\Delta \text{Гвмч}} = \pm k \left[ \left( Gm \frac{-2(l-\Delta l) + 2(2l + L_0 - 2\Delta l) + 2(l-\Delta l)}{(l-\Delta l)^3 (L_0 + l - \Delta l)^2} \right)^2 \Theta_{\Delta l}^2 + \left( Gm \frac{2(l-\Delta l)^3 (L_0 + l - \Delta l) - 2l^3 (l + L_0)}{l^3 (l + L_0) (l-\Delta l)^3 (L_0 + l - \Delta l)} \right)^2 \Theta_l^2 + \right. \\ \left. + \left( Gm \frac{(l-\Delta l)^2 (L_0 + l - \Delta l)^2 - l^2 (l + L_0)^2}{l^2 (l + L_0)^2 (l-\Delta l)^2 (L_0 + l - \Delta l)^2} \right)^2 \Theta_{L_0}^2 + \left( G \frac{l^2 (l + L_0) - (l-\Delta l)^2 (L_0 + l - \Delta l)}{l^2 (l + L_0) (l-\Delta l)^2 (L_0 + l - \Delta l)} \right)^2 \Theta_m^2 \right]^{1/2},$$

где  $k = 1,1$  — поправочный коэффициент при доверительной вероятности 0,95;  $\Theta_{\Delta l}$  — НСП измерения перемещения калибровочного тела, м;  $\Theta_l$  — НСП начальной выставки КТ относительно градиентометра, м;  $\Theta_{L_0}$  — НСП системы определения расстояния между ЧМ градиентометра, м;  $\Theta_m$  — НСП массы КТ, кг.

Для достижения погрешности калибровки в  $10^{-4}$  Этвеш необходимо обеспечить:

1. Погрешность измерения перемещения КТ не более 100 нм.
2. Погрешность выставки КТ относительно ЧМ градиентометра не более 5 мкм.
3. Погрешность определения массы КТ не более  $10^{-3}$  кг.
4. Погрешность определения расстояния между ЧМ градиентометра не более 5 мм.

Указанные требования могут быть обеспечены серийными измерительными средствами, что подтверждает возможность создания бортового стенда.

### Наземный лабораторный стенд

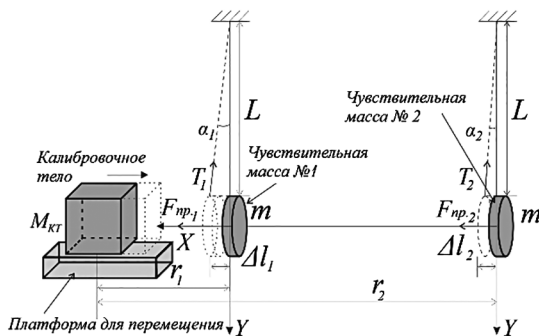


Рис. 3. Схема наземного стенда

Для апробации метода калибровки разработана структура одноосного наземного стенда полунатурного моделирования (рис. 3). Чувствительные массы бортового градиентометра представлены в виде фрагментов электропроводящих металлов правильной формы, подвешенных на нерастяжимых нитях. Аналогом бортового стенда калибровки будет система, состоящая из калибровочного тела и платформы для его перемещения в непосредственной близости от одной из масс, что приводит к локальному изменению гравитационного градиента. Вследствие этого расстояние между массами изменится. Это изменение будет фиксироваться высокоточным дальномером и сравниваться с проектным значением, вычисленным с использованием данных о параметрах наземного стенда и заданного перемещения КТ.

### Полученные результаты математического моделирования и экспериментальных исследований

Для оценки параметров стенда выполнено математическое моделирование, результаты которого представлены на рисунке 4. При этом сформировано требование к значению взаимного перемещения ЧМ в 10 нм при перемещении КТ, так как серийные средства измерения перемещения имеют погрешность в 1 нм.

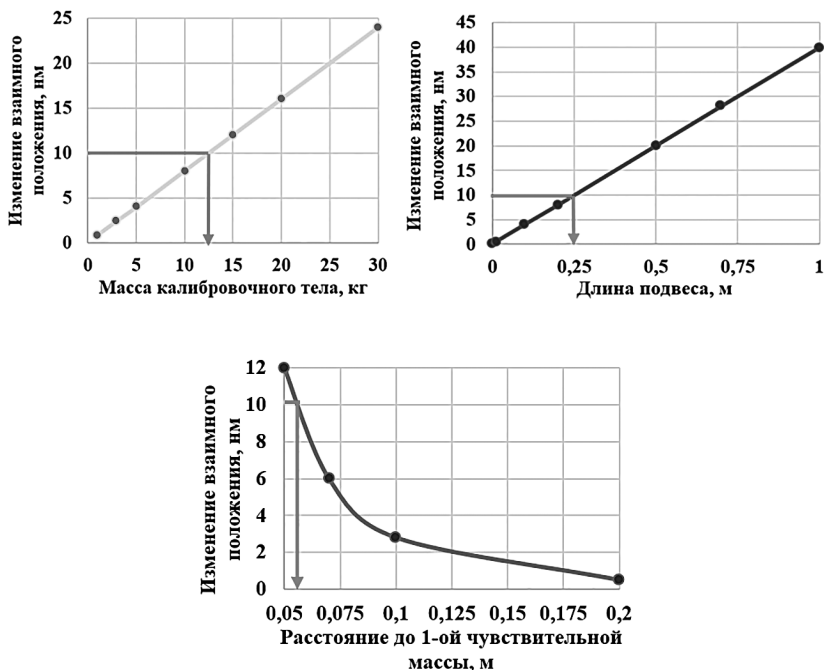


Рис. 4. Результаты математического моделирования параметров наземного стенда

На основе полученных данных разработана конструкция и выполнено изготовление наземного лабораторного стенда (рис. 5). Пробные массы выполнены из меди, имеют цилиндрическую форму и весят по 745 грамм. Массы подвешиваются на нитях из латуни диаметром 0,2 мм к конструкции, выполненной из профилей. К этой конструкции со всех сторон был прикреплен термокожух для стабилизации изменения температуры и исключения влияния потоков воздуха. Для оценки перемещения ЧМ используется емкостная измерительная система с погрешностью 1 нм (рис. 5а). В непосредственной близости от стенда располагается калибровочное тело массой 18,705 кг, выполненное из вольфрам-рениевого сплава (рис. 5б). Рядом с массой установлена платформа для перемещений, на которой закреплен специально изготовленный штوك для перемещения КТ.

Для изменения гравитационного градиента использовались циклические перемещения положения КТ на частоте 0,206 Гц, что кратно

а) Взаимное размещение датчиков двух пробных масс



б) Калибровочное тело и система его перемещения



Рис. 5. Наземный стенд

собственной частоте колебаний чувствительной массы. Величина перемещения КТ составила 2 см. С учетом параметров собранного стенда ожидаемое гравитационное изменение расстояния между ЧМ составит  $21 \pm 6,5$  нм. На рисунке 6 представлено наложение спектров взаимного движения ЧМ в спокойном состоянии и при движениях КТ. Амплитуда взаимного перемещения ЧМ увеличилась на 24 нм, что лежит в пределах допустимых значений вычисленного перемещения.

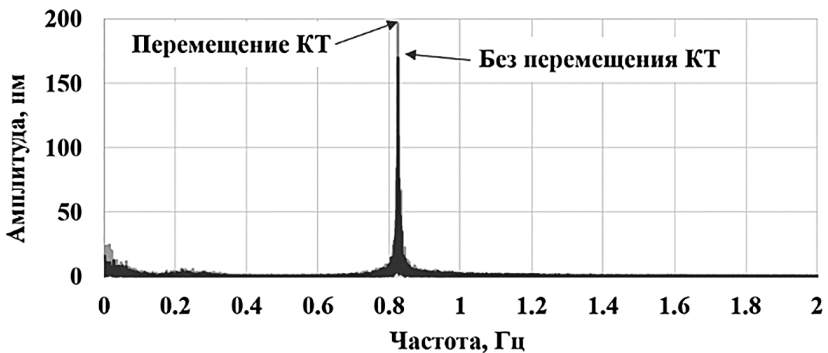


Рис. 6. Изменение амплитуды колебаний на частоте собственных колебаний



## **Выводы**

1. Обоснован новый метод гравитационной калибровки космических градиентометров.
2. Обоснована структура и характеристики бортового стенда.
3. Создан и испытан наземный лабораторный стенд.
4. Результаты испытаний наземного лабораторного стенда подтвердили правильность принятых технических решений и алгоритма обработки данных.

## **Литература**

1. Stummer C., Siemes C., Pail R. et al. Upgrade of the GOCE Level 1b gradiometer processor // *Advances in Space Research*. 2012. Vol. 49. P. 739–752.
2. Давлатов Р.А., Сильвестров И.С., Фатеев В.Ф. Методы калибровки космических гравитационных градиентометров // *Измерительная техника*. 2020. № 1. С. 5–11.
3. Лазерный космический гравитационный градиентометр. Фатеев В.Ф., Денисенко О.В., Сильвестров И.С., Давлатов Р.А. Патент на изобретение 2754098 С1, 26.08.2021. Заявка № 2021102273 от 01.02.2021.

# ОДНОФОТОННЫЙ КОМПАРАТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБРАТНЫХ ПОТЕРЬ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

К. В. Заяц, С. Б. Бычков

ФГБУ «ВНИИОФИ», Москва, Российская Федерация

Тел.: + 7(985) 965 18 51

E-mail: zaiats@vniiofi.ru

## **Аннотация**

*Волоконно-оптическая связь — одна из динамично развивающихся технологий современности. Потребность крупных городов в высокоскоростном доступе к сети Интернет, активно внедряемые проекты цифровизации и информатизации различных сфер жизни способствуют росту сетей оптической связи, усложнению применяемых технологий и повышению требований к качеству связи. Для нужд оптической связи разработано большое количество контрольно-измерительных приборов, метрологическое обеспечение которых необходимо для существования всей цифровой инфраструктуры. Развитие контрольно-измерительной аппаратуры бросает новые вызовы системе метрологического обеспечения. В работе рассмотрены проблемы, связанные с метрологическим обеспечением измерителей распределенных обратных потерь для волоконно-оптических систем передачи информации в части увеличения динамического диапазона и пространственного разрешения. Предложена метрологическая установка с однофотонным компаратором мощности оптического излучения в схеме OTDR-измерителя (оптического рефлектометра, работающего во временной области). Проведены исследования, направленные на разработку метода измерений распределенных обратных потерь, позволяющего обеспечить прослеживаемость рассматриваемой единицы к государственному первичному специальному эталону единиц длины и времени распространения сигналов в световоде, средней мощности, ослабления, длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации.*

## **Актуальность в научном или прикладном значении**

Одной из важных характеристик волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и волоконно-оптических (ВО) устройств является уровень создаваемых ими обратных потерь (return loss) — величины, равной отношению мощности создаваемого в устройстве сигнала

обратного рассеяния к мощности оптического сигнала на входе устройства. Сигналы обратного рассеяния могут вызывать нестабильности и шумы в лазерных излучателях, используемых в волоконно-оптических системах связи, что может приводить к сбоям в работе телекоммуникационного оборудования или даже выходу лазерных излучателей из строя, из-за чего измерители обратных потерь находят широкое применение в измерительной технике волоконно-оптической связи. Для метрологического обеспечения данных приборов в РФ используются рабочие эталоны обратных потерь в волоконно-оптических системах передачи. Единица прослеживается к «Государственному первичному специальному эталону единиц длины и времени распространения сигналов в световоде, средней мощности, ослабления, длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2011» [1, 2]. Применяемые рабочие эталоны позволяют осуществлять передачу единицы интегральных обратных потерь в ВОЛС, характеризующих обратные потери всех компонентов ВО-линии. В последние годы появляется все больше измерительных приборов, предназначенных для измерения распределенных обратных потерь — потерь от заданного участка ВО-линии, таких как оптические соединительные разъемы или ВО-ответвители. В интересах развития эталонной базы волоконной оптики и обеспечения единства измерений распределенных обратных потерь в ФГБУ «ВНИИОФИ» были проведены исследования, направленные на разработку метода измерений распределенных обратных потерь, позволяющего обеспечить прослеживаемость рассматриваемой единицы к государственному первичному эталону.

### **Цель работы**

Разработка и опробование метода измерений распределенных обратных потерь в ВОСП, позволяющего обеспечить прослеживаемость единицы от «Государственного специального эталона средней мощности, ослабления, длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2011» в интересах развития эталонной базы для измерительной техники волоконно-оптической связи. Решить эту задачу предлагается при помощи «однофотонного компаратора» — устройства, использующего однофотонный фотодетектор для регистрации оптического сигнала обратного рассеяния от заданного участка ВО-линии.

## Научная новизна или практическая (прикладная) значимость

В настоящее время далеко не все измерители обратных потерь, применяющиеся в отрасли ВО-связи, могут быть метрологически обеспечены. В работе представлен подход, который может позволить решить данную проблему, и измерительная установка, демонстрирующая применимость.

### Задачи работы

При выполнении работы были решены следующие задачи:

- выполнен анализ технических и метрологических характеристик парка используемых измерителей обратных потерь в ВОСП,
- предложен метод измерения распределенных обратных потерь на основе оптической рефлектометрии во временной области, в динамическом диапазоне и с пространственным разрешением, соответствующим характеристикам современных образцов измерителей обратных потерь,
- собрана измерительная установка, на которой данный метод был опробован.

### Суть работы

Метод измерения обратных потерь в ВОСП, лежащий в основе используемых в настоящее время рабочих эталонов, основан на т. н. измерении на непрерывном оптическом излучении (CW-измерении). Схема, поясняющая принцип работы CW-измерителя, представлена на рисунке 1.

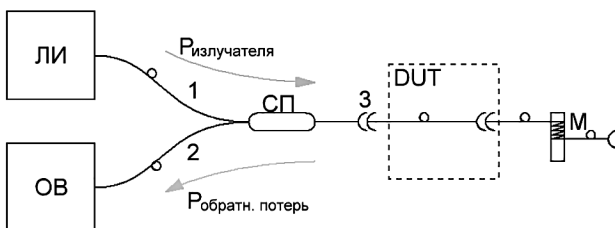


Рис. 1. Схема измерителя обратных потерь, работающего по методу измерения непрерывного (CW) сигнала: ЛИ — стабилизированный источник непрерывного оптического излучения, ОВ — оптический ваттметр, СП — сплиттер оптический (разветвитель сварной), DUT — волоконно-оптический разъем, обратные потери от которого необходимо определить, М — мандрель

Стабилизированный по средней мощности и длине волны лазер ЛИ излучает постоянную, известную оптическую мощность  $P_{\text{л}}$  [дБм], поступающую через ветвь 1 сплиттера СП на выход 3, к которому подключается тестируемое волоконно-оптическое устройство или ВОЛС. При этом СП вносит потери  $A_{13}$  в сигнал, и в ветвь 3 поступает мощность  $P_{\text{л-dut}} < P_{\text{л}}$ . При прохождении излучения через оптический тракт часть его отражается назад, рассеиваясь на неоднородностях среды передачи (рэлеевское рассеяние) и отражаясь от зеркальных поверхностей (френелевское отражение). На вход 3 СП поступает сигнал обратного рассеяния и, терпя потери  $A_{32}$  [дБ], поступает на вход оптического ваттметра ОВ.

Таким образом, зная среднюю мощность оптического излучения на выходе ЛИ  $P_{\text{л}}$ , потери  $A_{13}$  и  $A_{32}$ , по показаниям ОВ  $P_{\text{ов}}$  [дБм] можно вычислить значение величины интегральных обратных потерь в тракте по формуле:

$$RL = P_{\text{ов}} - P_{\text{л}} - A_{13} + A_{32} - \alpha \quad (\text{дБ}), \quad (1)$$

где  $\alpha$  (дБ) — величина потерь на оптическом разъеме, соединяющем DUT и выходную ветвь сплиттера, считается постоянной.

Измеряемые таким образом потери создаются всеми оптическими компонентами, входящими в волоконно-оптическую линию. Для того, чтобы определить обратные потери от заданного участка линии, например от места соединения оптических разъемов (DUT), используют метод внесения прямых потерь в волоконно-оптическую линию путем намотки оптического волокна на малый диаметр — 8–10 мм [3]. Такой участок ОВ не создает дополнительных обратных потерь, уменьшая сигнал обратных потерь от находящихся после него оптических компонентов. Так, 5–7 витков намотки снижают обратные потери от следующего за мандрелью участка ВО-линии более чем на 70 дБ.

Таким образом, например, в схеме, показанной на рисунке 1, для измерения значения величины обратных потерь от волоконного разъема DUT необходимо при помощи мандрели М убрать обратные потери от участка трассы, расположенного после DUT, и измерить величину интегральных обратных потерь  $RL_{\text{summ}}$  [дБ] от DUT и участка трассы перед ним, затем измерить величину  $RL_{\text{before}}$  [дБ] от участка трассы перед DUT, намотав на мандрель волокно между измерителем

и DUT, и вычислить величину обратных потерь  $RLD_{UT}$  от разъема путем вычитания второй величины из первой по формуле:

$$RL_{DUT} = RL_{summ} - RL_{before} \text{ (дБ)}. \quad (2)$$

Описанный CW-метод измерения обратных потерь в оптическом волокне прост в реализации, а величина потерь, измеренная таким способом, прослеживается к государственному специальному эталону единицы средней мощности и ослабления в оптическом волокне. Однако диапазон измерения обратных потерь описанным способом определяется «нулевым уровнем» сигнала обратных отражений, обусловленных потерями, прежде всего, от ВО — разветвителя и выходного разъема. Проведенные исследования показали, что данные потери не могут составлять менее 70 дБ и увеличиваются в процессе эксплуатации прибора, уменьшая динамический диапазон рабочего эталона. Это не позволяет производить метрологическую аттестацию современных измерителей обратных потерь, работающих на принципах рефлектометрии во временной и частотной областях во всем динамическом диапазоне, и заставляет искать новые подходы к конструкции рабочих эталонов обратных потерь.

Современные измерители распределенных обратных потерь, работающие на принципах оптической рефлектометрии во временной области (OTDR) и частотной области (OFDR), например приборы MAP-200 (VIAVI, Франция) и Op-940 (OptoTest, США), OVA-5000 (Luna, США), лишены описанных недостатков и позволяют измерять обратные потери ВОЛС на заданном участке диапазоне более 80 дБ. Пространственное разрешение OTDR-приборов может составлять единицы см, а OFDR-приборов — десятки микрометров. Необходимо отметить, что 80 дБ — это уровень обратных потерь, создаваемых 1 метром одномодового оптического волокна без дефектов за счет рэлеевского рассеяния. Поэтому уменьшение пространственного разрешения требует увеличения динамического диапазона.

Для метрологического обеспечения таких измерителей был предложен оригинальный метод, основанный на применении однофотонного фотодетектора (ОФД) и перестраиваемого оптического аттенюатора с калиброванной шкалой вносимого ослабления в схеме OTDR-рефлектометра. Структурная схема предлагаемой установки представлена на рисунке 2.

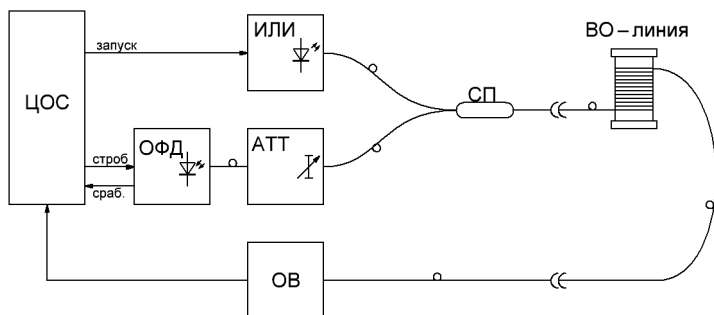


Рис. 2. Структурная схема предлагаемого OTDR-измерителя:  
 ИЛИ — импульсный лазерный излучатель, СП — волоконно-оптический сплиттер, АТТ — волоконно-оптический перестраиваемый аттенуатор, ОФД — однофотонный фотодетектор, ОВ — оптический ваттметр, ЦОС — аппаратура управления и цифровой обработки сигналов

На выходе «запуск» ЦОС формируются импульсы модуляции импульсного лазерного излучателя ИЛИ, генерирующего короткие зондирующие импульсы, поступающие через сплиттер СП в исследуемую ВО-линию. На выходе «строб» ГПИ с заданной задержкой  $\tau$  относительно оптического импульса формируется строб-сигнал однофотонного фотодетектора ОФД. Строб-сигнал включает ОФД, «разрешая» ему детектировать фотоны в течение заданного интервала времени, соответствующего длительности оптического импульса ИЛИ. Сигнал обратных потерь поступает из исследуемой ВО-линии через сплиттер СП на вход волоконно-оптического аттенуатора АТТ, где ослабляется до уровня, когда энергия, принимаемая за время включения однофотонного фотодетектора ОФД, сопоставима с энергией одного фотона на длине волны оптического излучения ИЛИ. Измерение скорости счета ОФД производится аппаратурой ЦОС при фиксированной частоте следования зондирующих оптических импульсов, длительности строб-сигналов ОФД. Оптический ваттметр ОВ, показанный на схеме, служит как для определения вносимых потерь ВО-линии, так и для проведения самокалибровки измерителя. Так как ОФД обладает близкими к теоретически возможным характеристиками чувствительности, схема OTDR позволяет уменьшить длительности стробирующих импульсов до наносекундных значений, достигнув тем самым пространственного разрешения менее 10 сантиметров, обеспечить динамический диапазон 90 дБ.

Процесс измерения обратных потерь на описанной установке проходит в две стадии. Сначала к выходу измерителя (выходу сплиттера СП) подключается опорное оптическое волокно, создающее известный уровень обратных потерь от локальной неоднородности на уровне 14 дБ. Атенюатор АТТ настраивается на введение максимального значения вносимых потерь, задержка настраивается на попадание «в строб» ОФД отраженного сигнала от неоднородности опорного оптического волокна, после чего вносимые потери аттенюатора АТТ уменьшаются до уровня, когда на выходе ОФД наблюдается последовательность срабатываний, скорость счета которых на два порядка превышает скорость темнового счета при данных настройках фотодетектора. Значение  $N_{\text{опорн.}}$  [1/с] скорости счета ОФД фиксируется. Затем ко входу установки подключается исследуемая ВО-линия. Подбором задержки строб-сигнала выполняется настройка на регистрацию сигнала, отраженного от интересующего участка линии. Настройкой аттенюатора добиваются скорости счета фотонов на выходе ОФД равной  $N_{\text{опорн.}}$  — скорости счета, как и при регистрации сигнала опорного волокна. Значение обратных потерь определяется как сумма обратных потерь от опорного волокна и изменения вносимых потерь аттенюатора АТТ.

При использовании ОФД и АТТ описанным способом при помощи оптического аттенюатора фотодетектор приводится в состояние, когда средняя энергия, поступающая на его оптический вход за время стробирования, сравнима с энергией одиночного фотона вне зависимости от уровня сигнала на входе аттенюатора, что позволяет фотодетектору работать в одном и том же режиме и нивелирует влияние ложных срабатываний [4]. Метрологически обеспечена в этом случае может быть только шкала аттенюатора, а ОФД имеет стабильные за время проведения измерения характеристики чувствительности, не определенные точно. Измеренные таким образом значения обратных потерь прослеживаются к государственному специальному эталону ГЭТ 170-2011 через величину вносимого ослабления аттенюатора, а пространственное разрешение — через длительность стробирующих импульсов ОФД.

### **Полученные результаты**

Описанные установка и метод измерения распределенных обратных потерь показали работоспособность применительно к описанной



задаче метрологического обеспечения измерителей обратных потерь для ВОСП. Данный метод может быть использован при разработке рабочего эталона обратных потерь в ВОСП.

### Литература

1. Глазов А. И., Иванов В. С., Кравцов В. Е. и др. Метрологическое обеспечение измерений параметров волоконно-оптических систем передачи информации // Измерительная техника. 2010. № 7. С. 43–49.
2. Батурин А. С., Иванов В. С., Кравцов В. Е. и др. Метрология волоконно-оптических систем передачи информации: особенности, история, современное состояние и перспективы развития // Фотон-экспресс. 2020. № 8 (168). С. 6–15.
3. Application Note, VIAVI, Comparing Optical Return Loss (ORL) Measurement Methods. [Электронный ресурс] <https://www.viavisolutions.com>, <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/comparing-optical-return-loss-orl-measurement-methods-application-notes-en.pdf>
4. Бычков С. Б., Королев И. С., Тихомиров С. В., Борисова А. В. Результаты исследований квантовой эффективности однофотонных фотодетекторов с учетом вероятностей темнового счета и послеимпульсов для задач метрологического обеспечения квантово-криптографических систем // Фотон-экспресс. 2022. № 5 (181). С. 15–17.

# ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ НА БОРТУ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**В. П. Лопатин**

ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область,  
поселок Менделеево, Российская Федерация  
Тел.: + 7 (903) 745 00 58  
E-mail: lopatin@vniiftri.ru

## **Аннотация**

*По сравнению с воздушными и морскими носителями наземное транспортное средство, используемое для целей измерения ускорения свободного падения, является более динамичным объектом, поскольку имеет более широкий спектр кинематических ускорений. Учитывая более низкую скорость наземного транспортного средства, измерения в таких условиях могут иметь перспективы для получения гравитационных данных высокого разрешения в локальных регионах. Известные конструкции воздушных и морских гравиметров и их алгоритмы обработки при размещении на борту наземного транспортного средства для построения наземных карт ускорения свободного падения (УСП) неприменимы. В связи с этим при использовании гравиметра с большим динамическим диапазоном разработан метод компенсации дорожных вибраций на основе измерения мешающих ускорений. Это позволит проводить измерения УСП с высокой точностью и высоким пространственным разрешением. В работе приведены данные экспериментальных исследований по компенсации дорожных вибраций при измерениях гравиметра на борту наземного транспортного средства. Помимо навигационной аппаратуры потребителя ГЛОНАСС/GPS/Galileo/Beidou, предложено использовать лазерный или ультразвуковой датчик текущей высоты транспортного средства и лазерный одомер. Рассмотрены особенности и достоинства каждого измерителя. Оценена степень компенсации.*

## **Актуальность**

Для измерения ускорения свободного падения (УСП) с высокой оперативностью и высоким пространственным разрешением использование наземного транспортного средства является перспективным для решения следующих задач:

— поиск и разведка месторождений полезных ископаемых;

- разработка перспективных комплексных систем навигации по гравитационному полю Земли;
- создание полигонов калибровки перспективных космических геодезических миссий.

### **Цель работы**

Разработка метода компенсации влияния дорожных вибраций при измерении ускорения свободного падения на борту наземного транспортного средства.

### **Прикладная значимость**

На протяжении многих лет в воздушной и морской гравиметрии широко использовались бортовые гравиметры различных конструкций, такие как AIRGrav, GT-1A, GT-2A, GT-2M, Чекан-AM, LCR, SISG, SGA-WZ, CHZ-II, ZL11, SGA-WZ, LCR [1, 2].

По сравнению с воздушными и морскими носителями наземное транспортное средство, используемое для целей измерения УСП, является более динамичным объектом, поскольку имеет более широкий спектр кинематических ускорений. Учитывая более низкую скорость наземного транспортного средства, измерения в таких условиях могут иметь перспективы для получения гравитационных данных высокого разрешения в локальных регионах.

Известные конструкции воздушных и морских гравиметров при размещении их на борту наземного транспортного средства для построения наземных карт УСП неприменимы из-за влияния высокочастотных дорожных вибраций большой амплитуды и большого времени осреднения измерений (не менее 100 с) [3, 4]. В связи с этим при использовании гравиметра с большим динамическим диапазоном предлагается использовать метод компенсации дорожных вибраций на основе измерения мешающих вертикальных ускорений. Это позволит проводить измерения УСП с высокой точностью и высоким пространственным разрешением.

### **Задачи работы**

1. Разработка метода компенсации дорожных вибраций при измерении ускорения свободного падения на борту наземного транспортного средства.

2. Разработка структуры экспериментального измерительного комплекса.
3. Разработка специального программного обеспечения.
4. Проведение экспериментальных исследований, направленных на отработку метода.

### Суть работы

Измерение УСП на борту наземного транспортного средства основано на использовании следующего скалярного соотношения:

$$g = a_{\text{изм.}} + \ddot{R}_{\text{верт.}} - \Delta f_E,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения (УСП),  $a_{\text{изм.}}$  — кажущееся ускорение, измеренное гравиметром,  $\ddot{R}_{\text{верт.}}$  — вертикальная составляющая кинематического ускорения,  $\Delta f_E$  — поправка Этвеша, обусловленная центробежной и кориолисовой силой.

При движении носителя поправку (эффект) Этвеша можно записать в виде:

$$\Delta f_E = \frac{V_E^2}{R_E} + \frac{V_N^2}{R_N} + 2\omega V_E \cos \varphi,$$

где  $V_E, V_N$  — составляющие вектора скорости по широте и долготе,  $R_E, R_N$  — радиус кривизны первого вертикала и меридиана,  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли,  $\varphi$  — геодезическая широта. При движении бортового гравиметра поправка Этвеша может составлять сотни мГал, что значительно превышает полезный сигнал аномалий силы тяжести, который составляет десятки мГал.

Метод компенсации влияния дорожных вибраций при измерении УСП на борту транспортного средства состоит в вычислении  $\Delta f_E$ ,  $\ddot{R}_{\text{верт.}}$  и компенсации этих составляющих в результатах измерений бортового гравиметра.

В составе экспериментального измерительного комплекса, предназначенного для исследования методов компенсации вибрационных ускорений, кроме гравиметра необходимы следующие измерительные средства (рис. 1):

- навигационная аппаратура ГЛОНАСС/GPS/Galileo/Beidou (НАП ГНСС);
- гиростабилизированная платформа (ГСП);

- лазерный одометр для измерения скорости транспортного средства;
- ультразвуковой датчик высоты (УЗВ);
- бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС).

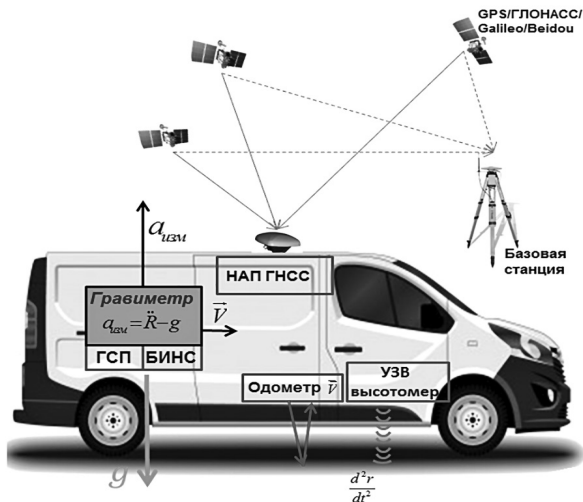


Рис. 1. Размещение средств на борту транспортного средства

При этом вертикальная составляющая кинематического ускорения  $\ddot{R}_{\text{верт.}}$  может измеряться с помощью УЗВ или НАП ГНСС.

Для определения УСП необходимо выделить полезный сигнал ( $g$ ) на фоне помех — сильных вертикальных ускорений ( $\ddot{R} - \Delta f_E$ ). При этом отношение сигнал/помеха может достигать величины менее минус 30 дБ. На рисунке 2 приведены спектры ускорений, полученных при движении транспортного средства. Из спектров видно, что амплитуда отдельных спектральных составляющих достигает  $0,1 \text{ м/с}^2$ , а основные составляющие сосредоточены в области средних (0,01–0,1 Гц) и высоких частот (от 0,1 Гц) (рис. 2а). Спектральные составляющие ускорения, вызванного эффектом Этвеша, сосредоточены в области низких и средних частот (до 0,1 Гц) (рис. 2г). Спектры вертикальных ускорений, вычисленных с помощью измерений УЗВ и НАП ГНСС, лежат в области средних (0,01–0,1 Гц) и высоких частот (от 0,1 Гц) (рис. 2б, г).

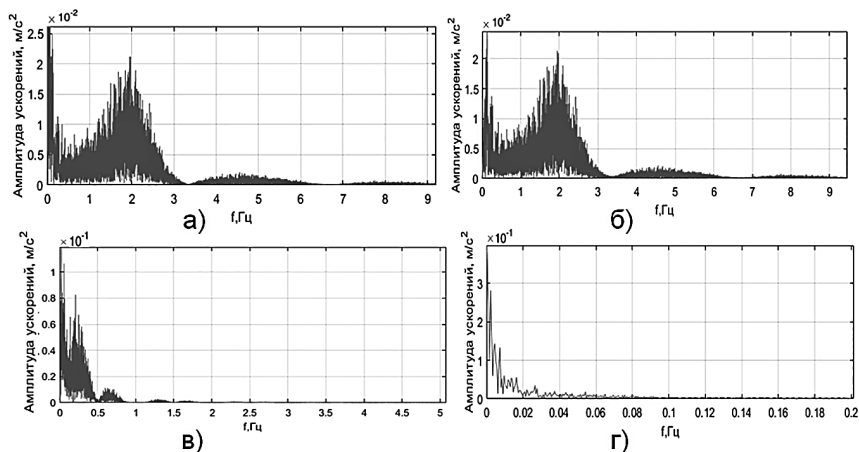


Рис. 2. Спектры измерений: а) гравиметр, б) ультразвуковой датчик высоты, в) НАП ГНСС, г) лазерный одометр с БИНС (поправка Этвеша)

### Результаты экспериментальных измерений

Проверка работоспособности метода компенсации мешающих ускорений была проведена на локальном полигоне. В качестве такого полигона был выбран маршрут на подмосковной дороге А-107. Все элементы измерительного комплекса были установлены внутри и снаружи мобильной испытательной лаборатории ФГУП «ВНИИФТРИ» (рис. 3).

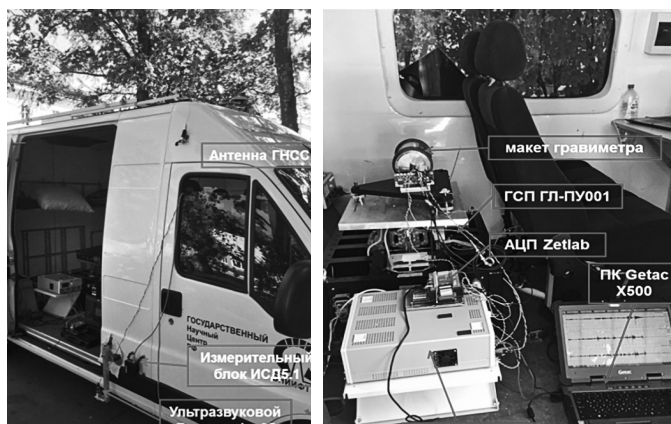


Рис. 3. Установленное оборудование на мобильной лаборатории

Поправки Этвеша были вычислены по измерениям лазерного одометра и БИНС. Данная поправка является помехой, и ее величина достигает значения 150 мГал, что на 2 порядка больше полезного сигнала. Экспериментально проверено, что для уменьшения влияния этой помехи она может быть вычислена на основе измерений бортового лазерного одометра и БИНС или НАП ГНСС с погрешностью менее 0,7 мГал, что является достаточным для построения высокоточных карт УСП.

Вертикальные ускорения, вызванные дорожными вибрациями, измерялись с помощью УЗВ и НАП ГНСС. Компенсация этих помех достигалась введением результатов из измерений в результаты измерений гравиметра в противофазе.

На рисунках 4, 5 представлены результаты измерений макета гравиметра до компенсации и после компенсации вертикальных ускорений с помощью УЗВ (рис. 4) и с помощью измерений НАП ГНСС (рис. 5). Для всех измерений был применен низкочастотный КИХ-фильтр с оконным преобразованием Хэмминга.

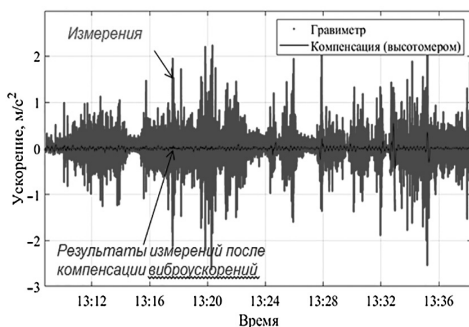


Рис. 4. Компенсация на основе измерений УЗВ (синяя — измерения гравиметра, красная — измерения после компенсации)

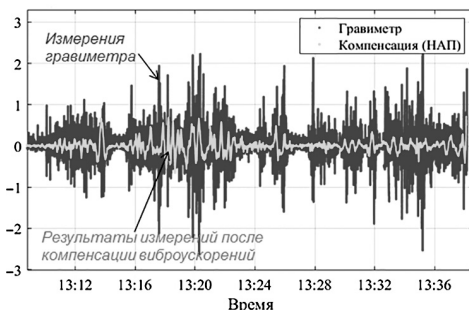


Рис. 5. Компенсация на основе измерений НАП ГНСС (синяя — измерения гравиметра, зеленая — измерения после компенсации)

Уменьшение дорожных вибраций на основе УЗВ составило 190–200 раз. Результаты компенсации вертикальных ускорений по измерениям НАП ГНСС оказались хуже, чем по измерениям ультразвукового датчика высоты, — до 10 раз. Это вызвано снижением точности измерений в связи с большим удалением от базовой станции и ограниченной видимостью спутников, участвующих в обработке.

### **Выводы**

Предложенный метод делает возможным использование гравиметра на борту наземного транспортного средства для измерения УСП при условии компенсации дорожных вибраций на основе использования измерений НАП ГНСС, ультразвуковых датчиков высоты, лазерного одометра и БИНС. При этом:

- составляющие дорожной вибрации с частотой от 0,01 до 10 Гц скомпенсированы примерно в 200 раз;
- низкочастотные составляющие ускорения (поправка Этвеша) могут быть вычислены на основе измерений бортового лазерного одометра и БИНС с погрешностью менее 0,7 мГал.

### **Литература**

1. Wang M., Wu M., Cao J. et al. Strapdown Airborne Gravimetry Quality Assessment Method Based on Single Survey Line Data: A Study by SGA-WZ02 Gravimeter, Sensors (Basel, Switzerland), 18, 2018 10.3390/s18020360.
2. Golovan A. A., Klevtsov V. V., Koneshov I. V. et al. Izvestiya Application of GT-2A gravimetric complex in the problems of airborne gravimetry // Physics of the Solid Earth. 2018. Vol. 54. N 4. P. 658–664.
3. Описание типа Гравиметры GT-2A, GT-2A/1 [Электронный ресурс] <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/370440>.
4. Описание типа Гравиметры мобильные Чекан-АМ [Электронный ресурс] <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/334902>.



# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ РАСШИРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ВОДЕ

Г. С. Лукин

ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область,  
поселок Менделеево, Российская Федерация  
Тел.: + 7 (977) 879 98 74  
Email: lukin@vniiftri.ru

## **Аннотация**

*Ультразвук высокой интенсивности находит широкое применение в медицине, его клинический потенциал продолжают исследовать. Точность дозирования ультразвукового облучения влияет на результаты исследований и их сопоставимость, она важна для обеспечения безопасности пациента и достижения нужного медицинского эффекта, что обуславливает востребованность метрологической прослеживаемости. Для этих целей в ФГУП «ВНИИФТРИ» была разработана установка для воспроизведения и передачи единицы мощности ультразвука от 10 до 200 Вт в частотном диапазоне 0,5–5,0 МГц, впоследствии включенная в состав государственного первичного эталона мощности ультразвука в воде. В установке используют модифицированный калориметрический метод (метод плавучести). Разработанные алгоритмы и программное обеспечение позволили повысить точность измерений, автоматизировать их, сократить их трудоемкость и продолжительность.*

## **Актуальность в научном и прикладном значении**

Продолжают появляться новые терапевтические применения ультразвука, концепции доставки лекарств, основанные на мощном ультразвуке или кавитации, расширяется применение сфокусированного ультразвука высокой интенсивности (High Intensity Focused Ultrasound, HIFU) и терапевтического ультразвука высокой интенсивности (High Intensity Therapeutic Ultrasound, HITU). Метрология особенно важна для разработки и проверки методов определения дозы ультразвука, чтобы раскрыть потенциал терапевтического ультразвука и лучше оценить его безопасность при диагностическом применении. Это поможет в планировании лечения и оценке рисков для пациента [1].

## **Цель работы**

В рамках работы по совершенствованию первичного эталона мощности ультразвука в воде разработать установку для воспроизведения и передачи единицы мощности ультразвука от 10 до 200 Вт для расширения динамического диапазона эталона свыше 12 Вт.

## **Научная новизна, практическая значимость**

Предложен алгоритм для измерения мощности ультразвука методом теплового расширения, позволяющий исключать воздействие влияющих на систематические составляющие неопределенности результата измерения факторов, обусловленные равномерно меняющимися воздействиями, в т. ч. теплотерями поглощающей ультразвуком мишени. Алгоритм применим для измерения мощности ультразвука методом уравнивания радиационной силы. Предложена усовершенствованная конструкция калориметрической мишени с изменяемой плавучестью, что позволило исключить влияние сложно учитываемых источников теплотер. Предложенные решения реализованы при разработке и исследовании эталонной установки ЭИМУ-4.

## **Задачи работы**

1. Разработать эталонную установку и технологию изготовления калориметрической мишени с изменяемой плавучестью.
2. Исследовать влияние элементов установки и применяемых в ней материалов на неопределенность результата измерений.
3. Разработать алгоритмы и программное обеспечение, позволяющие уменьшить систематические составляющие неопределенности, вызванные изменяющимися условиями окружающей среды и теплотерями калориметрической мишени. Автоматизировать работу установки.
4. Исследовать метрологические характеристики и оценить вклады источников неопределенности.

## **Суть работы**

Основой для создания эталонной установки послужил модифицированный метод теплового расширения (метод плавучести, калориметрический метод), описанный A. Show и указанный в пункте 7 и приложении D IEC62555:2013. Мощность ультразвукового излучения определяется по времени облучения и изменению кажущейся

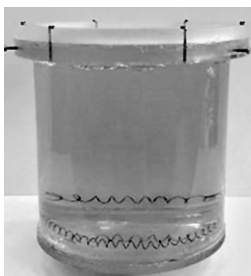


Рис. 1. Поглощающая ультразвук мишень

массы погруженной в воду поглощающей ультразвук мишени (далее мишень). Изменение температуры мишени приводит к изменению ее плавучести, таким образом, количество тепла, выделяющееся в мишени при ее облучении ультразвуком, пропорционально изменению ее кажущейся массы [2–4].

Мишень (рис. 1) состоит из цилиндрической чаши из оргстекла, наполненной поглощающей ультразвук жидкостью (касторовое масло). Поверхность чаши, обращенная к излучателю ультразвука, закрыта натянутой полиэтиленовой пленкой толщиной 5 мкм. Кажущаяся масса мишени в воде 42,5 г при температуре 23 °С. Для измерения зависимости изменения кажущейся массы от количества поглощенной теплоты (далее коэффициент чувствительности) в мишень встроена нагревательная спираль.

Коэффициент чувствительности мишени определяют по изменению ее кажущейся массы при дозированном нагреве. Поскольку сопротивление спирали изменяется во время нагрева, для измерения мощности одновременно измеряют ток и напряжение на концах спирали, используя четырехпроводную схему измерений. Если провода, подключенные к мишени, натянуты, то показания весов могут быть искажены, в установке натяжение проводов не допускается.

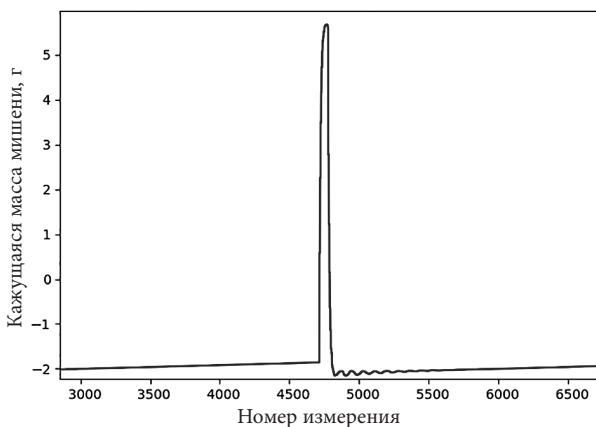


Рис. 2. Изменение кажущейся массы мишени при однократном воздействии ультразвука мощностью 110 Вт в течении 5 с

Зависимость кажущейся массы мишени от времени (рис. 2) регистрируют с помощью полумикровесов с разрешением 0,01 мг и частотой регистрации показаний 10 Гц. Коэффициент чувствительности мишени 0,360 мг/Дж  $\pm$  1%. Исходя из справочных данных и массы касторового масла внутри мишени его теплоемкость оценена в 1300 Дж/К, отсюда следует, что изменение средней температуры воды или масла на  $2,1 \times 10^5$  К станет причиной изменения кажущейся массы на 0,01 мг. На показания весов негативно влияют вибрации, потоки воздуха, нестабильность температуры и скорости испарения воды. Чтобы уменьшить влияние этих факторов и стабилизировать его, разработаны и изготовлены виброустойчивые основания и ветрозащитный кожух с двумя слоями изоляции, применена система плавного регулирования температуры и влажности воздуха в помещении, что снизило колебания показаний весов при длительном отсутствии воздействия на мишень с  $\pm 8$  до  $\pm 0,05$  мг.

Результаты выполненных исследований акустических свойств материалов и самой мишени показали необходимость учета доли проходящей сквозь мишень энергии ввиду не полного ее поглощения в касторовом масле. Доля не улавливаемой мишенью энергии составила 0,5% на частоте 600 кГц, с ростом частоты это значение уменьшается. Для повышения коэффициента поглощения мишени на ее дно помещен полиуретановый материал с высоким коэффициентом поглощения, коэффициентом теплового расширения 0,145 мг/Дж  $\pm$  1%, теплопроводностью меньшей теплопроводности касторового масла в 4,5 раза  $\pm$  20%. Благодаря этим свойствам поверхность полиуретана нагревается и передает тепло более холодному касторовому маслу, что снижает долю не уловленной энергии на частоте 600 кГц как минимум до 0,2%.

Экспериментально установлено, что интенсивный нагрев масла в фокальной области фокусирующего ультразвукового преобразователя приводит к изменению его вязкости и плотности, достаточному для конвекции нагретого объема масла к тонкой пленке, закрывающей поверхность мишени. Конвекция масла увеличивает теплотери и изменяет описывающий их переходный процесс, который невозможно точно отслеживать, т.к. в момент облучения на мишень воздействует радиационная сила и вызванные ее воздействием переходные процессы, влияние которых на кажущуюся массу мишени многократно выше. С целью препятствия конвекции и улучшения

равномерности изменения скорости теплопотерь мишени внутри ее объема была установлена дополнительная камера для масла, закрытая сверху тонкой термостойкой пленкой.

Для повышения точности измерения изменения кажущейся массы мишени, вызванного ультразвуковым излучением, необходимо знание зависимостей, описывающих изменение кажущейся массы мишени от времени: до начала ультразвукового воздействия, во время и после него. Это позволит учесть долю энергии, полученной во время облучения мишени и скрытой возросшими теплопотерями. Получение зависимости изменения кажущейся массы во время облучения мишени осложнено, поскольку обычно оно длится непродолжительное время, в которое на мишень воздействует радиационная сила, воздействие которой значительно изменяет кажущуюся массу мишени и вызывает достаточно продолжительный процесс уравнивания показаний весов. По результатам нагрева доработанной мишени сфокусированным ультразвуковым пучком мощностью около 100 Вт в течении 30 секунд теплопотери мишени нарастают по закону, близкому к линейному, и могут быть рассчитаны на основе данных о теплопотерях до и после облучения мишени.

Для уменьшения не связанных с облучением мишени колебаний кажущейся массы в алгоритме предусмотрена фильтрация данных показаний весов. После фильтрации данные используются для расчета изменения кажущейся массы мишени вследствие ее нагрева с учетом происходивших теплопотерь. Моменты времени, по которым рассчитываются теплопотери мишени, рассчитываются по алгоритму на основе происходивших переходных процессов и параметров цифровой фильтрации.

На основе упомянутых выше результатов были разработаны алгоритмы, позволяющие уменьшить систематические составляющие неопределенности, вызванные изменяющимися условиями окружающей среды, в т. ч. обусловленные динамически меняющимися теплопотерями мишени. Разработанные алгоритмы реализованы в программно-аппаратном комплексе, обеспечивающем автоматизированные измерения мощности ультразвука методом плавучести, а также измерения методом уравнивания радиационной силы. Программно-аппаратный комплекс позволяет осуществлять настройку и автоматическое управление приборами, сбор, обработку, хранение и отображение измерительной информации.

Результатом проделанной работы стала эталонная установка ЭИМУ-4. Проведены ее метрологические исследования, составлен бюджет неопределенности, рассчитаны значения НСП и СКО. Установка аттестована в составе государственного первичного эталона единицы мощности ультразвука в воде ГЭТ 169-2019 для воспроизведения и передачи единицы мощности ультразвука в воде от 10 до 200 Вт в частотном диапазоне 0,5–5,0 МГц. СКО (при  $n = 10$ ) лежат в пределах от 1 до 3%. Расширенная неопределенность при коэффициенте охвата  $k = 2$  составляет от 4,5 до 6,6%.

### Полученные результаты

1. Разработана эталонная установка.
2. Проведены исследования элементов установки и свойств материалов, применяемых в термочувствительной мишени, следствием которых стала их доработка.
3. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение, применение которых позволило уменьшить систематические составляющие неопределенности, вызванные изменяющимися условиями окружающей среды, в т. ч. обусловленные динамически меняющимися теплопотерями мишени.
4. Проведено исследование метрологических характеристик и анализ источников неопределенности. Эталонная установка аттестована в составе государственного первичного эталона.

### Литература

1. Strategy 2017 to 2027 Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound, and Vibration (CCAUV). [Электронный ресурс] <https://www.bipm.org/utis/en/pdf/CCAUV-strategy-document.pdf>
2. ГОСТ Р МЭК 62555-2015 Мощность ультразвука в жидкостях. Общие требования к методикам измерений терапевтических преобразователей и систем высокой интенсивности: межгосударственный стандарт: дата введения 2016-10-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2019. 45 с.
3. Shaw A. A buoyancy method for the measurement of total ultrasound power generated by HIFU transducers // *Ultrasound in medicine & biology*. 2008. Vol. 348. P. 1327–1342.
4. Rajagopal S., Shaw A. The buoyancy method — a potential new primary ultrasound power standard // *Metrologia*, 2012. Vol. 49. P. 327–339.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТАХ СВЧ ДИАПАЗОНА

А. И. Матвеев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Московская область,  
поселок Менделеево, Российская Федерация  
Тел.: + 7 (495) 526 63 52  
E-mail: mtvv@vniiftri.ru

## Аннотация

*Для повышения точности передачи мощности электромагнитных колебаний в волноводных трактах разработан многозондовый преобразователь оконечного типа, входящий в состав волноводного термисторного ваттметра. Точность передачи мощности предложено увеличивать путем уменьшения коэффициента отражения входа ваттметров оконечного типа и погрешности из-за рассогласования. Изготовлены и экспериментально исследованы макеты волноводных термисторных ваттметров с многозондовыми преобразователями в СВЧ диапазоне. Показано, что данные ваттметры можно использовать в качестве вторичных эталонов для передачи единицы мощности электромагнитных колебаний или как исходное средство измерений в составе рабочих эталонов.*

Волноводные термисторные ваттметры используются в диапазоне частот от 5,64 до 37,5 ГГц для измерений мощности и отношения мощностей электромагнитных колебаний на выходе генераторов, прямо-передающих устройств, а также при градуировке и настройке СВЧ-трактов. Применение многозондовой системы термисторов позволяет регулировать коэффициент отражения входа преобразователя мощности. Схема преобразователя представлена на рисунке 1.

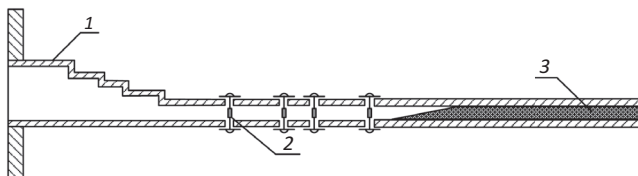


Рис. 1. Схема многозондового термисторного волноводного преобразователя оконечного типа: 1 — волноводный ступенчатый переход; 2 — термисторный СВЧ-зонд; 3 — поглощающий элемент

Модуль коэффициента отражения входа преобразователя определяется отражениями от всех его элементов — ступенчатого перехода, терморезистора, а также согласующего элемента  $l$  или короткозамыкателя. Выполнено электродинамическое моделирование ступенчатого перехода волноводного сечения  $11 \times 5,5$  мм. По результатам моделирования изготовлен и исследован макет волноводного многозондового термисторного преобразователя мощности оконечного типа 2. Для минимизации коэффициента отражения входа 3 на всех рабочих частотах волноводных трактов проведена индивидуальная подстройка рабочего сопротивления каждого из четырех термисторов. В результате измерений установлено, что модуль коэффициента отражения входа макета не превышает 0,06 для рабочих частот волноводного тракта.

При использовании многозондового термисторного преобразователя мощности для измерения СВЧ-мощности в составе волноводного ваттметра необходимо определить калибровочный коэффициент разработанного макета ваттметра оконечного типа. Для определения калибровочного коэффициента применяют эталонный ваттметр проходного типа (эталонный калибратор мощности), к выходу которого присоединяют калибруемый преобразователь [4].

Значение калибровочного коэффициента  $K_k$  определяется по формуле

$$K_k = \frac{N_{\text{во}}}{P_{\text{э}}} \cdot \frac{1}{|1 - \Gamma_{\text{э}} \Gamma_{\text{во}}|^2},$$

где  $N_{\text{во}}$ ,  $P_{\text{э}}$  — показания волноводного термисторного ваттметра оконечного типа и эталонного калибратора мощности соответственно;  $\Gamma_{\text{во}}$ ,  $\Gamma_{\text{э}}$  — комплексные коэффициенты отражения входа волноводного термисторного преобразователя оконечного типа и эталонного калибратора мощности соответственно.

Результаты измерений калибровочного коэффициента и доверительные границы погрешности его значений приведены на рисунке 2.

Результаты исследований макета волноводного термисторного ваттметра поглощаемой мощности с многозондовой системой термисторов экспериментально подтвердили значительное улучшение его технических характеристик по сравнению с прототипами. Применение многозондовой системы в ваттметрах оконечного типа позволило уменьшить коэффициент отражения входа до 0,01 и, таким обра-



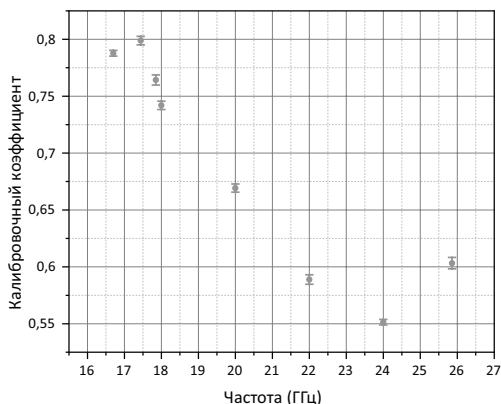


Рис. 2. Калибровочный коэффициент ваттметра оконечного типа волноводного термисторного для тракта 11×5,5 мм

зом, уменьшить до 1,2% доверительные границы относительной погрешности калибровочного коэффициента. Разработанный ваттметр может быть использован для в качестве эталонов сравнения для передачи размера единицы мощности электромагнитных колебаний.

## Литература

1. Многозондовый преобразователь мощности оконечного типа: пат. RU191197 U1 / А. И. Матвеев, В. А. Перепелкин, В. А. Семенов, И. П. Чирков // Изобретения. Полезные модели. 2019. № 22.
2. Матвеев А.И., Перепелкин В. А. Эталоны-переносчики мощности СВЧ в волноводных трактах на основе многозондовых преобразователей // Альманах современной метрологии. 2019. № 2 (18). С. 65–72.
3. Furrer J. Traceable Source Match Calibration of RF & MW Generators, 32st ANAMET Meeting, October 2009, Teddington, UK [Электронный ресурс] URL: [http://resource.npl.co.uk/docs/networks/anamet/members\\_only/meetings/32/20091016\\_anamet32\\_furrer.pdf](http://resource.npl.co.uk/docs/networks/anamet/members_only/meetings/32/20091016_anamet32_furrer.pdf) (дата обращения: 14.12.2021).
4. Clagu F. A Calibration Service for Reference Standards for Microwave Power, NIST Technical Note 1374, 1995. [Электронный ресурс] URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/TN/nbstechnicalnote1374.pdf> (дата обращения: 14.12.2021).

# ENSURING TRACEABILITY AND UNIFORMITY OF MEASUREMENTS IN THE FIELD OF ISOTHERMAL TITRATION CALORIMETRY USING NEW REFERENCE MICROCALORIMETER

K. Mishina

D. I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

Saint Petersburg, Russian Federation

Phone: + 7 (812) 323 96 39

E-mail: k.a.mishina@vniim.ru

## **Abstract**

*The paper discusses the need for development of new means of metrological support in the field of isothermal titration calorimetry. The analysis of publications showed inconsistencies in results obtained on different measuring instruments and with literature data, which indicates the need to develop standardized metrological procedures and tools to ensure the uniformity and reliability of measurements. To address this issue, an approach was proposed using a reference microcalorimeter and certified reference materials to establish metrological traceability chain. At this stage, a reference microcalorimeter was developed and manufactured, its technical and metrological characteristics were studied, and the uncertainty budget for the amount of heat measurements was calculated. The studied characteristics were confirmed through testing the measurement procedure and comparing the obtained results with the literature data. As a result of the research, a new branch of the verification scheme for measuring instruments for the amount of heat in the range from 100 to 5000  $\mu\text{J}$  was proposed, including a reference microcalorimeter, reference materials and measuring instruments. The work lays the foundation for implementing this approach and creating new metrological tools to ensure the quality, reliability, and uniformity of ITC measurements.*

**Key words:** *isothermal titration calorimetry, measurement uncertainty, chemical calibration, State primary standard*

## **1. Introduction**

### **1.1. Relevance**

Since 1990s Isothermal Titration Calorimetry (ITC) has become a commonly used method for determination of reaction enthalpies in

chemical, medical and biological research. With over 500 publications a year featuring results from ITC experiments, particular attention is drawn to ensuring their quality, reliability and uniformity. However, currently available metrological procedures and tools in this field are limited, despite significant efforts being made to address this issue.

The main concern is an observed inconsistency of results among calorimeters and in comparison with literature data [1]. Results obtained in an interlaboratory comparison showed that standard deviations for enthalpy change among participants were about 10 – 20%, significantly exceeding individual precision estimates [2]. Some researchers [3] suggested that this variation is largely due to differences in preparation procedures and materials used by each participant independently and emphasized a need for a primary standard that is stable and easily accessible for end-users.

Currently, general recommendation by IUPAC and ITC manufacturers suggest conducting chemical calibration or validation using common chemicals or manufacturer's test kits to perform a standard reaction [4, 5]. However, in the absence of certified reference materials specifically intended for this purpose, it is unclear if homogeneity and stability of those chemicals and test kits have been confirmed. Additionally, there is often a lack of information on the methods used to establish reference values and their uncertainties, as well as their traceability and the set of data that is being processed. It should be noted that using previously published data as reference should also be done with caution, as in some cases it may be subject to systematic errors and presented with a sufficiently underestimated uncertainty [1, 3–4].

Thus, there is a clear need for metrological procedures and tools in this field. To address this challenge VNIIM calorimetry lab started a project on improvement of the State Primary Special Standard of the unit of amount of heat in the field of solution and reaction calorimetry GET 133. The focus of this work is to present the results of current research and propose promising tasks aimed at solving this problem.

### ***1.2. Goal and objectives***

The goal of the work is to expand functionality and measurement range of the State Primary Special Standard GET 133.

In the course of the work, the following objectives were achieved: design and manufacture of a reference microcalorimeter, study of its metrological and technical characteristics, evaluation of measurement uncertainty and development of a verification scheme.

### 1.3. Scientific novelty and practical importance

A new approach for ensuring traceability and uniformity of measurements in the field of Isothermal Titration Calorimetry was suggested using new reference microcalorimeter.

Practical implementation of this approach will allow developing means and procedures for verification and calibration of isothermal titration calorimeters, validation of measurement results, as well as obtaining precise and reliable thermodynamic data for chemical processes.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Reference microcalorimeter

Reference microcalorimeter MKT is a differential titration heat flow microcalorimeter. Reference microcalorimeter MKT and its schematic diagram are shown in Figure 1.

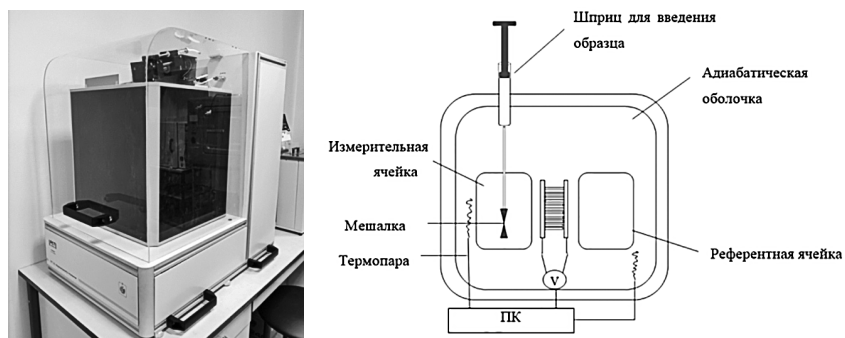


Fig. 1. Reference microcalorimeter MKT (left) and its schematic diagram (right)

The reference microcalorimeter is designed to measure the heat released or absorbed during a chemical reaction in the sample cell. It consists of two cells: a sample cell and a reference cell, that are located within a metal calorimetric block, surrounded by an adiabatic shield. The measurement system controls the temperature of the cells to maintain a temperature difference and voltage on the heat meter close to zero. The principle of operation of the reference microcalorimeter is based on measuring the thermoelectric power that is generated in the heat meter when heat is released or absorbed in the sample cell, causing a heat flux to pass through the heat meter from the sample cell to the massive metal calorimetric block.

Realization of the unit of the amount of heat by the MKT reference microcalorimeter is carried out electrically using the Joule effect and involves determining the energy equivalent of the calorimeter  $\varepsilon$ , W/V in the steady mode and measuring the amount of heat  $Q$ ,  $\mu\text{J}$ , released on the heater when operating in the pulsed mode to simulate the titration process.

When materials are measured to obtain assigned values, the sample is supplied to the measuring cell by a syringe and a chemical reaction occurs with the release or absorption of heat. In the titration simulation mode, an inbuilt heater generates pulses of a given duration and power, which ensures heat release in the range  $Q = 100 \div 5000 \mu\text{J}$ .

In this case, the dependence of the measured voltage on the heat meter on the supplied power is characterized by the Tian equation, and the amount of heat in this mode is calculated by the equation:

$$Q = \varepsilon \int_{t_{out1}}^{t_{out2}} \Delta V(t_{out}) dt_{out}, \quad (1)$$

where  $\Delta V$ — voltage on heat meters, V;  $t_{out}$  — time to return to baseline, s.

## 2.2. Materials

Reference materials certified for mass fraction of propanol-1 were chosen as materials for investigation. During experimental studies of the measurement procedure, solutions of a given concentration were prepared by the gravimetric method without subsequent control by other methods. To prepare a solution with a mass fraction of 2%, 2 g of propanol-1 was taken and 98 g of deionized water obtained on a UPVA-5-1 redistillator was added. Sartorius ME235S scales were used to weigh the samples.

## 2.3. Method for estimating measurement uncertainty

The uncertainty evaluation was made in accordance with [6].

Based on the analysis of equation (1), the absolute combined standard uncertainty of the measured amount of heat was presented as:

$$u_c(Q) = \sqrt{\left(\frac{dQ}{d\varepsilon} u_B(\varepsilon)\right)^2 + \left(\frac{dQ}{d\Delta V} u_B(\Delta V)\right)^2 + \left(\frac{dQ}{dt_{out}} u_B(t_{out})\right)^2 + u_A(Q_{bl})^2 + u_A(Q)^2},$$

where  $u_B(\varepsilon)$ ,  $u_B(\Delta V)$ ,  $u_B(t_{out})$  — type B standard uncertainties for energy equivalent, voltage on heat meters and time, respectively;  $u_A(Q_{bl})$ ,  $u_A(Q)$  — type A standard uncertainties for baseline noise and amount of heat.

Estimates of the input quantities  $\varepsilon$ ,  $R$ ,  $Q_{bl}$  were obtained during preliminary studies; input values  $I$ ,  $\Delta V$ ,  $t_{out}$  — during the experiment.

Type B standard uncertainties  $u_B(\varepsilon)$ ,  $u_B(I)$ ,  $u_B(R)$ ,  $u_B(\Delta V)$ , and  $u_B(t_{out})$  were estimated based on the known characteristics of the equipment used.

The type A standard uncertainty  $u_A(Q_{bl})$  was evaluated during preliminary studies of the noise characteristics of the applied analog-to-digital converter.

The type A standard uncertainty  $u_A(Q)$  was evaluated during the experiment.

### 3. Results

#### 3.1. Evaluation of measurement uncertainty

The uncertainty budget for the amount of heat measurements on the MKT reference microcalorimeter, including estimates of input quantities, is presented in Table 1.

**Table 1. Uncertainty budget for the amount of heat measurements**

Source of uncertainty	Value or interval	Type	Standard uncertainty	Sensitivity coefficient	Contribution to $U_c(Q)$
Energy equivalent, $\varepsilon$ , $W/V$	1,143	B	0,002	$\frac{dQ}{d\varepsilon}$	0,3 ÷ 20,7
Voltage on heat meters, $\Delta V$ , $\mu V$	0,800 ÷ 33,955	B	0,005	$\frac{dQ}{\Delta V}$	1,2 ÷ 2,1
Time to return to baseline, $t_{out}$ , c	400÷735	B	0,001	$\frac{dQ}{dt_{out}}$	<0,1
Quantity of heat, $Q$ , $\mu J$	109÷4980	A	3,1÷10,0	1	3,1 ÷ 10,0
Baseline noise, $Q_{bl}$ , $\mu J$	0,09÷1,06	A	0,06	1	0,06
Combined standard uncertainty, $U_c(Q)$ , $\mu J$					4,1 ÷ 23
Expanded Uncertainty, $U(Q)$ ( $P = 95\%$ ), $\mu J$ (%)					8,5 ÷ 58,7 (1,2 ÷ 8,1)

### 3.2. Testing the measurement procedure

Testing of the measurement procedure was carried out by measuring the integral heat of dilution of a 2% propanol-1 solution ( $n = 2$ ). The obtained average values of the amount of heat of dissolution were  $-1587 \mu\text{J}$ , the integral heat of dissolution was  $0,200 \text{ kJ/mol}$ , and the expanded measurement uncertainty was estimated at 1,4%.

Measurement results were validated by comparative analysis with literature data obtained by various researchers using precision calorimetric devices.

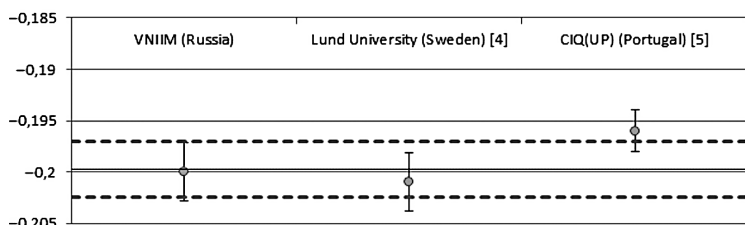


Fig. 2. Comparative analysis of the results of measurements of the heat of dilution of a 2% solution of propanol-1

Comparison of the measurement results allows us to conclude that the obtained measurement results are consistent with the literature data.

### 3.3. Verification and calibration scheme

The developed new branch of the verification scheme includes working standards (reference materials) that are directly traceable to the reference microcalorimeter MKT. Certified values of reference materials are obtained by direct measurements. Measuring instruments should be calibrated or verified using working standards in accordance with the appropriate procedures.

Considering the estimates of measurement uncertainty reported in literature for measuring instruments (5–14%), it should be noted that the characteristics of the MKT reference calorimeter allow to achieve the required ratio of accuracy between verification tool to the verified measuring instrument «1:3».

## 4. Conclusion

VNIIM calorimetry laboratory has finished a project on improvement of the State Primary Special Standard GET 133 in order to expand its

functionality and measurement range. To achieve this goal, a reference microcalorimeter was designed and manufactured, its characteristics were studied, and the measurement uncertainty was estimated. The future plans for this research include developing standardized procedures for calibration and verification, identifying and studying suitable substances as candidates for reference materials, and obtaining precise and reliable data for standard reactions. To complete these objectives, the reactions of diluting solutions of 1-propanol in water, barium salts with dibenzo-18-crown-6, and calcium chloride with ethylenediaminetetraacetic acid were chosen for investigation due to the availability of high-purity materials and the ease of preparing solutions for these reactions.

## References

1. Baranauskiene L. et al. Titration Calorimetry Standards and the Precision of Isothermal Titration Calorimetry Data // *International Journal of Molecular Sciences*. 2009. Vol. 10. N 6. P. 2752–2762.
2. Myszka D. G. et al. The ABRF-MIRG'02 Study: Assembly State, Thermodynamic, and Kinetic Analysis of an Enzyme/Inhibitor Interaction. *Journal of Biomolecular Techniques*. 2003. Vol. 14. N 4. P. 247–269.
3. Velazquez-Campoy A. et al. A multi-laboratory benchmark study of isothermal titration calorimetry (ITC) using  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  binding to EDTA // *European Biophysics Journal*. 2021. Vol. 50. P. 429–451.
4. Adao R. et al. Chemical calibration of Isothermal Titration Calorimeters: An evaluation of the dilution of propan-1-ol into water as a test reaction using different calorimeters, concentrations, and temperatures // *J. Chem. Thermodynamics*. 2012. N 52. P. 57–63
5. Wadso I., Goldberg R.N. Standards in isothermal microcalorimetry (IUPAC Technical Report) // *Pure and Applied Chemistry*. 2001. Vol. 73. N 10. P. 1625–1639.
6. JCGM 100:2008 Reference materials — Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. 2008, 134. P. 11.



# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА МУКИ СОЕВОЙ И ИЗОЛЯТА СОЕВОГО С АТТЕСТОВАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МАССОВОЙ ДОЛИ СОЕВОГО ИНГИБИТОРА ТРИПСИНА И МАССОВОЙ ДОЛИ АЗОТА (БЕЛКА)

О. Е. Первухина, М. П. Крашенинина

УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

Екатеринбург, Российская Федерация

Тел.: + 7(343) 350 60 63

E-mail: pervuhinaoe@uniim.ru

## **Аннотация**

*В соответствии с ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» наличие аллергенов в составе пищевых продуктов подлежит обязательному контролю. Наиболее распространенным материалом, который добавляют в пищевые продукты в рамках технологического процесса с целью повышения содержания белка, являются соевая мука и соевый изолят — производные соевых бобов, которые обладают выраженными аллергенными свойствами и в своем составе имеют соевый ингибитор трипсина — пищевой аллерген. В данной работе представлены: краткая характеристика иммуноферментного метода анализа, подходы к разработке и аттестации методики измерений массовой доли соевого ингибитора трипсина, результаты по созданию стандартных образцов состава муки соевой и изолята соевого с аттестованными характеристиками массовой доли соевого ингибитора трипсина и массовой доли азота (белка).*

Требования к указанию на упаковке пищевой продукции содержания аллергена, вне зависимости от его количества, установлены Техническим регламентом Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011), а также регламентированы в международном документе «Codex Alimentarius» International Food Standarts. Code of practice on food allergen management for food business operators СХС80-2020 Adopted in 2020, подготовленном Комиссией Кодекса Алиментарийс [1, 2].

В соответствии с Международным пищевым кодексом (Codex Alimentarius, свод стандартов Всемирной организации здравоохранения) к продуктам питания с наиболее выраженными аллергенными свойствами относят: коровье молоко, куриное яйцо, пшеницу, арахис,

орехи, соевые бобы, рыбу и морепродукты (ракообразные и моллюски), которые составляют так называемую «большую восьмерку аллергенов» [3, 4, 5, 6]. Для дальнейшего исследования выбрана пищевая аллергия, вызываемая соевыми бобами. В соответствии с [7] аллергенность соевых бобов связана с наличием в их составе соевого ингибитора трипсина (далее — СИТ).

В основу разрабатываемой методики измерений массовой доли СИТ положен иммуноферментный метод, который является рекомендованным методом для определения содержания аллергенов в пищевых продуктах. В основе метода лежит иммуноферментная реакция, в процессе которой меченные антитела к определенному аллергену образуют комплекс, изменяющий цвет продуктов химических реакций с последующим измерением оптической плотности, на основании которой по градуировочному графику находят количество аллергена. Схема методики измерений приведена на рисунке 1.

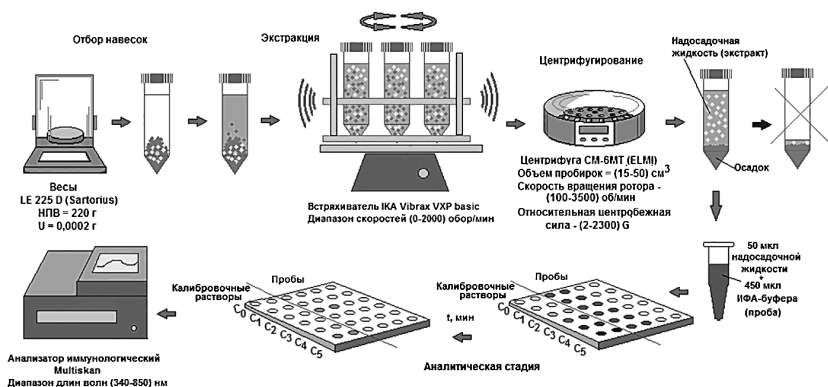


Рис. 1. Схема методик измерений

В ходе разработки методики измерений массовой доли СИТ методом иммуноферментного анализа путем проведения факторных экспериментов оптимизации подвергнуты следующие влияющие факторы: масса навески проб, время экстракции проб, время центрифугирования проб, скорость центрифугирования, соотношение надосадочной жидкости и ИФА-буфера, температура инкубации, длина волны, время реакции СИТ с ТМБ (тетраметилбензидин — окрашивающий агент), максимальное время проведения измерения оптической плотности после введения стоп-реагента.

Установленная методикой измерений длина волны подтверждена путем получения спектра, зависимости оптической плотности от длины волны, на спектрофотометре UV/VIS Excellence модель UV5 Mettler Toledo. Как видно из рисунка 2, длина волны 450 нм соответствует максимальной чувствительности.

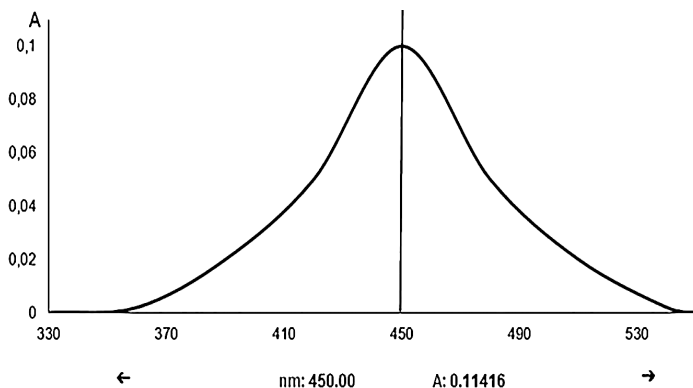


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от длины волны

Аттестация методики измерений массовой доли соевого ингибитора трипсина (далее — СИТ) проведена методом добавок, путем организации межлабораторного эксперимента с привлечением пяти лабораторий. В качестве добавки использованы аттестованные растворы СИТ, приготовленные из стандартного образца состава соевого ингибитора трипсина (Trypsin inhibitor from Glycine max (soybean)) производства фирмы Sigma Aldrich (Merck), который является аккредитованным производителем СО в соответствии с ISO 17034. Результаты измерений массовой доли СИТ на примере одного продукта, полученные разными лабораториями, приведены на рисунке 3.

Актуальность разработки СО с массовой долей СИТ и массовой долей (белка) подтверждается их отсутствием на территории РФ. Наиболее распространенным материалом, который добавляют в пищевые продукты в рамках технологического процесса с целью повышения содержания белка, являются соевая мука и соевый изолят, поэтому именно эти материалы выбраны в качестве материалов-кандидатов в стандартные образцы.

Идентификация проведена при помощи ИК-Фурье спектроскопии. Характеризация материала СО состава муки соевой и изолята соево-

го была проведена с помощью аттестованной методики измерений с применением метода ИФА.

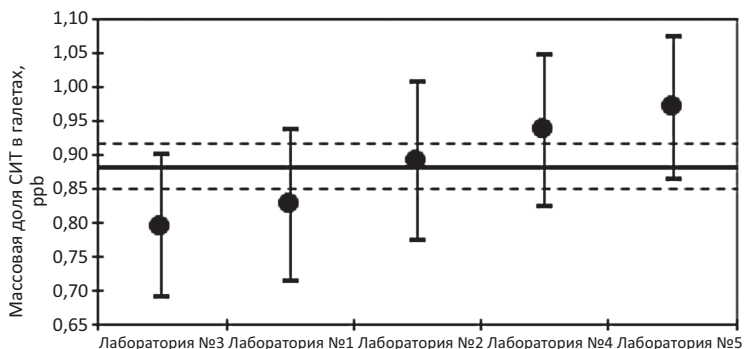


Рис. 3. Межлабораторный эксперимент с применением тест-системы, реализующей метод ИФА, на примере продукта «Галеты классические»

Характеризация материала СО состава муки соевой и соевого изолята по массовой доле азота была проведена с применением Государственного вторичного эталона на основе объемного титриметрического метода анализа ГВЭТ 176-1-2010 методом Кьельдаля.

Оценка неоднородности материала СО проведена с применением метода ИК-Фурье спектроскопии с приставкой НПВО. Метод ИК-Фурье спектроскопии является преимущественным по сравнению с методом титрования, поскольку он неразрушающий, недорогостоящий, а также значительно сокращает время проведения измерений.

Пики, отвечающие за белки, были выбраны исходя из анализа литературных данных [8].

Для оценки неоднородности были представлены пять экземпляров СО состава муки соевой и изолята соевого. Перед проведением измерений была выполнена градуировка по трем разным пробам с разным содержанием массовой доли азота, которая была предварительно измерена с применением ГВЭТ 176-1-2010, далее в пяти параллелях были проведены измерения пяти экземпляров СО. Расчет был выполнен с помощью однофакторного дисперсионного анализа — рассчитана неопределенность от неоднородности.

Исследование нестабильности материала СО состава муки соевой и изолята соевого проведено методом «ускоренного старения» или изохронным методом.

**Таблица 1. Ориентировочные аттестуемые характеристики СО состава муки соевой**

Аттестуемая характеристика	Аттестованное значение	Границы допускаемых значений относительной погрешности при $P = 0,95$ , %	Допускаемое значение относительной расширенной неопределенности при $k = 2$ , %
Массовая доля СИТ, мкг/кг	0,028	$\pm 45$	$\pm 45$
Массовая доля воды, %	5,48	$\pm 5$	5
Массовая доля азота <sup>1</sup> , %	8,60	$\pm 10$	10
Массовая доля белка <sup>1,2</sup> , %	49,11	$\pm 10$	10

<sup>1</sup> Значения указаны в пересчете на абсолютно сухое вещество.

<sup>2</sup> Коэффициент пересчета массовой доли азота на массовую долю белка — 5,71.

**Таблица 2. Ориентировочные аттестуемые характеристики СО состава изолята соевого**

Аттестуемая характеристика	Аттестованное значение	Границы допускаемых значений относительной погрешности при $P = 0,95$ , %	Допускаемое значение относительной расширенной неопределенности при $k = 2$ , %
Массовая доля СИТ, мкг/кг	0,33	$\pm 45$	$\pm 45$
Массовая доля воды, %	7,69	$\pm 5$	5
Массовая доля азота <sup>1</sup> , %	13,56	$\pm 10$	10
Массовая доля белка <sup>1,2</sup> , %	84,75	$\pm 10$	10

<sup>1</sup> Значения указаны в пересчете на абсолютно-сухое вещество.

<sup>2</sup> Коэффициент пересчета массовой доли азота на массовую долю белка — 6,25.

## Выводы

- Впервые разработана и аттестована методика измерений массовой доли соевого ингибитора трипсина в пищевых продуктах методом ИФА с диапазоном измерений от 0,02 до 25 мкг/кг и отн. погрешностью 40%. Внесена в Федеральный информационный фонд.
- В настоящий момент методика измерений внедрена в работу следующих лабораторий: ФГАНУ НИИХП (ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности»), ООО «Макарон-сервис», ООО «Хема», АО «Макфа» (п. Мелькомбинат), АО «Макфа» (п. Рощино), УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».
- Впервые на территории РФ разработаны стандартные образцы состава муки соевой и соевого изолята с аттестованными характеристиками: массовой долей СИТ, массовой долей азота (белка), массовой долей воды, не уступающие по своим метрологическим характеристиками иностранным аналогам (NIST Soy flour SRM 3234).
- Результаты работы открывают перспективы постановки новых тем по организации сличений по определению содержания аллергенов в пищевых продуктах в рамках КООМЕТ или ССQM.
- Результаты работы открывают перспективы разработки стандартизированной методики измерений массовой доли СИТ методом ИФА.

## Литература

1. Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011).
2. «Codex Alimentarius» International Food Standarts. Code of practice on food allergen management for food business operators CXC80-2020 Adopted in 2020.
3. Лепешкова Т. С., Бельтюков Е. К., Наумова В. В. и др. Пищевая аллергия. Диагностика, лечение и профилактика: Учебное пособие. Екатеринбург: УГМУ, 2021. 113 с.
4. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. Пищевая аллергия. 2018. 50 с.
5. Muraro A., Werfel T., Hoffmann-Sommergruber K. et al. EAACI Food Allergy and Anaphylaxis Guidelines Group. EAACI food allergy and anaphylaxis guidelines: diagnosis and management of food allergy // Allergy. 2014. Vol. 69. N 8. P. 1008–25.

6. Sena-Torralba A., Pallás-Tamarit Y., Morais S., Maquieira A. Recent advances and challenges in food-borne allergen detection // Trends in Analytical Chemistry 2020. Vol. 132. doi.org/10.1016/j.trac.2020.116050.

7. Anderson R. L, Wolf W.J. Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing // J. Nutr. 1995. Vol. 125. N 3 Suppl. P. 581S–588S. doi:10.1093/jn/125.3\_Suppl.581S.

8. Pei X., Zhang B., Tang J. et al. Sandwich-type immunosensors and immunoassays exploiting nanostructure labels: A review. Analytica Chimica Acta. 2013. Vol. 758. N 3. P. 1–18.

9. Lee Byeong-Ju, Zhou Yaoyao, Lee Jae et al. Discrimination and prediction of the origin of Chinese and Korean soybeans using Fourier transform infrared spectrometry (FT-IR) with multivariate statistical analysis. 10.1371/journal.pone.0196315.

# ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОРЕЗОНАТОРЫ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ

Е. Д. Суманова<sup>1,2</sup>, А. В. Голованов<sup>1,3</sup>,  
С. А. Тарелкин<sup>1,3</sup>, Н. О. Агафонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «ВНИИОФИ», Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> МФТИ (ГУ), Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБНУ «ТИСНУМ», Москва, Российская Федерация

Тел.: + 7(968) 890 72 95

E-mail: sumanova.ed@phystech.edu

## **Аннотация**

*Компактные оптические резонаторы на чипе обещают произвести революцию во многих областях науки и техники, включая датчики и метрологию оптических измерений. Кольцевые резонаторы из нитрида кремния (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) открывают возможности для генерации частотной гребенки, свойства которой определяются только геометрией резонатора и свойствами материала. Использование тонких пленок из оксида кремния (SiO<sub>2</sub>) с низким показателем преломления в качестве обкладок и кремниевых пластин в качестве основы для чипов позволяет использовать технологическую базу, наработанную для полупроводниковой электроники, для создания интегральных фотонных схем (ИФС).*

*В работе продемонстрирован весь путь создания компактных эталонов разности длин волн: от расчета геометрии резонаторов и конкретных технологических решений по созданию интегральных фотонных схем до экспериментальных измерений их спектров и определения метрологических характеристик.*

*На основе ИФС с кольцевыми резонаторами, имеющими добротность до  $10^5$ , в работе были созданы компактные комб-генераторы на чипе, обеспечивающие воспроизведение спектральных гребенок в широком спектральном диапазоне 600–1700 нм с шагом следования мод не более 1 нм и расширенной неопределенностью воспроизведения мод менее 0,02 нм. Полученные чипы являются ключевыми элементами установки для метрологического обеспечения спектрометрических средств измерений, которая по результатам ОКР вошла в состав Государственного первичного специального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170.*



Метрология идет в ногу со временем и постоянно совершенствует первичные эталоны. Современные стандарты метрологии опико-физических измерений требуют расширения функциональных возможностей Государственного первичного специального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170 в части передачи единицы длины волны спектрометрическим средствам измерений.

В последние годы тенденция к миниатюризации различных приборов привела к парадигме «лаборатории на чипе», когда все функциональные элементы схемы расположены на одной небольшой подложке. Такие приборы отличаются низкой ценой и меньшим энергопотреблением. Когда речь идет о работе со световым излучением, основными рабочими элементами «лаборатории на чипе» являются интегральные фотонные схемы (ИФС) [1]. ИФС широко используются:

- для генерации оптических частотных гребенок в видимом и ИК-диапазонах спектра электромагнитного излучения под воздействием внешнего монохроматического излучения накачки;
- в источниках когерентного излучения и эталонах разности длин волн.

Оптические частотные гребенки полезны в широком спектре применений в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах, например, в частотно-временной метрологии.

Целью работы было создание на основе интегральных фотонных схем компактных эталонов разности длин волн и генераторов оптических частотных гребенок, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах в диапазоне длин волн 600–1700 нм. Для этого были поставлены и решены следующие задачи:

- разработать шаблоны ИФС, обеспечивающие необходимые спектральные характеристики;
- подобрать методы и параметры технологических процессов для изготовления ИФС;
- подобрать методы контроля критических параметров ИФС;
- изготовить рабочие прототипы ИФС и измерить их оптические характеристики.

Основными элементами ИФС являются прямые и изгибающиеся волноводы, кольцевые микрорезонаторы и устройства ввода-вывода излучения. На основе моделей и физики волновой оптики были определены критические параметры ИФС: точные размеры элементов, шероховатость стенок элементов, а также характеристики материалов, из которых они изготавливаются. Для перекрытия широкого спектрального диапазона 600–1700 нм было разработано четыре геометрии оптических резонаторов, соответствующих спектральным поддиапазнам, параметры которых приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Размеры ИФС под видимый и ИК диапазоны**

№ поддиапазона	Спектральный диапазон	Диаметр кольца, мкм	Толщина кольца, мкм	Ширина волновода, мкм	Ширина капли, мкм	Длина тейпера, мкм
1	Видимый	150	0,5	0,5	0,15–0,2	100
2	Видимый	200	0,6	0,6	0,2–0,3	100
3	ИК	300	1,2	1,2	0,5–1,1	100
4	ИК	440	1,2	1,2	0,5–1,1	100

Для сохранения излучения внутри функциональных элементов необходимо обеспечить эффект полного внутреннего отражения на границе волновода с окружающей средой. Известно также, что минимальные потери в волноводе достигаются при условии, что его верхняя и нижняя обкладки имеют одинаковый коэффициент преломления. В связи с этим разработанные ИФС имеют слоистую структуру (рис. 1, табл. 2). В качестве основы были выбраны коммерчески доступные пластины кремния (100) с нанесенным на них слоем термического оксида кремния, который выполняет функцию нижней обкладки. На него методом химического осаждения из газовой фазы, усиленного плазмой (PECVD), наносился слой нитрида кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , из которого методами планарной технологии изготавливались волноводы и другие элементы ИФС. Затем поверх структур методом PECVD наносился оксид кремния  $\text{SiO}_2$ , играющий роль верхней обкладки. Таким образом, за счет того, что показатель преломления нитрида кремния выше показателя оксида кремния  $n_{\text{nitri}} d > n_{\text{oxi}} d_e$ , в волноводах был достигнут эффект полного внутреннего отражения.

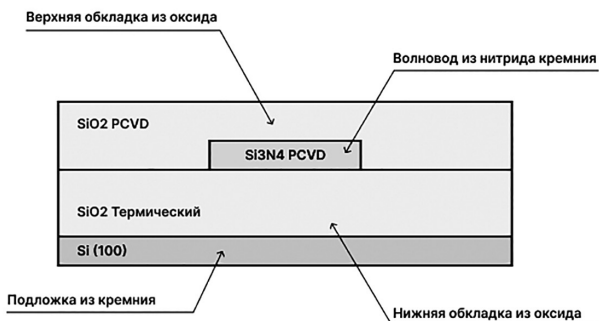


Рис. 1. Схема готового волновода в разрезе

**Таблица 2. Материалы и их характеристики для изготовления ИФС**

Элемент ИФС	Материал	Толщина	Показатель преломления
Основа	Кремний Si (100)	$675 \pm 15$ мкм	–
Нижняя обкладка	Термический оксид кремния $\text{SiO}_2$	$2000 \pm 15$ нм	1,4
Слой волноводов	PECVD нитрид кремния $\text{Si}_3\text{N}_4$	$900 \pm 15$ нм	1,9
Верхняя обкладка	PECVD оксид кремния	$2000 \pm 15$ нм	1,4

Стабильность метрологических характеристик эталона зависит от точности изготовления его размеров. Чтобы обеспечить воспроизводимость размеров функциональных элементов ИФС, для их изготовления были выбраны методы планарной нанотехнологии: электронно-лучевая литография [2] и реактивное ионное травление [3]. Следует отметить, что рассеяние излучения на неровностях границ волновода определяет добротность оптических резонаторов, являющихся основным рабочим телом генератора гребенки. Поэтому при разработке методики изготовления элементов ИФС решалась задача получения трехмерных структур волноводов с минимальной шероховатостью боковых стенок.

Чтобы улучшить качество литографии, подложки отмывались по методу RCA, который удаляет с поверхности как микрочастицы, так и органические загрязнения. Для формирования защитных масок для травления нитрида кремния методом электронной литографии

был выбран негативный резист maN2405, как имеющий высокую селективность травления и производящий паттерн с низкой шероховатостью края. Перед нанесением резиста поверхность подложек обрабатывалась промоутером адгезии HMDS.

Электронная литография производилась на литографе SABL в векторном режиме с использованием синусоидального генератора для рисования кольцевых микрорезонаторов. Синусоидальный режим позволяет рисовать круговые элементы кольцами вместо полигонов, что обеспечивает возможность достичь минимальной шероховатости края итогового рисунка.

Для создания трехмерных структур ИФС из нитрида кремния (рис. 2, 3) мы использовали реактивное ионное травление методом псевдоБош на установке Corial2000. Травление производилось при низком давлении 7 мТорр, с распылением ускоренными ионами в атмосфере элегаза SF<sub>6</sub>. Для пассивации изотропного подтравливания боковых стенок использовался этилен C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Параметры травления были подобраны так, чтобы оно было анизотропным и обеспечило структуры с вертикальными боковыми стенками. После травления остатки маски электронного резиста смывались в кислоте Каро.

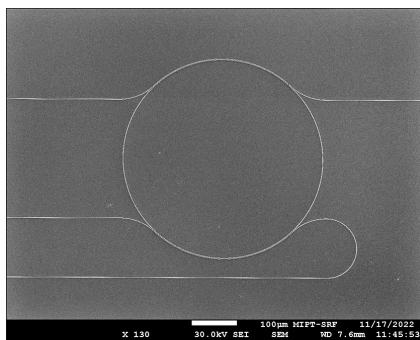


Рис. 2. Внешний вид ИФС после литографии

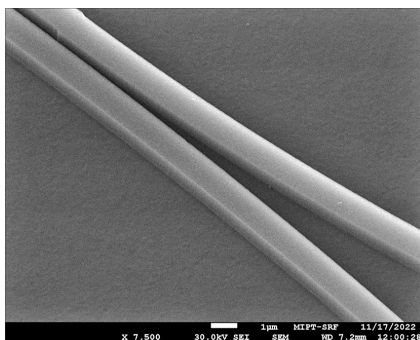


Рис. 3. Качество шероховатости края элементов

Коэффициент преломления нитрида кремния, определяющий свойства оптического микрорезонатора, зависит от температуры. Поэтому на чипы с ИФС были добавлены резистивные нагревательные элементы из хрома и контакты из золота, которые изготавливались методами магнетронного осаждения и фотолитографии. Общий вид разработанного чипа с ИФС приведен на рисунке 4.

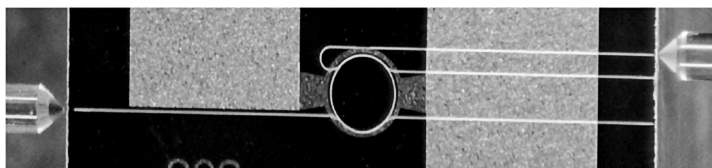


Рис. 4. Общий вид ИФС на чипе

Общий вид установки для исследования оптических характеристик эталонов приведен на рисунке 5. Излучение широкополосного лазера через оптоволоконно заводилось в ИФС. В кольцевом микрорезонаторе происходит перераспределение энергии излучения между модами с генерацией гребенчатого спектра на выходе. Измерение спектров ИФС проводилось прямым методом с помощью оптико-механического модуля широкого спектрального диапазона Confotec NR500, оснащенного спектрометром и высокочувствительными ПЗС матрицами для видимого и ближнего ИК диапазона. Пример спектра ИФС в диапазоне 1290–1330 нм приведен на рисунке 6.

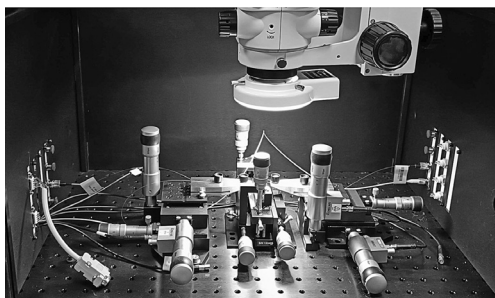


Рис. 5. Общий вид установки для исследования оптических характеристик эталонов

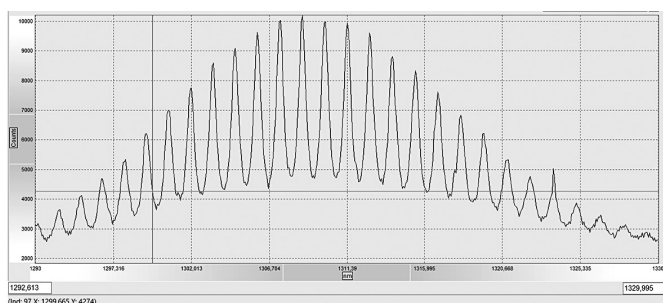


Рис. 6. Пример спектра пропускания ИФС в ИК диапазоне

Метрологические характеристики разработанных эталонов разности длин волн приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Метрологические характеристики**

Наименование метрологической характеристики	Значение характеристики
Спектральный диапазон воспроизведения длин волн, нм	От 600 до 1700
Наименование метрологической характеристики	Значение характеристики
Шаг следования мод, нм	Не более 1
Расширенная неопределенность воспроизведения положения мод, нм	Не более 0,02

Добротность созданных в результате работы резонаторов составила более  $10^5$ . Это позволяет использовать разработанные чипы в качестве эталонов разности длин волн, внешних резонаторов для лазеров и линейчатых фильтров (в том числе с возможностью перестройки под конкретную длину генерации лазера), работающих в видимом и инфракрасном диапазонах. Однако для реализации таких эффектов нелинейной оптики, как четырехволновое смещение [4], самоподстройка мод [5] и генерация солитонов [6], необходимо повышать добротность резонаторов до  $10^6$ – $10^7$ , что составит задачу для будущих исследований и разработок.

### Литература

1. Stern B., Ji X., Okawachi Y. et al. Battery-operated integrated frequency comb generator // Nature. 2018. [Электронный источник] doi:10.1038/s41586-018-0598-9.
2. Gemma R.S. Electron beam lithography for Nanofabrication. Dissertation. Barcelona, 2008.
3. Williams K. R., Muller R. S. Etch Rates for Micromachining Processing // Journal of microelectromechanical systems. 1996. Vol. 5. N 4. P. 256–269.
4. Kippenberg T. J., Spillane S. M., Vahala K. J. Kerr-Nonlinearity Optical Parametric Oscillation in an Ultrahigh-Q Toroid Microcavity // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93. [Электронный источник] doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.93.083904>.
5. Turner A. C., Manolatou C., Schmidt B. S. et al. Tailored anomalous groupvelocity dispersion in silicon channel waveguides // Opt. Express. 2006. Vol. 14. P. 4357–4362.
6. Xu Yi, Qi-Fan Yang, Ki Youl Yang et al. Soliton frequency comb at microwave rates in a high-Q silica microresonator, Optica. 2015. Vol. 2. [Электронный источник] doi: <https://doi.org/10.1364/OPTICA.2.001078>.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ МНОГОСЕТОЧНЫХ ЗОНДОВ-ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОРОВ ПО СКОРОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ ОБРАЗЦА-СВИДЕТЕЛЯ

Ю. Л. Фролова, А. Б. Надирадзе

ФГБУ «ВНИИМС», Москва, Российская Федерация

Тел.: + 7 (977) 877 25 69

E-mail: y.frolova@vniims.ru

## **Аннотация**

*В настоящее время существенно более полными и информативными являются измерения параметров струи электроракетного двигателя (далее — ЭРД) в ходе наземных испытаний. Для измерения параметров плазменных струй ЭРД в вакуумных камерах наиболее часто используются многосеточные зонды-энергоанализаторы. Основной метрологической характеристикой энергоанализатора является эффективная площадь коллектора. Однако, учитывая конструктивные особенности данных зондов, значение фактической эффективной площади коллектора может существенно отличаться от расчетной. Исходя из этого, для получения достоверных результатов измерений необходимо проводить калибровку зонда. В работе предложена методика калибровки многосеточного зонда-энергоанализатора по скорости распыления образца-свидетеля. Показано, что в результате резонансной перезарядки ускоренных ионов струи на нейтральных частицах остаточного газа вакуумной камеры происходит значительное ослабление потока ионов, которое необходимо учитывать при калибровке. Представлен пример калибровки зонда и определения коэффициента относительной чувствительности вакуумметра  $\beta$ . Измеренное значение эффективной площади зонда оказалось почти вдвое меньше паспортного значения, что подтверждает необходимость проведения калибровки многосеточного зонда-энергоанализатора для измерения абсолютных значений плотности тока ионов струи.*

## **Введение**

Для измерения параметров плазменных струй электроракетных двигателей (ЭРД) в настоящее время наиболее часто используются многосеточные зонды-энергоанализаторы (ЭА). С помощью этих зондов определяют функцию распределения ионов по энергиям, а также плотность ионного тока в струе двигателя.

Основной метрологической характеристикой ЭА является эффективная площадь коллектора  $F_{эфф.}$ , которая определяет связь между

плотностью ионного тока  $j_i$  и током коллектора  $I_k$ , регистрируемого измерительным прибором. Величина  $F_{эфф.}$  зависит от диаметра входной апертуры  $D_a$ , количества используемых в ЭА сеток и их прозрачности  $\vartheta_k$ . При небольшом количестве сеток и при их достаточно высокой прозрачности ( $\vartheta_k > 0,8$ ) величина  $F_{эфф.} \approx F_{колл.} \times \prod_k \vartheta_k$ , где  $F_{колл.}$  — площадь коллектора. Однако, если количество сеток велико, а их прозрачность невысока, возможны значительные отклонения фактической  $F_{эфф.}$  от ее расчетного значения, обусловленные несовершенством сеточной системы. В связи с этим для определения  $F_{эфф.}$  ЭА необходимо проводить его калибровку.

Чаще всего для калибровки ЭА используют электростатический плоский зонд (ПЗ), расположенный в непосредственной близости от ЭА. Основным недостатком этого метода является невозможность полностью исключить вклад медленных ионов перезарядки, возникающих при распространении струи в условиях вакуумной камеры, на ток коллектора ПЗ. В результате этого ток коллектора ПЗ оказывается больше тока ускоренных ионов струи, фиксируемых ЭА, точность калибровки снижается.

С целью повышения точности и достоверности результатов калибровки предлагается определять величину  $F_{эфф.}$  по скорости распыления образца-свидетеля, расположенного в непосредственной близости от калибруемого ЭА.

### Методика калибровки

Схема эксперимента по калибровке ЭА приведена на рисунке 1.

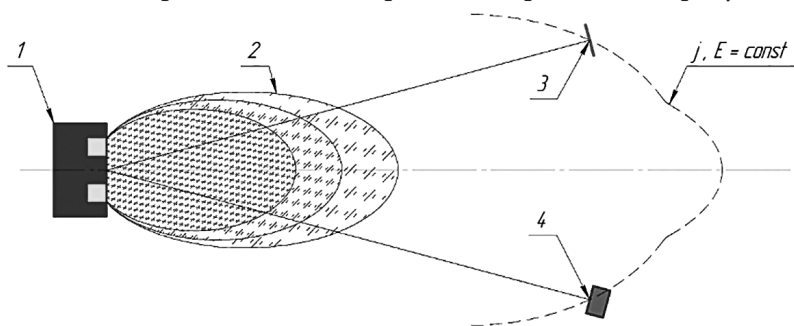


Рис. 1. Схема калибровки многосеточного зонда-энергоанализатора:  
 1 — ЭРД; 2 — плазменная струя ЭРД; 3 — образец-свидетель;  
 4 — многосеточный зонд (энергоанализатор)



Образец-свидетель (ОС) устанавливается в струе ЭРД рядом с ЭА, для которого требуется определить величину  $F_{эфф}$ . Положение ЭА и ОС в струе (угол от оси струи и расстояние от двигателя) выбираются таким образом, чтобы параметры потока (плотность тока и энергетический спектр ионов) на них совпадали. В ходе эксперимента фиксируется кривая задержки  $I_{>E}(E)$  ЭА и потеря массы образца-свидетеля  $\Delta m$  в течение времени облучения  $\tau$ . Время облучения выбирается исходя из получения величины  $\Delta m$ , обеспечивающей требуемую точность измерений.

Полагая, что размер ОС достаточно мал и изменения параметров потока ионов по его поверхности незначительны, величину можно определить по формуле:

$$\Delta m = \frac{1}{K_{осл.}} \frac{j_i}{e} m_1 \bar{S} \cdot F_{ос} \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $j_i$  — плотность ионного тока в точке установки ОС;  $\bar{S}$  — коэффициент распыления материала ОС, усредненный по энергиям ионов (атом/ион);  $m_1$  — масса атома материала ОС;  $F_{ос}$  — облучаемая площадь поверхности ОС;  $e$  — заряд электрона;  $K_{осл.}$  — коэффициент ослабления потока ионов за счет процессов резонансной перезарядки.

Необходимость учета  $K_{осл.}$  обусловлена тем, что за счет перезарядки ионов струи на частицах остаточного газа вакуумной камеры происходит ослабление потока ионов. В то же время нейтральные атомы, образовавшиеся из быстрых ионов, не теряют импульс и распыляют поверхность ОС так же, как быстрые ионы.

Величина  $K_{осл.}$  определяется соотношением (2):

$$K_{осл.}(P, R) = \exp\left(\frac{R}{\lambda}\right), \quad (2)$$

где  $\lambda = 1/n_b \sigma_{сех}$  — длина пробега ионов до перезарядки;  $n_b = P_b / \beta k T_b$  — концентрация частиц фонового газа;  $\sigma_{сех}$  — сечение резонансной перезарядки ионов;  $P_b$  — давление газа в вакуумной камере;  $T_b$  — температура частиц в вакуумной камере;  $\beta$  — коэффициент относительной чувствительности вакуумметра (для ксенона паспортное значение  $\beta = 2,71$ ).

Средний коэффициент распыления определяют по зависимости коэффициента распыления от энергии  $S(E)$  и кривой задержки ЭА:

$$\bar{S} = \int_0^{\infty} f(E)S(E)dE , \quad (3)$$

где  $f(E)$  — функция распределения ионов по энергиям, которую получают дифференцированием  $I_{>E}(E)$ :

$$f(E) = \frac{1}{I_{>E}(0)} \frac{dI_{>E}(E)}{dE} . \quad (4)$$

Поскольку на практике  $I_{>E}(E)$  измеряют при некоторых фиксированных значениях  $E_i$  на задерживающей сетке, величину  $S$  можно определить численно по следующей формуле:

$$\bar{S} = \frac{1}{I_{>E}(0)} \sum_i (I_{>E}(E_{i+1}) - I_{>E}(E_i)) \frac{S(E_{i+1}) + S(E_i)}{2} . \quad (5)$$

С другой стороны, плотность ионного тока  $j_p$ , фиксируемая ЭА, определяется соотношением:

$$j_i = \frac{I_k}{F_{\text{эфф}}} , \quad (6)$$

где  $I_k = I_{>E}(0)$  — начальный ток коллектора ЭА;  $F_{\text{эфф}}$  — эффективная площадь ЭА.

Подставляя (6) в (1), находим, что

$$F_{\text{эфф}} = \frac{1}{K_{\text{осл}}} \frac{I_k}{e} \frac{m_1}{\Delta m} \bar{S} \cdot F_{\text{ОС}} \cdot \tau . \quad (7)$$

Таким образом, измерив  $I_{>E}(E)$  и  $\Delta m$ , по заданной зависимости  $S(E)$  можно определить величину  $F_{\text{эфф}}$ .

При наличии в потоке большого количества низкоэнергетических ионов перезарядки точность калибровки снижается. Для уменьшения влияния тока ионов перезарядки и повышения точности калибровки вместо нулевого потенциала в  $I_{>E}(0)$  можно использовать измерения с небольшим потенциалом отсечки  $\Phi_{\text{отс}}$ , что позволяет исключить проникание ионов перезарядки на коллектор ЭА, сохраняя при этом ток ионов, способных распылять материал ОС. С этой точки зрения  $\Phi_{\text{отс}}$  не должен превышать величину пороговой энергии распыления материала ОС  $E_{\text{th}}$ . Однако, учитывая малый вклад низкоэнергетических ионов в распыление, допустимо использовать  $\Phi_{\text{отс}} > E_{\text{th}}$ , но так, чтобы это не оказывало существенного влияния на величину  $S$ .

## Выбор материала образца-свидетеля

Очевидно, что точность калибровки ЭА в значительной степени зависит от точности определения зависимости  $S(E)$ . Поскольку процесс распыления является сложным стохастическим процессом, на который влияет множество различных факторов, описанных в работах [1–3], при выборе материала для ОС необходимо исходить из того, чтобы данные были стабильны и достоверны. В рамках данной работы в качестве материала ОС было выбрано химически чистое золото (zl999). На поверхности золота не образуется оксидных пленок, которые могут оказывать сильное влияние на величину коэффициента распыления.

Следует отметить, что пороговая энергия распыления золота ионами ксенона составляет 28,6 эВ, а при энергии 50 эВ коэффициент распыления составляет около 0,01 атом/ион. Это позволяет задавать потенциал отсечки  $\Phi_{\text{отс.}}$  на уровне 30–40 В без ощутимых потерь по точности калибровки.

## Пример калибровки многосеточных зондов

По представленной выше методике была произведена калибровка многосеточных зондов, описанных в работе [4]. Эффективная площадь коллектора, рассчитанная исходя из геометрии зонда и суммарной прозрачности сеток, составляет 0,58 см<sup>2</sup> (паспортное значение).

Измерения проводились по схеме (рис. 1) на расстоянии  $R$ , равном 520 и 795 мм от источника. Угол установки ЭА и ОС относительно оси струи составлял 25°. Время облучения — 1 и 2 часа, соответственно.

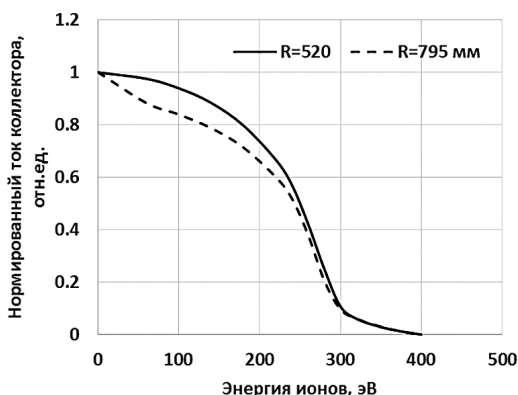


Рис. 2. Нормированные кривые задержки ЭА на расстоянии 520 и 795 мм от двигателя (угол от оси струи 25°)

В качестве источника плазмы использовался холловский двигатель М50 с током разряда А и напряжением разряда 300 В. Рабочее тело — ксенон. Образец-свидетель — пластина из золота (зл999) с размерами 47×48 мм. В экспериментах измерялись давление в вакуумной камере, потери массы образца свидетеля и кривые задержки ЭА (рис. 2).

Как можно видеть из рисунка 2, на расстоянии 795 мм в энергетическом спектре происходит заметное увеличение ионов перезарядки, в связи с этим все расчеты проводились при  $\varphi_{отс.} + 40$  В.

Для потерь массы ОС можно записать (8):

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta m_2} = \frac{I_{k1} \bar{S}_1 \tau_1}{I_{k2} \bar{S}_2 \tau_2} \exp \left\{ -\frac{\sigma}{\beta k T_0} (R_2 P_2 - R_1 P_1) \right\}. \quad (8)$$

Откуда находим, что (9)

$$\beta = \frac{\sigma}{k T_0} (R_2 P_2 - R_1 P_1) \left[ \ln \left( \frac{I_{k1} \bar{S}_1 \tau_1}{I_{k2} \bar{S}_2 \tau_2} \right) - \ln \left( \frac{\Delta m_1}{\Delta m_2} \right) \right]^{-1}. \quad (9)$$

Первичные данные и результаты расчетов (при  $\sigma = 5,36 \times 10^{-19}$ ) приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Первичные данные и результаты обработки**

Параметр	R = 520 мм	R = 795 мм
Давление в вакуумной камере по вакуумметру, мм рт.ст.	$7,46 \times 10^{-5}$	$7,96 \times 10^{-5}$
Ток коллектора ЭА, мкА	64,93	21,73
Потери массы ОС, мг	53,85	40,29
Средний коэффициент распыления, атом/ион	1,28	1,17
Коэффициент	3,53	
Давление в вакуумной камере (по ксенону), мм рт.ст.	$2,11 \times 10^{-5}$	$2,26 \times 10^{-5}$
Концентрация атомов ксенона, м <sup>-3</sup>	$6,85 \times 10^{17}$	$7,31 \times 10^{17}$
Длина пробега ионов до перезарядки, м	2,72	2,55
Коэффициент ослабления	0,83	0,73
Эффективная площадь зонда, см <sup>2</sup>	0,21	

Полученное значение  $\beta$  удовлетворительно согласуется с паспортным значением, что подтверждает достоверность полученных данных и корректность расчетной модели.

Значение эффективной площади зонда оказалось почти в 2 раза меньше паспортного значения, что связано, по-видимому, с низкой прозрачностью сеток. Не исключено также влияние неточности справочных значений коэффициента распыления.

### Выводы

Предложена методика калибровки многосеточных зондов по скорости распыления образца свидетеля. В ходе калибровки определяют величину эффективной площади зонда —  $F_{\text{эфф.}}$ , которая связывает величину плотности ионного тока и тока коллектора, регистрируемого измерительным прибором. Показано, что в результате резонансной перезарядки ускоренных ионов струи на нейтральных частицах остаточного газа вакуумной камеры происходит значительное ослабление потока ионов, которое необходимо учитывать при калибровке. Представлен пример калибровки ЭА и определения коэффициента относительной чувствительности вакуумметра  $\beta$ . Полученное значение  $\beta = 3,53$  удовлетворительно совпало с паспортным значением — 2,71. Измеренное значение  $F_{\text{эфф.}} = 0,21 \text{ см}^2$  оказалась почти вдвое меньше паспортного значения  $0,58 \text{ см}^2$ , что говорит о необходимости проведения калибровки ЭА для измерения абсолютных значений плотности тока ионов струи.

### Литература

1. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: физическое распыление одноэлементных твердых тел. Пер. с англ. / Под ред. Р. Берриша. М.: Мир, 1984. 336 с., ил.
2. Плешивцев Н. В. Катодное распыление. М.: Атомиздат, 1968.
3. Плешивцев Н. В. Физические проблемы катодного распыления. Обзор. М.: Изд-во ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1979. 87 с.
4. Кожевников В. В., Смирнов А. А., Смирнов П. Е., Черный И. А. Автоматизированная система диагностики параметров выходного пучка радиочастотного ионного двигателя // Электронный журнал «Труды МАИ». Вып. 75.

# DEVELOPMENT OF A HIGH-PRECISION METHOD FOR REPRODUCING THE MOLAR CONCENTRATION OF IODINE AT GET 176 AND ITS IMPLEMENTATION

A. Shimolin

UNIIM — Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology,  
Ekaterinburg, Russian Federation  
Phone: + 7 (343) 217 29 28  
E-mail: Alex-shimolin@uniim.ru, alex-shimolin@yandex.ru

## **Abstract**

*Iodine, as a chemical element, has a high value in economics, industry, scientific research, healthcare, environmental protection and other fields and is used in precision analysis mainly in the form of a potassium iodate compound. The author's research is devoted to improving the accuracy of the application of the method of iodometry in Russia by developing a high-precision method for reproducing the molar concentration of iodine at GET 176, improving the traceability scheme of the iodometry at calibration and measurement laboratories, as well as international recognition of new calibration and measurement capabilities (CMC) of Russia. The values of the extended uncertainty ( $P = 0,95$ ,  $k = 2$ ) of the reproduction the molar concentration of iodine at GET 176, were achieved to 0.011%. Certified reference materials of potassium iodate (GSO 11713-2021) and caffeine (GSO 11872-2022) have been developed. The key comparisons CCQM-K152 "Quantitative determination of potassium iodate" with the entry of information into the CMC database (NMI metrological service No. 223-1.1-75) have been initiated, organized and conducted.*

Iodine as a chemical substance has a high value in the economy, industry, scientific research, healthcare, environmental protection and other fields.

Iodine is a common redox titrant in analytical practice, acting as an oxidizer of a number of reducing agents, such as sulfides, thiosulfates, metal ions in unsaturated oxidation states, for example, Fe(II), As (III), Sn(II), etc. Oxidants such as Cu(II), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, BrO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>, etc. are determined by the method of reverse titration using iodine. The iodometry reaction is used in state pharmacopoeia analysis to determine whole groups of medicinal compounds and biologically active substances [1].

In medicine, iodine is used as a local antiseptic, as a marker for X-ray and tomographic studies, and the isotope iodine-131 for radiation therapy in thyroid cancer [2]. Iodine is involved in the synthesis of the hormone

triiodothyronine and thyroxine in the human body [3], and potassium iodate — as the main source of iodine — is a dietary supplement with the code E917.

However, the direct use of iodine in high-precision analysis is difficult due to the instability of a simple substance, as well as due to the high toxicity of iodine vapor. Therefore, potassium iodate is often used as the primary iodine-containing material.

Potassium iodate is a fairly stable compound that interacts with potassium iodide with stoichiometric release of molecular iodine, which allows it to be used as the main means of transferring the unit of iodine content from the State Primary Standard to secondary and working standards, reference materials and working measuring instruments in calibration, testing and research laboratories.

Thus, the aim of the work is to increase the accuracy of the results of the application of the method of iodometry in Russia by at least 5 times.

Research objectives:

- development of a methodic for determination the mass fraction and mass (molar) concentration of oxidants and reducing agents by coulometric titration on GET 176 with electrogenerated iodine with expanded uncertainty of no more than 0.02% ( $P = 0,95, k = 2$ );

- confirmation of calibration and measurement capabilities for the determination of potassium iodide at the international level;

- development of a CRM of the potassium iodate;

- implementation of research results into laboratory practice.

In modern analytical practice, the iodine content is determined in two main ways. The most common is titration of a potassium iodate in excess of potassium iodide with a sodium thiosulfate solution, which standardized by coulometrically certified [4] potassium bichromate. The method is described in GOST 4202-75 and allows to achieve an absolute extended uncertainty ( $P = 0,95, k = 2$ ) from 0,5 to 0,2%. To improve accuracy, a some authors suggest using the direct determination the sodium thiosulfate solution by the primary method of coulometric titration with subsequent transfer of the unit to potassium iodate. So Dr. L. Ma achieves an extended uncertainty ( $P = 0,95, k = 2$ ) up to 0,02%[5], T. Asakai shows a result of 0.017%[6].

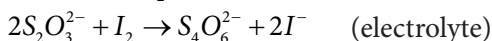
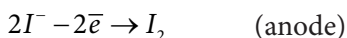
In Russia, the primary method [7] of coulometric titration is instrumentally implemented in the State Primary Standard of Units of mass (molar, Atomic) fraction and mass (molar) concentration of components

in liquid and solid substances and materials based on coulometry GET 176-2019 (GET 176) [8].

Determination of potassium iodate content by the primary method of coulometric titration on GET 176 was carried out by the author in two stages — standardization of sodium thiosulfate and titration of potassium iodate.

At the same time reactions occurred:

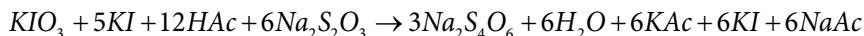
1) Standardization of sodium thiosulfate



2) Titration of potassium iodate



The general molecular equation of the reaction has the form



Calculation of the amount of sodium thiosulfate substance in solution, mol / kg, is determined by Faraday's law by the formula

$$C_{Na_2S_2O_3} = \frac{U / R \cdot t}{n \cdot F \cdot m_{Na_2S_2O_3}},$$

where  $U$  — voltage of the generator electric current, A;  $R$  — standard resistance, Ohm;  $t$  — generation time, s;  $F$  — Faraday constant equal to 96485.33289 C/mol [9];  $n$  — the number of electrons involved in the reaction on the Pt electrode ( $n = 1$ );

$m_{Na_2S_2O_3}$  — weight of the suspension of sodium thiosulfate solution, g.

The calculation of the mass fraction of potassium iodate, %, is determined by the summary formula of Faraday's law and titrimetric determination of the component by excess titrant

$$A_{KIO_3} = \frac{\frac{1}{6} \cdot M_{KIO_3} \cdot \left( C_{Na_2S_2O_3} \cdot m_{Na_2S_2O_3} - \frac{U / R \cdot t}{n \cdot F} \right)}{m_{KIO_3}} \times 100\%,$$

where  $M_{KIO_3}$  — molar mass of potassium iodate equal to 213,9998 g/mol [10];  $m_{KIO_3}$  — weight of the suspension of potassium iodate, g; 1/6 — a coefficient that takes into account the number of moles of  $Na_2S_2O_3$  reacting with 1 mole of  $KIO_3$ .



The equipment used, the diagram of the coulometric cell and the measurement parameters are given in [11].

An important innovation in the design of the reference installation was the system of joint sample input and titrant generation proposed by the author of the work. A visual illustration of the system operation is shown in Figure 1.

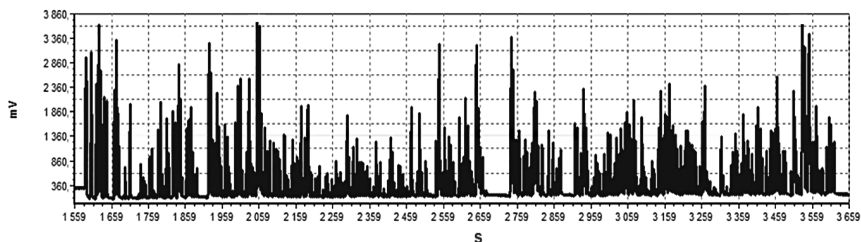


Fig. 1. Typical monitoring curve of titration of sodium thiosulfate with electrogenerated iodine,  $U_{\text{ind}} = f(t)$ , in real time mode

Each peak in Figure 1 corresponds to a microabundance of I<sub>2</sub> and the flow of the indicator reaction on the indicator Pt electrodes. The feedback system initiates the addition of the next drop of the sample. As a result, the excess of I<sub>2</sub> disappears and the indicator signal decreases to the background level. The total excess of I<sub>2</sub> of each peak does not exceed 1/1000 of the total amount of titrant generated, which makes it possible to significantly reduce the factors of migration and destruction of the molecule. The total number of peaks reaches 500–600 servings. At the second stage, a sample of potassium iodate is introduced and in the process of its dissolution, a standardized solution of sodium thiosulfate is added drop by drop. At the same time, the absence of a significant excess of both iodine and thiosulfate in the system is monitored by an indicator signal.

As a result, the accuracy indicators of Tables 1 and 2 are achieved.

**Table 1. Results of standardization of sodium thiosulfate**

Molar concentration of sodium thiosulfate, $C$ , mol/dm <sup>3</sup>	0,53127
Rel. standard uncertainty of type A, $u_A$ , %	0,0027
Rel. standard uncertainty of type B, $u_B$ , %	0,0009
Rel. summary standard uncertainty, $u_s$ , %	0,0028
Rel. expanded uncertainty, $U$ ( $k = 2$ , $P = 0,95$ ), %	0,0056

**Table 2. Results of determination of potassium iodate**

<b>Mass fraction of potassium iodate, A, %</b>	<b>99,969</b>
Abs. standard uncertainty of type A, $u_A$ , %	0,0035
Abs. standard uncertainty of type B, $u_B$ , %	0,0040
<b>Abs. expanded uncertainty, <math>U</math>, (<math>k = 2, P = 0,95</math>), %</b>	<b>0,0106</b>

The results of the study were used in the development of a standard for comparing the composition of potassium iodate ES-1.1-176-023-2018-KIO<sub>3</sub> as part of the development work «Purity 2b» [12].

Also, based on the research results, CRM of the potassium iodate registered as GSO 11713-2021 [13] and the CRM of the caffeine registered as GSO 11872-2022 [14] were approved and submitted to the federal information fund, while studying the metrological characteristics of which the developed methodology and engineering solutions were applied.

In order to gain recognition of measuring capabilities at the highest international level, the International Key Comparisons CCQM-K152 «Assay of potassium iodate» were initiated, organized and conducted by UNIIM [16].

Eight metrological institutes took part in the comparison. Two samples of potassium iodate prepared by the author were sent to each of them, the measurement results were collected and processed by the author [15].

In April 2019, at the BIPM headquarters in Sevres, France, at a meeting of the Electrochemical Analysis Working group (EAWG CCQM), the author made a presentation on the comparing the procedures for measuring potassium iodate by direct coulometric titration used in metrological institutes of the participating countries.

According to the results of the comparisons, the D. I. Mendeleev Institute of Metrology (VNIIM) received recognition of the calibration and measuring capabilities of the oxidizer in terms of potassium iodate (CMC, Metrological Service No. 223-1.1-75).

In the course of the research, the following results were achieved:

- A methodic has been developed for reproducing the mass fraction and mass (molar) concentration of oxidants and reducing agents on GET 176 with electrogenerated iodine on the example of potassium iodate and sodium thiosulfate. The accuracy of establishing potassium iodate in Russia has been increased by 20 times.

- The calibration and measuring capabilities of VNIIM have been expanded (CMC, metrological service No. 223-1.1-75). Participated in the organization and conduct of international comparisons of CCQM-K152.

- The transfer of a unit of mass fraction of iodine from GET 176 to measuring, calibration, research and testing laboratories was ensured through the supply of the CRM of potassium iodate GSO 11713-2021.

- The metrological characteristics of the CRM of caffeine GSO 11872-2022, which is extremely in demand by the centers of standardization and metrology of Russia, have been studied.

The next step in the development of international cooperation is the recognition of GSO 11713-2021 and GSO 11872-2022 by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification as International Reference Materials (MSO), which will open the market for supplies to the member countries of the Council without additional metrological certification. It is also supposed to enter information about CRMs into international databases of CRMs (COMAR, etc.), to present research results at international conferences, exhibitions and other events.

## References

1. Государственная фармакопея Российской Федерации, XIV ред. Т. III. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2018. С. 5187.

2. Химическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. И. Л. Кнунянц. М.: Советская энциклопедия, 1990. Т. 2: Даффа–Меди. С. 251–252.

3. Ермаков В. В. Иод в организме // Большая российская энциклопедия. М., 2008. Т. 11. С. 540.

4. Skutina A. V. Traceability of measurement results to the SI in the quantitative chemical analysis by the example of the certified reference material for composition of potassium dichromate, certified by the primary method of coulometric titration // Научные труды 2-го международного конкурса «Лучший молодой метролог КООМЕТ-2007», г. Харьков, Украина, 19–20 июня 2007 г. С. 23–26.

5. Ma L. Determination of the purity of potassium iodate by constant-current coulometry // *Accred Qual Assure*. 2002. N 7. P. 163–167.

6. Asakai T., Murauama M., Tanaka T. Precise coulometric titration of sodium thiosulfate and development of potassium iodate as a redox standard // *Talanta*. 2007. Vol. 73. N 2. P. 346–351.

7. Milton M. J. T., Quinn T. J. Primary methods for the measurement of amount of substance // *Metrologia*. 2001. Vol. 38. P. 289–296.

8. Собина А. В. Разработка государственного первичного эталона единиц массовой доли и массовой концентрации компонента в жидких и твердых веществах и материалах на основе кулонометрического титрования. Екатеринбург: ФГУП «УНИИМ», ФГАОУ ВПО «УрФУ им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина», 2014. С. 147.

9. Mohr P. J., Newell D. B., Taylor B. N. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014, Rev. Mod. Phys. 88, 035009, 73 pages (2016).

10. Atomic weights of the elements 2011. (IUPAC Technical Report), 2013, IUPAC.

11. Shimolin A. J. etc. Potassium Iodate Purity Determination by High Precision Coulometric Titration: New Measurement Procedure Implementation. 2017. DOI: 10.1109/URALCON.2017.8120729.

12. Отчет ОКР «Чистота-2», рук. темы Собина Е. П. УДК 539.217. ФГУП УНИИМ. Екатеринбург, 2017.

13. Федеральный фонд по обеспечению единства измерений, ФГИС «АРШИН», ГСО 11713-2021. [Электронный ресурс] <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/1391862>.

14. Федеральный фонд по обеспечению единства измерений, ФГИС «АРШИН», ГСО 11872-2022. [Электронный ресурс] <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/1396509>.

15. Sobina A., Shimolin A. Report of the CCQM-K152. Assay of potassium iodate // Metrologia. Vol. 58. N 1A. DOI: 10.1088/0026-1394/58/1A/08005.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ВЯЗКОСТИ ЭТАЛОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ КАПИЛЛЯРНЫХ ВИСКОЗИМЕТРОВ И ВИСКОЗИМЕТРА ШТАБИНГЕРА SVM 3000

И. Б. Абдумажидов, А. А. Анваров

ГУ «Узбекский Национальный институт метрологии»,  
Ташкент, Узбекистан  
Тел.: + 7 (998) 71 150 26 09  
E-mail: i.abdumajidov@nim.uz

## **Аннотация**

*Настоящее исследование было проведено для измерения вязкости эталонных жидкостей с использованием капиллярных вискозиметров и вискозиметра Штабингера SVM 3000 с интервалом вязкости от 1 до 5000  $\text{m}^2/\text{s}$  при температуре от +20 до +100 °С. Основано на измерениях с различными жидкостями, проведенных в лаборатории института. Определены значения вязкости со сравнением их результатов. Целью данного исследования является оценка результатов системы измерения вязкости первичного уровня и вискозиметра Штабингера, а также сравнение результатов измерений для обеспечения возможности прослеживаемости работы вискозиметра Штабингера в ГУ «УзНИМ». Все большее число национальных метрологических институтов и аккредитованных лабораторий проводят калибровку вискозиметров с использованием эталонных жидкостей в широком диапазоне вязкости. Обычной практикой является использование вязкости воды в качестве метрологической основы вискозиметрии. Государственный первичный эталон единицы кинематической вязкости, предоставляемый ГУ «УзНИМ», состоит из набора вискозиметров модификации Ubbelohde, охватывающих диапазон измерения кинематической вязкости примерно от 0,1 до 100 000  $\text{m}^2/\text{s}$ . При низкой вязкости, длинном капилляре вискозиметры используются в качестве первичных эталонов, которые непосредственно калибруют воду согласно ISO/TR3666:1998 (вязкость воды при 20 °С составляет  $\nu = 1,0034 \text{ m}^2/\text{s}$ ).*

**Ключевые слова:** вязкость, капилляр, вискозиметр Штабингера, прослеживаемость, метрология

## **1. Введение**

Вязкость — это отношение напряжения сдвига ( $F/A$ ) к градиенту скорости ( $\Delta v_x / \Delta z$  или  $dv_x / dz$ ) в жидкости. Более обычная форма этой

зависимости, называемая уравнением Ньютона, гласит, что результирующий сдвиг жидкости прямо пропорционален приложенной силе и обратно пропорционален ее вязкости. Сходство со вторым законом движения Ньютона ( $F = ma$ ) должно быть очевидным [1].

Кинематическая вязкость — это мера сопротивления течению жидкости под действием силы тяжести. Ее часто измеряют с помощью устройства, называемого капиллярным вискозиметром. Когда две жидкости одинакового объема помещают в идентичный капиллярный вискозиметр и дают им течь под действием силы тяжести, вязкой жидкости требуется больше времени, чтобы пройти через трубку, чем менее вязкой жидкости. Математическое выражение, описывающее течение жидкостей в круглых трубках, было определено следующим образом:

$$\eta = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \eta l}$$

- прямо пропорционально разнице давлений ( $\Delta P$ ) между концами трубки;
- обратно пропорционально длине ( $l$ ) трубки;
- обратно пропорционально вязкости ( $\eta$ ) жидкости;
- пропорционально четвертой степени радиуса ( $r^4$ ) трубы.

Частую причину для измерения реологических свойств можно найти в области контроля качества, где сырье должно быть однородным от партии к партии. Для этой цели поведение потока является косвенным показателем консистенции и качества продукта.

Еще одна причина для проведения исследований поведения потока заключается в том, что может быть получена прямая оценка технологичности. Например, жидкость с высокой вязкостью требует большей мощности насоса, чем жидкость с низкой вязкостью. Таким образом, знание ее реологических свойств полезно при проектировании насосных и трубопроводных систем.

Было высказано предположение, что реология является наиболее чувствительным методом определения характеристик материала, поскольку поведение потока зависит от таких свойств, как молекулярная масса и распределение по молекулярной массе. Это соотношение полезно, например, при синтезе полимеров, поскольку позволяет увидеть относительные различия без измерения молекулярной массы.

Приборы для измерения вязкости предназначены для определения сопротивления жидкости течению, свойства жидкости, определенно-го выше как вязкость. Скорость деформации определяется потоком жидкости в данной геометрии прибора, а соответствующие напряжения являются мерой сопротивления потоку.

Если скорость деформации или напряжение заданы и контролируются, то другое значение, при прочих равных условиях, будет зависеть от вязкости жидкости. Если поток прост (по возможности, одномерен) таким образом, чтобы скорость деформации и напряжение можно было точно определить по измеренным величинам, можно определить абсолютную динамическую вязкость; в противном случае будет установлена относительная вязкость. Например, поток жидкости может быть задан путем перетаскивания жидкости с помощью скользящей или вращающейся поверхности, падающего тела через жидкость или путем принуждения жидкости (под действием внешнего давления или силы тяжести) проходить через фиксированную геометрию, такую как капиллярная трубка, кольцевое пространство, щель (между двумя параллельными пластинами) или отверстие. Соответствующее сопротивление потоку измеряется как граничная сила, или крутящий момент, или перепад давления. Скорость потока или время истечения представляет собой расход жидкости при заданном сопротивлении потоку, таком как перепад давления или сила тяжести [6].

Основной принцип всех вискозиметров заключается в обеспечении максимально простой кинематики потока, такой как использование одномерных потоков, чтобы охарактеризовать и определить скорость деформации сдвига как можно точнее, проще и независимо от типа жидкости. Измеряется сопротивление такому потоку, и таким образом определяется напряжение сдвига. Затем вязкость при сдвиге легко определяется как отношение между напряжением сдвига и соответствующей скоростью деформации при сдвиге [12].

Стеклянные капиллярные вискозиметры очень просты и недороги. Их геометрия напоминает U-образную трубку с по меньшей мере двумя резервуарными колбами, соединенными с каналом капиллярной трубки внутренним диаметром. Жидкость набирается в один резервуар-колбу известного объема между вытравленными метками. Время истечения измеряется для того, чтобы этот объем прошел через капилляр под действием силы тяжести. Различные виды

коммерческих стеклянных капиллярных вискозиметров, таких как Cannon Fenske type или аналогичных, можно приобрести в научных магазинах. Вискозиметр Оствальда разработан с целью минимизации определенных нежелательных эффектов, увеличения диапазона вязкости или удовлетворения специфических требований к тестируемым жидкостям, таких как непрозрачность и т. д. Стеклопипеточные вискозиметры часто используются для жидкостей с низкой вязкостью [12].

В этом исследовании очень важно найти наиболее близкие значения кинематической вязкости для обоих измерений, чтобы представить соотношение вискозиметра Ubbelohde и вискозиметра Штабингера и обеспечить возможность отслеживания работы вискозиметра Штабингера с помощью нашей собственной системы измерения первичной вязкости.

**Таблица 1. Эталонная жидкость S3 (метод 2)**

Температура (°C)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U'(v), (%)
20	4,509	2
25	3,987	2
40	2,875	2
60	2,017	2
80	1,507	2

**Таблица 2. Эталонная жидкость N7.5 (метод 2)**

Температура (°C)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U'(v), (%)
20	12,19	2
25	10,32	2
40	6,674	2
60	4,181	2
80	2,875	2

**Таблица 3. Эталонная жидкость N26 (метод 2)**

Температура (°C)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U'(v), (%)
20	60,71	2
25	48,77	2
40	27,35	2
60	14,71	2
80	8,974	2

**Таблица 4. Эталонная жидкость N350 (метод 2)**

Температура (°C)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U'(v), (%)
20	1169	2
25	809,4	2
40	306,9	2
60	109,2	2
80	48,79	2



## 2. Метод

### 2.1. Эталонные жидкости и вискозиметры

Эталонные жидкости были получены компанией «Paragon Scientific Ltd.», Великобритания. Названия жидкостей — S3, N7.5, N350 и N26.

Сравнительные испытания проводились при 20, 25, 40, 60 и 80 °С с использованием эталонных жидкостей (S3, N26, N7.5 и N350) как вискозиметрами Ubbelohde, так и вискозиметром Штабингера SVM 3000. Для метода 2 результаты для эталонных жидкостей (S3, N26, N7.5 и N350) приведены в таблицах 1, 2, 3 и 4.

**Метод 1.** Два вискозиметра Ubbelohde типа 0B ( $K = 0,005 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значения кинематической вязкости S3 при указанных выше температурах (табл. 5).

Два вискозиметра Ubbelohde типа 2 ( $K = 0,1 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значений кинематической вязкости N26 при температурах 20, 25, 40 °С и с типом 1C ( $K = 0,03 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температурах 60, 80 °С (табл. 6).

Два вискозиметра Ubbelohde типа 1C ( $K = 0,03 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значений кинематической вязкости N7.5 при температурах 20, 25, 40 °С и для типа 1 ( $K = 0,01 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температурах 60, 80 °С (табл. 7).

**Таблица 5. Эталонная жидкость S3 (метод 1)**

Температура (°С)	Кинематическая вязкость ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	$U^*$ ( $\nu$ ), (%)
20	4,509	0,22
25	3,987	0,22
40	2,875	0,20
60	2,017	0,23
80	1,507	0,20

**Таблица 6. Эталонная жидкость N26 (метод 1)**

Температура (°С)	Кинематическая вязкость ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	$U^*$ ( $\nu$ ), (%)
20	60,71	0,32
25	48,77	0,32
40	27,35	0,29
60	14,71	0,29
80	8,974	0,28

Два вискозиметра Ubbelohde типа 3C ( $K = 3 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значений кинематической вязкости N415 при температурах 20 и 25 °С, с типом 3 ( $K = 1 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температурах

40 °С, с типом 2В ( $K = 0,5 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температурах 60 °С и с типом 2 ( $K = 0,1 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температуре 80 °С (табл. 8).

Внутренний диаметр каждого капилляра изготовлен в соответствии с немецким стандартом DIN51562-1:1999; длина 283 мм и объем для измерения 18 мл. Лаборатория вязкости ГУ «УзНИМ» поддерживает собственную шкалу первичной вязкости, основанную на международном согласованном значении дистиллированной воды при 20 °С, равном  $1,0034 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

**Метод 2.** Для определения значений вязкости эталонных жидкостей использовали вискозиметр Штабингера. Прибор был откалиброван производителем с использованием нескольких стандартных эталонных жидкостей по плотности и вязкости. Погрешность измерения температуры составляет 0,02 К.

**Таблица 7. Эталонная жидкость N7.5 (метод 1)**

Температура (°С)	Кинематическая вязкость $\text{mm}^2/\text{s}$	$U^*$ ( $\nu$ ), (%)
20	12,19	0,28
25	10,32	0,28
40	6,674	0,25
60	4,181	0,23
80	2,875	0,22

**Таблица 8. Эталонная жидкость N350 (метод 1)**

Температура (°С)	Кинематическая вязкость $(\text{mm}^2/\text{s})$	$U^*$ ( $\nu$ ), (%)
20	1169	0,38
25	809,4	0,38
40	306,9	0,34
60	109,2	0,34
80	48,79	0,32

( $k = 2$ ). Значение неопределенности прибора для измерения температуры было принято равным 0,02 К, а стандартная неопределенность рассчитана как 0,01 К. Неопределенность динамической вязкости составляет 1% ( $k = 1$ ). Общая погрешность измерений (с учетом чистоты и обращения с образцами) оценивается в 2%. Это оборудование также оснащено вибрационной трубкой, которая позволяет измерять плотности с погрешностью  $0,0005 \text{ g/cm}^3$  ( $k = 1$ ) [2].

## **2.2. Измерение времени истечения жидкости**

Измерения времени протекания проводились путем визуального наблюдения за мениском, проходящим две кольцевые метки на вискозиметре, с использованием секундомера с разрешением 0,001 с [3].

### 2.3. Измерение температуры

Температура в помещении лаборатории вязкости ГУ «УзНИМ» составляет  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вискозиметрическая ванна объемом 70 л используется при измерениях вискозиметров с внешней охлаждающей ванной для обеспечения теплового равновесия измерений. Производительность была протестирована в диапазоне от 10 до 100  $^{\circ}\text{C}$ .

Стабильность температуры составляет 0,01  $^{\circ}\text{C}$ . Измерения температуры осуществляются с помощью двух стандартных платиновых термометров сопротивления РТ100 с чувствительностью 0,1  $\Omega/^{\circ}\text{C}$ .

### 3. Экспериментальный этап

Сначала вискозиметры Ubbelohde были установлены в обоих вертикальных положениях и ожидали установления теплового равновесия. Для каждой контрольной жидкости значения кинематической вязкости были определены методом измерения, указанным в стандартах DIN51 562-1 и DIN51 562-4. Первичное измерение вязкости было реализовано с помощью вискозиметров Ubbelohde, показанных на рисунке 1. Перед всеми этими измерениями были охарактеризованы первичные показатели вязкости и определены их вискозиметрические константы.



Рис. 1. Система первичного измерения вязкости (метод 1)



Рис. 2. Вискозиметр Штабингера 3000 (метод 2)

Калибровка пар вискозиметров обычно выполнялась путем одновременного прямого сравнения двух пар вискозиметров в одной и той же ванне с регулируемой температурой. Для осуществления процедуры использовались различные жидкости с известной вязкостью.

Значения кинематической вязкости эталонных жидкостей (S3, N26, N7.5 и N350) измеряли с помощью вискозиметра Штабингера SVM 3000 (Anton-Paar) при 20, 25, 40, 60 и 80 °С. Этот инструмент предлагает от 0,2 до 10 000 МПа с воспроизводимостью 0,35% от измеренного значения (рис. 2).

#### 4. Измерения и результаты

Вязкость измерялась либо с помощью вискозиметров Ubbelohde, либо с помощью автоматизированного вискозиметр Штабингера SVM 3000 Anton Paar.

Измерения проводились с помощью 8 групп двух капиллярных вискозиметров типа Ubbelohde. Значение неопределенности для каждой кинематической вязкости было рассчитано в соответствии со стандартом DIN510562-4.

Для относительной дисперсии вязкости значение, определенное с помощью двух вискозиметров и с использованием двух термометров, составило [4, 5, 6]

$$S'_k{}^2 = (S_{KN})^2 + \frac{1}{2} \left[ (S'_{9V})^2 + (S'_{Ti})^2 + (S'_{incl})^2 \right] + \frac{3}{4} (S'_t), \quad (1)$$

$$U'_k = k \cdot S'_k \quad k = 2.$$

Вклады этих величин должны быть приняты во внимание для определения неопределенности измерения. Соответствующие относительные эмпирические стандартные отклонения и относительная дисперсия, снабженная соответствующим индексом, обозначались как S и S<sup>2</sup> соответственно [4, 5].

— Константа вискозиметра, S<sub>K</sub><sup>2</sup>

Если относительная неопределенность константы U<sub>K</sub> была указана в соответствии с сертификатом калибровки для k = 2, то дисперсия давала выражение [4, 5].

$$(S'_k{}^2) = \frac{1}{4} (U'_k)^2. \quad (2)$$

— Устройство времени, S<sub>Uhr</sub><sup>2</sup>

Предполагалось, что использовались два временных устройства, соответствующие обычной практике, для проведения измерений обоими вискозиметрами параллельно во времени в одной и той же ванне термостата [4, 5].

$$(S'_{Uhr})^2 = \frac{1}{3}(U_{Uhr})^2. \quad (3)$$

— Измерение температуры,  $S_{\theta,v}^2$

Вклад измерения температуры ( $S_{\theta}$ ) в погрешность определения вязкости включал неопределенность калибровки прибора для измерения температуры при конкретной температуре измерения, а также градиенты температуры в ванне термостата и определялся выражением

$$(S'_{V,v})^2 = \frac{1}{3}(S_V \cdot S_v)^2. \quad (4)$$

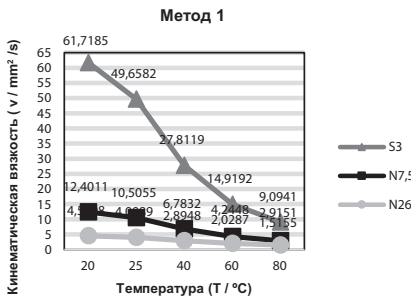


Рис. 3. Показатели значений кинематической вязкости и температуры для эталонных жидкостей S3, N7,5 и N26 в методе 1

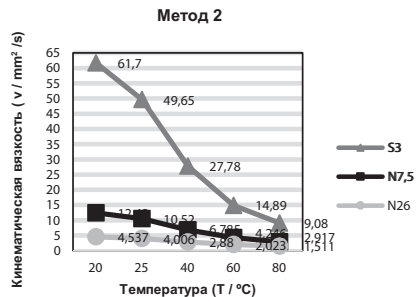


Рис. 4. Показатели значений кинематической вязкости и температуры для эталонных жидкостей S3, N7,5 и N26 в методе 2

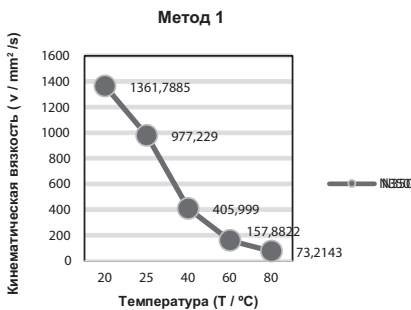


Рис. 5. Показатели значений кинематической вязкости и температуры для эталонной жидкости N350 в методе 1

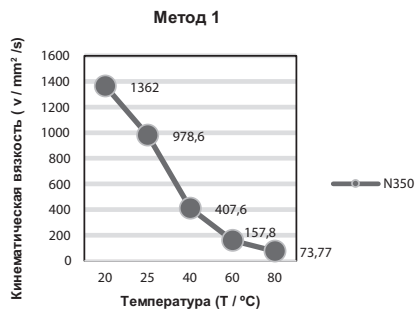


Рис. 6. Показатели значений кинематической вязкости и температуры для эталонной жидкости N350 в методе 2

**Таблица 9. Относительная дисперсия времени истечения в зависимости от  $n$  и  $\epsilon_t$**

$n$	$\epsilon_t$	$F$	$S_t^2 = \frac{(\epsilon_t \cdot F)^2}{n}$
3	$1 \cdot 10^{-3}$	0,591	$11,6 \cdot 10^{-8}$
3	$2 \cdot 10^{-3}$	0,591	$46,7 \cdot 10^{-8}$
4	$1 \cdot 10^{-3}$	0,486	$5,9 \cdot 10^{-8}$
4	$2 \cdot 10^{-3}$	0,486	$23,6 \cdot 10^{-8}$
5	$1 \cdot 10^{-3}$	0,430	$3,7 \cdot 10^{-8}$
5	$2 \cdot 10^{-3}$	0,430	$14,9 \cdot 10^{-8}$

— Ошибка наклона,  $S_N^2$

Вискозиметр помещали в держатель, снабженный плоской верхней пластиной, которая служила для определенной фиксации вискозиметра в термостабилизирующей ванне. Отклонение оси капилляра от вертикали до верхней пластины держателя не должно превышать 2 [4, 5].

$$S_N^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{C - C'}{C} \right)^2 = \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{\cos \theta'}{\cos \theta_0} \right)^2, \quad (5)$$

$$C' = C \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_0}; \quad \theta = 2^\circ, \quad \theta_0 = 0.$$

— Время истечения,  $S_t^2$

Этот вклад включал отклонения из-за визуальной или автоматической регистрации проходов мениска, а также изменения температуры во времени. Для каждой эталонной жидкости среднее значение ( $t$ ) времени истечения ( $t_i$ ) рассчитывали, как показано ниже. А также была определена относительная разница между самым длинным и самым коротким временем течения [4, 5].

$$t = \frac{1}{n} \sum t_i, \quad \epsilon_t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t}. \quad (6)$$

$n$  как количество раз потока в серии измерений,  $e_t$  как относительный диапазон расхода в серии измерений вискозиметр и  $F$  как коэффициент умножения приведены в таблице 9 [4, 5].

Измерения вязкости также проводились в диапазоне температур от 20 до 80 °С при атмосферном давлении с использованием автоматизированного вискозиметра Штабингера SVM 3001 Anton Paar. Два различных крутящих момента влияют на скорость измерительного

ротора. В состоянии равновесия два крутящих момента равны, и вязкость можно проследить до одной скорости измерения. SVM 3001 использует элементы Пельтье для быстрой и эффективной термостабильности. Погрешность температуры составляет  $\pm 0,02$  К ( $k = 2$ ) от 288,15 до 378,15 К. Точность измерения динамической вязкости составляет  $\pm 0,5\%$ . Общая неопределенность измерений (с учетом чистоты и обращения с образцами) оценивается в 2% [2, 7–9].

## 5. Вывод

В данной работе измерения вязкости проводились как со стеклянными капиллярными вискозиметрами, так и вискозиметром Штабингера с использованием сертифицированных эталонных жидкостей. В первом методе вискозиметры Ubbelohde использовались для определения времени истечения жидкостей, а затем рассчитывалась кинематическая вязкость. Во втором методе вискозиметры Штабингера измеряли динамическую вязкость, а кинематическая вязкость определялась с использованием плотности и динамической вязкости [6].

Результаты измерения значений кинематической вязкости по обоим методам оказались почти идентичными (рис. 3–6).

На оценку расширенной неопределенности метода 1 в основном влияют индивидуальные вклады постоянной вискозиметра и времени истечения. Основная идея этого исследования заключается в том, что использование вискозиметра Штабингера для измерения значения вязкости жидкостей является простым и точным способом из-за высокого значения неопределенности. Обеспечивая прослеживаемость с помощью вискозиметров Ubbelohde, результаты могут быть использованы для выдачи справочного сертификата жидкости и калибровки вискозиметров. В этой статье показана процедура определения значения вязкости каждой жидкости с использованием вискозиметров Ubbelohde и вискозиметра Штабингера при различных температурах. Значения очень похожи на то, что оценка может быть реализована в бюджете неопределенности вискозиметра Штабингера.

В соответствии с этим может быть дана оценка для уменьшения значений неопределенности метода 2 в будущих исследованиях.

## Литература

1. [https://www.homepages.ucl.ac.uk/~uceseug/Fluids2/Notes\\_Viscosity.pdf](https://www.homepages.ucl.ac.uk/~uceseug/Fluids2/Notes_Viscosity.pdf).

2. ISO/IEC98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности в измерении (GUM:1995)».
3. DIN51562-1, Determination of the Kinematic Viscosity Using the Standard Design Ubbelohde Viscometer (German Institute for Standardization DIN, Berlin, Germany, 1999).
4. DIN51562-4, Measurement of Kinematic Viscosity by means of the Ubbelohde Viscometer (German Institute for Standardization DIN, Berlin, Germany, 1999).
5. COOMET.M.V-S2 (587/Ru-a/12) COOMET supplementary comparison in the field of measurements of liquids kinematic viscosity.
6. PTB-Bericht ThEx-22 EUROMET.M.V-K3 key intercomparison of liquid viscosity measurements CCM.V-K3 Comparison Final report. 2018-06-04.
7. OIML R69 Стекланные капиллярные вискозиметры для измерения кинематической вязкости. Методики проверки.
8. Siddikov I. Kh., Sattarov Kh. A., Siddikov O. I. et al. Modernization of the Curricula in sphere of smart building engineering. Green Building (GREB). Ташкент, 2018. С. 33–47.
9. Эффекты поверхностного натяжения в капиллярных вискозиметрах: оценка с использованием экспериментального сравнительного анализа. A Malengo Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Strada delle Cacce 91, 10135 Torino, Italy.
10. Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports M. Tanaka, G. Girard, R. Davis, A. Peuto and N. Bignell. [Электронный ресурс] <https://drive.google.com/drive/folders/1oDKpLKynV1DnroqbmTXevaDvpHy8NvYr>.
11. <https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue>.
12. Webster J.G. Mechanical Variables Measurement Solid // Fluid and Thermal, CRC Press LLC, USA, 2000.



# COST EFFECTIVENESS OF LEGAL METROLOGY IN UZBEKISTAN AND APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO MEDICAL DEVICES PERFORMANCE PREDICTION

V. Nishonov<sup>1</sup>, N. Muminov<sup>2</sup>, S. Ismatullaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uzbek National Institute of Metrology, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup> Tashkent State Agrarian University, Tashkent, Uzbekistan

Phone: + 7 (998) 99 699 69 23

Email: v.nishonov@nim.uz

## **Abstract**

*In today's developing world a large number of different modern medical devices are used for diagnosis, treatment and prevention of diseases. In meantime safety and reliability of medical devices are becoming more emphasized as the time passes.*

*The aim of this study is to analyze application capability of artificial intelligence to medical devices performance prediction and to present the results of implementation of legal metrology framework.*

*The study was based upon the data collected from annual performance inspections in all healthcare institutions in the period from 2016 to 2021 for 37 types of medical devices. Data envelopment analysis was used to derive conclusions and the results were compared with results from Bosnia and Herzegovina.*

*Results show that the legal metrology framework is implemented effectively in Uzbekistan and it leads to a significant increase in the accuracy of medical devices. However highly recommended to apply artificial intelligence systems to medical device performance prediction in order to early detection of the degree of inconsistency of the medical devices.*

*Fault prediction of medical devices enables more effective maintenance strategies thus enhancing cost-effectiveness and decreasing the down time of equipment. This in turn leads to a more efficient healthcare system capable of facing challenges of the society.*

**Keywords:** *legal metrology, medical devices, accuracy, artificial intelligence, performance prediction*

## **1. Introduction**

Today, there are over 2 million different kinds of medical devices on the world market, categorized into more than 7000 generic devices groups [1]. More than 90% of diagnoses and treatments made by medical professionals are based on the results of analysis using medical devices, and the remaining

10% are based on other diagnostic methods such as direct physical examination and anamnesis. Since the measurements made by medical devices are used for diagnosis, prevention, monitoring of diseases, and life support, they pose a potential risk to the patient's life [2].

Medical devices, as such, have to be overseen and regulated at all phases of their lifespan, from ideation phase to utilization in healthcare institutions [3]. Rapid progress in the healthcare systems in recent years has been brought upon by the emergence of biomedical engineering and significant advancements in digital technologies.

Legislation on medical devices in the European Union (EU) is managed by the European Commission in close cooperation with Health Authorities of the member states. Medical devices manufacturers must have CE Marking, comply with international standards and EU legislation in order to place the certain device on the EU market. The EU legislation has been in a transition period from the Medical Devices Directives (MDD90/385/EEC and 93/42/EEC) [4, 5] to the Medical Device Regulations (MDR2017/745 and 2017/746) [6, 7]. The new MDRs entered into force in 2017 and replaced the previous MDDs [6, 7].

In the United States of America (USA), the Food and Drug Administration (FDA) is the responsible institution for regulating medical devices [8]. In Australia, the responsible body for regulating medicine and medical devices is The Therapeutic Goods Administration (TGA) which is part of the Australian Government Department of Health and Ageing [9]. China Food and Drug Administration (CFDA) oversees medical devices and ensures their safety and effectiveness, and protects human health and life in China [10]. This responsibility is taken by Pharmaceuticals and Medical Devices Agency (PMDA) in Japan [11]. Countries worldwide have initiated efforts and constructed guidelines for medical device surveillance. Best practices of MD surveillance are those that are evidence-based and Bosnia and Herzegovina [12–18], Portugal [19], Serbia [20] and Saudi Arabia [21] are already implementing these practices. A paper by Badnjevic et al., [3] revises all PMS strategies laid out by national and international guidelines and proposes the best solution that could be used as a reference standard.

In Uzbekistan, the demand for healthcare increased dramatically in the last years because of the rising prevalence of preventable, non-communicable diseases and the suboptimal use of healthcare resources [22]. The two main organizations taking responsibility for medical device performance inspection according to metrological characteristics of measurands are the

Uzbek National Institute of Metrology (UzNIM) [23] and the State Center of Expertise and Standardization of Medicines, Medical Devices, and Medical Equipment (SCESMMDME) of The Ministry of Health [24].

In cooperation with these two organizations, a list of medical devices with measuring function has been developed and registered by the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan on August 22, 2017, under No. 2916 [25]. This decree was developed based on the learning experience of Moldova [26], Russia [27], Belarus [28], Ukraine [29], Kirgizia [30], and Kazakhstan [31] and comparison between their laws and decrees related to list of measuring and testing devices that are subject to metrological control. For the purpose of this study, the devices that share the same measurement or testing function are grouped and presented as a single device, and those are: Electroencephalograph (EEG), Electrocardiograph (ECG, including holter, cardio monitor), Pulse oximeter, Sphygmomanometer, Electromyograph, Exoencephalograph, Rheographs (including Rheoanalyzers), Ultrasound diagnostic device, hematological analyzer, biochemical analyzer, and physiotherapy equipment (including low frequency therapy devices, ultra high frequency therapy devices, ultrasound therapy devices).

## **2. Methods and Materials**

According to the Uzbek legal metrology framework, medical device performance inspections are conducted annually. In this study, data was collected on the territory of Uzbekistan during the period of January 1, 2016 to December 31, 2021.

In order to analyze the results of implementation of the legal metrology framework, a total number of medical devices was identified and all reports corresponding to those devices were reviewed. Table 1 presents the data regarding inspected and non-inspected medical devices in healthcare institutions.

The inspected medical devices were further classified into two categories, accurate (A) where measured output of the device is within maximum permissible error for all measurement points and faulty (F) where measured output of the device is outside the permissible error limit for the inspected device.

Data envelopment analysis (DEA) is a helpful nonparametric method in operations research for performance evaluation by measuring the efficiency scores of the decision-making units (DMUs). The fundamentals of DEA are based on a nonparametric approach that solves the problem of

determining the efficiency of various DMUs according to how inputs are converted into outputs [32].

Two inputs and one output were chosen:

X1 — percentage of medical devices that were carried out metrological control in 2016.

X2 — percentage of medical devices that were carried out metrological control in 2021

Y1 — percentage of increase of accurate medical devices, where applicable.

### 3. Results and Discussion

When comparing the ratios of inspected and non-inspected medical devices in the first year of implementation of annual performance inspections and 2021, the results indicate a substantial improvement and a 71% increase in the percentage of inspected devices accompanied with the same reduction in non-inspected devices (Table 1).

**Table 1. Percentage of inspected and non-inspected medical devices**

Year	2016 (%)	2021 (%)
Inspected medical devices	15	86
Non-inspected medical devices	85	14

The fraction of non-inspected medical devices decreased significantly when comparing 2016 and 2021. In 2016, the fraction of non-inspected medical devices decreased from 75% to 14% while the fraction of inspected devices increased accordingly from 15% to 86%. The estimated figures for 2016 and 2021 indicate that this trend will continue, and all medical devices will be covered by metrological control in the upcoming years.

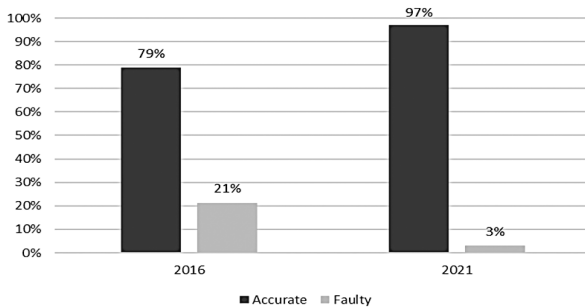


Fig. 1. Increase in the accuracy of medical devices between 2016 and 2021

An important aspect to consider, both regardless and with respect to the number of inspected devices is the ratio of accurate and faulty devices. As indicated in Figure 1, in 2016, almost 21,3% of inspected medical devices were faulty, while 78,7% of them were accurate. In 2021, 7,4% of inspected medical devices were faulty, while 92,6% of them were accurate. This shows a substantial increase in the safety and performance reliability of medical devices due to the implementation of the legal metrology framework.

Table 2 illustrates key findings of metrological control of medical devices after the 6 year implementation of the legal metrology framework. The most significant improvement in the number of devices subjected to metrological control was observed in electromyography devices, where an 84% point increase is observed. On the other hand, the fraction of pulse oximeter devices subjected to metrological control has experienced the lowest increase of 41%. The reason for the low percent increase observed with pulse oximeters is the fact that they have been incorporated in legal metrology in 2020 while other devices were incorporated much earlier.

**Table 2. Improvement in the accuracy of each inspected medical device in 2021 compared to 2016**

Purposed Medical Device	The percentage of inspected medical devices in 2016, $X_1$ (%)	The percentage of inspected medical devices in 2021, $X_2$ (%)	Percent point, (%)	2016		2021		Percent point, $Y_1$ (%)
				X (%)	✓ (%)	X (%)	✓ (%)	
EEG	23	89	76	23	77	2	98	21
ECG	17	92	75	25	75	6	94	19
Pulse oximeter	0	41	41	0	0	39	61	0
Sphygmomanometer	21	85	64	24	76	8	92	16
Electromyograph	7	91	84	21	79	0	100	21
Exoencephalograph	11	93	82	18	82	0	100	18
Rheographs	14	87	73	19	81	0	100	19
Ultrasound diagnostic device	19	90	71	25	75	9	91	16
Hematological analyzer	22	94	72	22	78	1	99	21
Biochemical analyzer	20	95	75	23	77	4	96	19
Physiotherapy equipment	15	86	71	35	65	11	89	24
Average:	15	86	71	21	69	7	93	17

A factor that has to be taken into consideration is the import rate, which significantly affected the rate of metrological inspection of electromyography devices, where a significant increase in their metrological inspection rates was observed in accordance with their increased presence on the market.

The fraction of accurate electromyograph, exoencephalograph, and rheograph devices inspected in 2021. is 100%, as indicated in Table 3. In comparison with 2016, metrological inspection of these devices indicates a 21%, 18% and 19% increase in the percentage of accurate devices respectively. This emphasizes the positive effect that regular metrological control has.

When observing all of the medical devices encompassed under the legal metrology framework in Uzbekistan, the percentage of accurate medical devices has increased from 69% to 93% over the course of 6 years, while the overall percentage of inspected devices increased from 15% to 86% over the same time period.

To emphasize the results, the discussion focuses only on the medical devices exhibiting the highest and lowest increase in the percentage of inspected devices in the period of 6 years. The highest increase is observed in physiotherapy equipment while the lowest increase is observed in sphygmomanometers.

In order to emphasize the significance of this methodology, the results achieved in Uzbekistan are compared with the results achieved in Bosnia and Herzegovina. The results of implementation of the legal metrology framework in these two countries are comparable due to the fact that the guidelines for performance evaluation have the same permissible error limits. When considering all medical devices, the accuracy was significantly higher in Bosnia and Herzegovina in the initial year, hence the implementation of legal metrology framework did not result in a large increase in the percentage of accurate devices (Figure 2).

The statistical analysis shows that the market coverage of medical devices is directly proportional to their higher accuracy since most prominently used medical devices are the ones whose performance is most vital for healthcare workers. Additionally, increased import rate of medical devices consequently leads to a conclusion that old and faulty medical devices are decommissioned to use new medical devices. The most crucial point is that every hospital, clinic and diagnostic center should understand decommissioning impacts to increase the accuracy and reliability of medical devices.

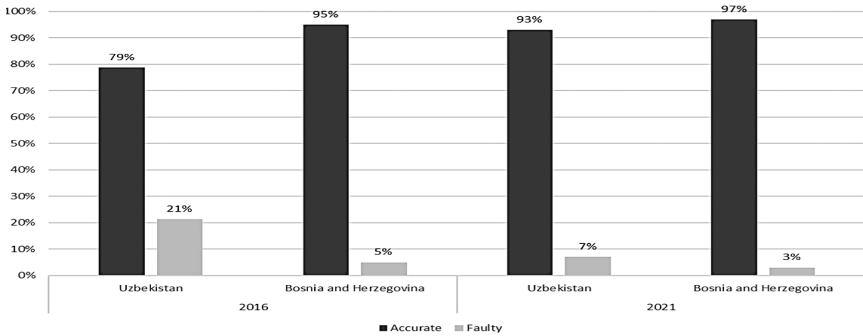


Fig. 2. Improvement in the accuracy and performance of medical devices in Bosnia and Herzegovina and Uzbekistan

The data collected during annual performance inspections regarding the visual state of the device, electrical safety and performance is digitized [33] to maximize its usefulness. As this data is collected in a standardized manner, it ensures traceability of measurements made by medical devices and the best usefulness of data is derived by using it for predictive modeling of device behavior to implement the best possible maintenance strategies. It means that these digitalized data allows to apply performance prediction of medical devices.

Based on existent data highly recommended to develop performance prediction model by using artificial intelligence (AI).

AI covers digital methods, ranging from computer vision to deep learning techniques, which model intelligent behavior without human intervention. It has been applied to many areas of medicine, especially to aid the detection and prevention of disease. In respect to traditional computer programming, AI methods emulate the decision-making process of humans.

In order to implement AI to the medical device performance prediction, medical devices inspection information will be used and it's block diagram is given in figure 3. Mainly medical devices inspection consists of 3 charts:

- a) visual inspection — cleanliness, labeling/markings, casing and part integrity, manufacturer, type, serial number;
- b) assaying — main voltage, protective earth resistance, connection to the patient;
- c) determination of metrological characteristics — measured values depending medical devices functions and it's accuracy.

In the block diagram medical devices inspection information will be used as an input layer ( $X_{1,...,z}$ ) and data which is processed by expert system will be used as an output layer.

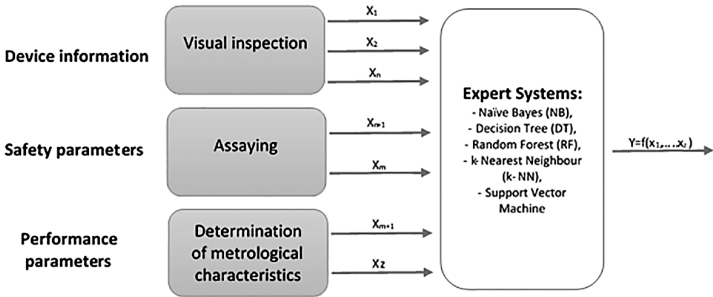


Fig. 3. Block diagram for the application of AI to MD performance prediction

#### 4. Conclusion

Legal norms in the field of medical metrology in the Republic of Uzbekistan are aimed at protecting the rights and legitimate interests of citizens and are regulated by the Uzbek Agency for Technical Regulation. Annual metrological inspection of medical devices serves to ensure continuous quality of diagnoses and treatments given to patients and human health and well-being.

The results of this study, which is the first of this kind for Uzbekistan, shows that effective implementation of the legal metrology framework for medical measurement devices has the potential to prevent possible errors in the use of medical devices. In comparison between the results of case studies which were carried out in Bosnia and Herzegovina, the results of this study suggest similar trends as the results of research carried out in Uzbekistan. Hence, it can be concluded that the proposed methodology is indeed effective.

In addition to providing health benefits for all patients and healthcare workers, implementation of the legal metrology framework leads to an increase in cost-effectiveness of maintenance systems and makes planning of maintenance possible. Future endeavors will be devoted towards development of artificial intelligence based algorithms for performance prediction of medical devices thus resulting in predictive maintenance infrastructure that will significantly contribute to both cost-effectiveness and accuracy of diagnostic processes in healthcare.



## References

1. Bosnjakovic A., Dzemic Z. Legal Metrology: Medical Devices. Proceedings of the International Conference on Medical and Biological Engineering, 2017 March 15, Vol. 62, Sarajevo, B&H, doi: 10.1007/978-981-10-4166-2\_88.
2. Badnjević A., Cifrek M., Magjarević R., Džemić Z. (eds). Inspection of Medical Devices. Series in Biomedical Engineering, 2018, Springer, Singapore
3. Badnjević A. et al. Post-market Surveillance of Medical Devices: A Review' 1 Jan. 2022: 1–15.
4. Council Directive 90/385/EEC of 20 June 1990 on the approximation of the laws of the Member States relating to active implantable medical devices, retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:31990L0385>.
5. Council Directive 93/42/EEC of 14 June 1993 concerning medical devices, retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31993L0042>.
6. Regulation (EU) 2017/745 of the european parliament and of the council of 5 April 2017 on medical devices, amending Directive 2001/83/EC, Regulation (EC) No 178/2002 and Regulation (EC) No 1223/2009 and repealing Council Directives 90/385/EEC and 93/42/EEC, retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0745>.
7. Regulation (EU) 2017/746 of the european parliament and of the council of 5 April 2017 on in vitro diagnostic medical devices and repealing Directive 98/79/EC and Commission Decision 2010/227/EU, retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0746>.
8. World Health Organization. <https://www.who.int/health-topics/medical-devices>.
9. Australian regulatory guidelines for medical devices (ARGMD), 2011 May, Version 1.1.
10. Zhang W., Liu R., Chatwin C. Marketing authorization of medical devices in China // Journal of Commercial Biotechnology, 2016 January, doi:10.5912/jcb720.
11. Konishi A., Isobe S., Sato D. New Regulatory Framework for Medical Devices in Japan: Current Regulatory Considerations Regarding Clinical Studies // Journal of Vascular and Interventional Radiology, volume 29, ISSUE5, P. 657–660, 2018 May 01, doi:10.1016/j.jvir.2017.12.022.
12. Gurbeta L., Alic B., Dzemic Z., Badnjevic A. (2017). Testing of infusion pumps in healthcare institutions in Bosnia and Herzegovina. In EMBEC & NBC2017. P. 390–393. Springer, Singapore.

13. Gurbeta L., Alic B., Dzemic Z., Badnjevic A. Testing of dialysis machines in healthcare institutions in Bosnia and Herzegovina. In *EMBEC & NBC2017* 2017 Jun 11. P. 470–473. Springer, Singapore.
14. Gurbeta L., Badnjevic A., Dzemic Z. et al. Testing of therapeutic ultrasound in healthcare institutions in Bosnia and Herzegovina. In *2nd EAI International Conference on Future Access Enablers of Ubiquitous and Intelligent Infrastructures* 2016 Oct. P. 24–25.
15. Badnjevic A., Gurbeta L., Jimenez E. R., Iadanza E. Testing of mechanical ventilators and infant incubators in healthcare institutions. *Technology and health care*. 2017 Jan 1; 25 (2): 237–50.
16. Gurbeta L., Dzemic Z., Bego T. et al. (2017). Testing of anesthesia machines and defibrillators in healthcare institutions. *Journal of medical systems*, 41 (9), 1–10.
17. Gurbeta L., Badnjević A. Inspection process of medical devices in healthcare institutions: software solution. *Health and Technology*. 2017 Mar; 7 (1): 109–17.
18. Gurbeta L., Badnjević A., Žunić E. et al. Software package for tracking status of inspection dates and reports of medical devices in healthcare institutions of Bosnia and Herzegovina. In *2015 XXV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT) 2015* Oct 29. P. 1–5. IEEE.
19. Pires C., Duarte D., Cavaco A. Analysis of Medical Device Alerts Issued by the Portuguese Medicines Agency: Scoping the Purpose of New Regulatory Recommendations. *Acta Médica Portuguesa*. 2021 Mar 1; 34 (3): 201–8.
20. Ivanovska E., Tonić-Ribarska J., Lazova J. et al. Obezbeđivanje kliničkih dokaza u skladu sa MDR2017/745-novi izazovi za proizvođače u industriji medicinskih sredstava. *Arhiv za farmaciju*. 2019 Jan; 69 (1): 39–49.
21. Al-Surimi K., Househ M., Almohandis E., Alshagathrh F. Establishing a national medical device registry in Saudi Arabia: lessons learned and future work. In *Enabling Health Informatics Applications 2015*. P. 23–26. IOS Press.
22. Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan [https://ssv.uz/uz/open\\_ministry/category/ochi-malumotlar/](https://ssv.uz/uz/open_ministry/category/ochi-malumotlar/)
23. Uzbek National Institute of Metrology. <https://nim.uz/en/about-us/general-information/>
24. State center for expertise and standardization of medicines, medical devices and medical equipment. <https://uzpharm-control.uz/en/>
25. Decree of the Uzbek Agency for Standardization, Metrology and Certification and the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan August 22, 2017 N 2916. “On approval of the list of measuring instruments and test instruments intended for medicine to be subject to metrological examination”.

26. Decree of the Government of the Republic of Moldova September 13, 2016 N 1042 “On approval of the official list of measuring instruments and measurements subject to legal metrological control”.

27. Decree of the Government of the Russian Federation April 20, 2010 N 250 “On the list of measuring instruments, the verification of which is carried out only by state regional metrology centers accredited in the prescribed manner in the field of ensuring the uniformity of measurements”.

28. Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus November 29, 1996 N 255 “On approval and enforcement of the Regulations on metrological support of healthcare institutions of the Republic of Belarus”.

29. Decree of the Cabinet Ministry of the Republic of Ukraine June 4, 2015 N 374 “On approval of the list of categories of measuring equipment subject to periodic verification”.

30. Decree of the Government of the Republic of Kyrgyz September 27, 2012 N 664 “On measures to implement the Law of the Kyrgyz Republic “On ensuring the uniformity of measurements”.

31. Decree of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan November 24, 2009 N 765 “On approval of the List of medical equipment, which is a means of measurement”.

32. Wong W.-P. A Global Search Method for Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis: Procedures and Managerial Perspectives. *Symmetry* 2021, 13, 1155. doi:10.3390/sym13071155.

33. Gurbeta L., Badnjević A., Kurta E. (2020) eVerlab: Software Tool for Medical Device Safety and Performance Inspection Management. In: Badnjevic A., Škrbić R., Gurbeta Pokvić L. (eds) *CMBEBIH 2019. CMBEBIH 2019. IFMBE Proceedings*, vol 73. Springer, Cham.

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ УЧАСТНИКОВ**

**II Международной научно-практической  
конференции молодых ученых  
и специалистов  
«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**



**#ЗАНАМИБУДУЩЕЕ**  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ



# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ НЕСООТВЕТСТВИЙ В АСПЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

А. А. Аверьянов

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром проектирование» (ООО Газпром проектирование), Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID0000-0002-6884-5769, e-mail: aaverianov@proektirovanie.gazprom.ru

## **Аннотация:**

*Качественная реализация инженерно-экологических изысканий на всех этапах производственной цепочки строится на соблюдении правил и требований, установленных в нормативной документации. В работе рассмотрено одно из несоответствий в нормативной документации, оказывающее непосредственное влияние на процедуры снятия, сохранения и дальнейшего использования плодородного слоя почвы.*

**Ключевые слова:** инженерно-экологические изыскания, нормативная документация, почва, органическое вещество, гумус, углерод органических соединений

В аспекте реализации инженерно-экологических изысканий (далее — ИЭИ) на фоне заурядных ошибок в нормативных документах выделяется комплекс несоответствий, связанных с исследованием органического вещества почв, к которым относится понятийное расхождение в п. 2.1.1 ГОСТ 17.5.3.06-85, устанавливающим в качестве метода определения содержания гумуса ГОСТ 26213-91. Сам же ГОСТ 26213-91 не содержит ни одного упоминания гумуса, оперируя исключительно термином органическое вещество. Принимая во внимание тот факт, что органическое вещество почвы и гумус не являются эквивалентными объектами [1, 2, 3], группой контроля ИЭИ ООО «Газпром проектирование» была поставлена цель достоверно определить, что именно является результатом определения по ГОСТ 26213-91.

Для достижения поставленной цели на первом этапе была организована фокус-группа, состоящая из пятнадцати специалистов почвоведов, имеющих прямое или косвенное отношение к ИЭИ, перед которыми был поставлен вопрос: «Что является результатом определения по методике ГОСТ 26213-91? Варианты ответа: органическое вещество, гумус, углерод органических соединений» (рис. 1).

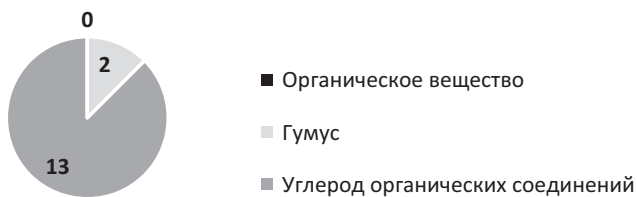


Рис. 1. Результаты фокус-группы

Рисунок 1 демонстрирует уверенность специалистов в том, что результатом определения по ГОСТ 26213-91 является углерод органических соединений. В качестве аргумента при данном ответе высказывалось описание метода в Разделе 1 ГОСТ 26213-91 и отсутствие на текущий момент метода прямого определения гумуса, являющегося в количественном выражении расчетным показателем [4].

На втором этапе нами была проведена серия расчетов, в которых в уравнения химических реакций были подставлены значения раствора восстановителя из таблицы 2 ГОСТ 26213-91, регламентирующей требования к построению градуировочного графика для последующего фотометрирования.

На рисунке 2 представлены градуировочные графики, полученные на основании значений, представленных в таблице 2 ГОСТ 26213-91, и прямого пересчета по уравнениям химических реакций.

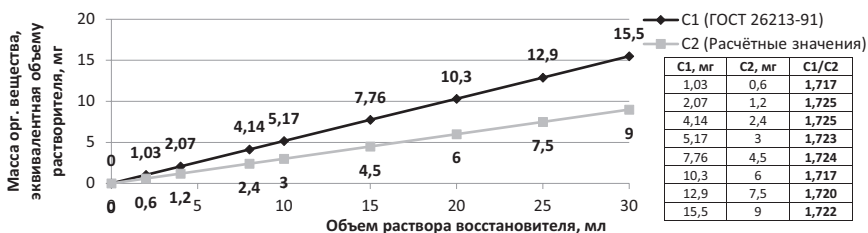


Рис. 2. Сравнение градуировочных графиков

Сравнительный анализ полученных значений демонстрирует, что в ГОСТ 26213-91 без пояснений учтен стандартный коэффициент пересчета 1,724 с незначительными отклонениями, вероятно вызванными некорректным округлением. Соответственно, условным результатом определения по ГОСТ 26213-91 является гумус. Коэффициент 1,724 был предложен более 150 лет назад на основании имеющихся

в то время сведений о содержании углерода в гуминовой кислоте, равном в среднем 58% [5, 6]. Современные экспериментальные данные свидетельствуют о существенных различиях фракционно-группового состава гумуса разных типов почв, что приводит к ошибке при унифицированном подходе к расчету содержания гумуса [7, 8]. Таким образом, актуализируется необходимость проработки вопроса установления и использования дифференцированных коэффициентов во избежание некорректного определения содержания гумуса и границ плодородного слоя почвы.

### Литература

1. ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 1988. 10 с.
2. Орлов Д.С., Гришина Л. А. Методика по изучению содержания и состава гумуса в почве. М.: Изд-во МГУ, 1968. 83 с.
3. Орлов Д. С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 376 с.
4. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
5. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. М.: Наука, 1980. 287 с.
6. Королев В. А., Громовик А. И. К вопросу о расчете содержания гумуса в почвах разного типа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 2. С. 152–156.
7. Завьялова Н. Е., Конниц В. Л. Влияние приемов землепользования на трансформацию гуминовых кислот дерново-подзолистой почвы Предуралья // Почвоведение. 2011. № 1. С. 103–110.
8. Бирюкова О. Н., Орлов Д. С. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России // Почвоведение. 2004. № 2. С. 171–188.



# ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПОВ УРОВНЕМЕРОВ ВОЛНОВОДНЫХ

А. В. Авчинник

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ»), г. Самара, Российская Федерация  
E-mail: ino86@mail.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы проведения испытаний уровнемеров. Приводятся основные проблемы, возникающие при испытании и утверждении типа уровнемеров от азиатских поставщиков, которые только заходят на российский рынок, а также рекомендации для их решения. Полученные результаты могут быть использованы специалистами метрологических лабораторий.*

**Ключевые слова:** *уровнемеры, область применения, принцип работы, метрологические характеристики, испытания*

На сегодняшний день большое количество производителей и представителей компаний, которые производят уровнемеры и не только, ушли с рынка Российской Федерации (далее — РФ). Азиатские представители в настоящее время начали активно наращивать обороты по производству и продаже своих средств измерений на территории нашей страны, но их метрологические характеристики при проведении испытаний не соответствуют заявленным. Также при общении с представителями компаний выявлена проблема того, что часто отсутствует утвержденная программа испытаний, а также часто не известен класс точности или погрешность прибора, а при калибровке он не может сохранить метрологические характеристики, которые были изменены после калибровки.

В данной работе был проведен анализ средств измерений и их технической документации, методик испытаний и поверок, возникающих основных вопросов при испытаниях.

По результатам был сделан вывод о том, что нужно крайне тщательно относиться к новым приборам, которые появляются на территории РФ, и совершать их приобретение на предприятия с крайней осторожностью. Также был сделан вывод о том, что средства измерений, которые заходят на наш рынок, обладают не точными, а порой

и совсем не теми характеристиками, которые указаны в технической документации, которая поступает к нам.

### **Литература**

1. Уровнемеры радарные волноводные «A FLOW» серии L-RDA, описание типа, МП 0945-7-2019.
2. Уровнемеры радарные волноводные Autrol модели ALT6100, описание типа, МП 6585-1-2017.
3. Уровнемеры радиоволновые УЛМ-ЗБ, описание типа, МП-214/10. 2020.
4. Уровнемеры волноводно-радарные ТИТАН-370У, описание типа, МП 2511/0004-16.
5. Уровнемеры радарные микроволновые Левелсенс, программа испытаний, ПИ 26.51.52/12-006-631101012306-2018.

## РАЗРАБОТКА АРМ СПЕЦИАЛИСТА СЛУЖБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**Р. В. Агафонов**

Общество с ограниченной ответственностью

«Газпром трансгаз Краснодар»

(ООО «Газпром трансгаз Краснодар»), г. Краснодар, Российская Федерация

E-mail: r.agafonov@tgk.gazprom.ru

### **Аннотация**

*С целью обеспечения отказоустойчивой работы оборудования и оперативного отслеживания параметров системы диспетчерского учета было разработано и внедрено двухмодульное приложение (АРМ), которое позволяет анализировать данные с узлов измерения расхода газа, поступающие от систем телеметрии, и проводить удаленную диагностику оборудования. Первый модуль приложения необходим специалисту по АСУ ТП для того, чтобы в режиме реального времени контролировать состояние всего оборудования управляющей системы диспетчерского учета. Вторым модулем предназначен для специалиста по метрологии, с помощью него он анализирует данные с узлов измерения расхода газа, поступающие в систему диспетчерского учета.*

**Ключевые слова:** диагностика оборудования, единое информационно-технологическое пространство, учет расхода газа, телеметрия, узел измерения расхода газа, диспетчеризация, протоколы передачи данных

Любое производство невозможно представить без приборов, автоматики или других сложных механизмов. В ООО «Газпром трансгаз Краснодар» (Общество) за бесперебойное и надежное функционирование измерительного оборудования, его своевременную поверку, обеспечение точности проводимых измерений, дистанционную передачу данных отвечают специалисты службы автоматизации и метрологического обеспечения (САиМО). В эксплуатационной зоне ответственности Общества более 65 000 средств измерений, 1600 узлов измерения расхода газа и 61 000 измерительных каналов. С целью оперативного управления Газотранспортной системой информация с средств измерений, узлов измерения расхода газа передается в систему оперативного диспетчерского управления.

Для автоматизации процессов управления транспортировкой газа и производственно-диспетчерского управления в 2014 г. в промыш-

ленную эксплуатацию внедрена интеграционная компонента Единого информационно-технологического пространства (ИК ЕИТП), составляющая часть системы диспетчерского учета в Обществе. Информационной составляющей системы ИК ЕИТП являются данные, собираемые системами телеметрии с узлов измерения расхода газа, установленных на газораспределительных станциях.

Инфраструктурной средой для инсталляции и работы Единого информационно-технологического пространства является Информационно-мониторинговая управляющая система (ИМУС) — комплекс программно-технических средств, обеспечивающих сбор, обработку и представление различной технологической и коммерческой информации о работе систем газораспределения. В ходе эксплуатации данного ПО ИМУС у специалистов возник ряд трудностей:

1) для обеспечения работоспособности системы диспетчерского учета необходимо поддерживать исправное техническое состояние оборудования ЕИТП и в случае выхода его из строя оперативно заменять поврежденные (отработанные) элементы. Так как диагностика оборудования не была предусмотрена системой, из-за этого время реагирования на ремонт и проведение внепланового технического обслуживания было высоким;

2) отсутствие комплексных отчетов в ПО ИМУС не позволяет в полном объеме оперативно анализировать данные о работе компонентов узлов измерения расхода газа, соответствие параметров, введенных в вычислители, с контрактными, устанавливать наличие связи между узлом измерения расхода газа и коммутационным шлюзом.

Поэтому становится актуальной задача по созданию АРМ для работы с системой диспетчерского учета, позволяющего просматривать в режиме реального времени состояние всего оборудования ИК ЕИТП, обеспечивающего удобный анализ данных с узлов измерения расхода газа, с целью исключения негативного влияния возможно допустимых ошибок. Данное приложение с помощью разработанных методик по проверке данных, поступающих от системы телеметрии, позволяет сократить время реагирования на изменение внешних и внутренних условий поставок газа потребителям и минимизирует технологические и коммерческие потери Общества.

В результате руководители и специалисты Общества получили АРМ, с помощью которого:

— у специалистов по метрологическому обеспечению появился удобный инструмент для просмотра и анализа данных, поступающих от системы телеметрии с узлов измерения расхода газа;

— администратор системы может оперативно реагировать на неисправность оборудования для обеспечения работоспособности оборудования системы диспетчерского учета.

### Литература

1. Джепикс Ф., Троелсен Э. Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core. М.: Вильямс, 2018. 1328 с.
2. Прайс М. C# 7 и .NET Core. Кроссплатформенная разработка для профессионалов. СПб.: Питер, 2018. 640 с.
3. Фримен А. ASP.NET Core MVC2 с примерами на C# для профессионалов. М.: Диалектика-Вильямс, 2019. 1008 с.
4. Макрин А.В. Программирование на SQL. Учебное пособие для СПО. М.: Юрайт, 2019. 435 с.
5. Моргунов Е.П. PostgreSQL. Основы языка SQL. СПб.: БХВ-Петербург, 2019. 336 с.
6. Виссер Д. Разработка обслуживаемых программ на языке C#. М.: ДМК Пресс, 2017. 192 с.
7. Оллифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2020. 1008 с.
8. Виссер Д. Разработка обслуживаемых программ на Java и C++ . Принципы, паттеры и методики. М.: Вильямс, 2016. 704 с.

# ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НАД НАСЫЩЕННЫМИ РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ

Н. Ю. Александров

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: n.yu.aleksandrov@vniim.ru

## **Аннотация**

*Ведется работа над исследованием различных солевых растворов для воспроизведения значений относительной влажности. Анализ информационной базы данных по относительной влажности над насыщенными растворами солей показывает, что данные различных источников отличаются и не соответствуют современным требованиям точности. В связи с актуальностью проблемы были проведены исследования воспроизведения относительной влажности воздуха над различными растворами солей. В качестве солей применялись следующие вещества:  $\text{LiCl}$ ,  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CsCl}$ . Были проведены исследования воспроизведения относительной влажности при помощи насыщенный солевых растворов при различных температурах. Исследования показали, что нестабильность воспроизведения солевого раствора не превышает  $\pm 0,5\%$  относительной влажности.*

**Ключевые слова:** *вещества, емкостной датчик, относительная влажность, поверочные комплексы, насыщенный солевой раствор*

Для обеспечения единства измерений при поверке гигрометров требуется оборудование, которое с высокой точностью воспроизводит и поддерживает значение относительной влажности. В общепринятой практике используются два способа воспроизведения и поддержания относительной влажности, где первый способ — смешение потоков, реализованный в генераторах влажного газа, второй способ — на свойстве насыщенных растворов солей, реализованный в гигростатах [1].

Генераторы относительной влажности являются дорогостоящими и уязвимыми при транспортировке, в то время как системы на свойстве насыщенных растворов солей, которые обеспечивают установление фиксированных значений относительной влажности, являются

дешевым, переносным и удобным средством воспроизведения относительной влажности [2]. Среди химических систем используются насыщенные растворы соли, в которых растворенное вещество является нелетучим [3].

В качестве таких систем применяются поверочные комплексы, в которых используется набор твердой фазы соли и эталонный гигрометр. При помощи гигрометра определяется текущее значение относительной влажности над насыщенным солевым раствором. Погрешность измерения относительной влажности определяется погрешностью гигрометра и составляет  $\pm 1\%$ . Приготовленный насыщенный солевой раствор предусматривает воспроизведение только одного значения относительной влажности. Другое значение относительной влажности достигается путем приготовления иного насыщенного солевого раствора.

При использовании аналогичных комплексов необходимо учитывать следующие недостатки:

1. Время поверки существенно увеличивается из-за нестабильности рабочего объема, в котором проводится передача единицы относительной влажности и необходимости контроля состояния рабочего объема.
2. Приготовленные насыщенные растворы предусматривают лишь однократное применение.

Вышеуказанные недостатки можно исключить, если использовать термостатируемый рабочий объем с заданным значением температуры, который предполагает многократное использование насыщенного солевого раствора.

Перед началом исследований проводилась градуировка емкостного датчика эталонного гигрометра. Процедура градуировки выполнялась 3 раза, после этого определялось среднее значение градуировочной характеристики датчика и ее абсолютная погрешность. После градуировки датчик помещался в колбу (объем 50 мл) с заранее приготовленным насыщенным солевым раствором.

Для приготовления насыщенного раствора соли использовалась дистиллированная вода и твердая фаза солей (чистота соли не хуже ЧДА). Количество соли в воде определялось исходя из справочных данных растворимости [4]. Далее твердая фаза соли и вода помещались в стеклянную колбу и перемешивались. Приготовленный раствор с емкостным датчиком устанавливались в жидкостной термостат, где в качестве рабочей жидкости применяется водоспиртовой раствор.

Температура в колбе, погруженной в рабочую жидкость термостата, поддерживалась с нестабильностью не более  $\pm 0,004$  °С.

В различных источниках приводятся справочные данные о насыщенных растворах солей, которые необходимо проанализировать, а также провести оценку неопределенности, что является необходимым шагом для реализации различных фиксированных значений относительной влажности [5].

Перечень стандартных неопределенностей приведен в таблице 1.

**Таблица 1. Бюджет стандартных неопределенностей**

№ пп.	Наименование составляющей неопределенности	Тип неопределенности
1	СКО среднего результата измерений эталонного гигрометра	$U_a$
2	Градуировка эталонного гигрометра	$U_b$
3	Оценка степени достигнутого равновесия в измерительной ячейке	$U_b$
4	Нестабильность процесса равновесного состояния	$U_b$
5	Влияние примесей в растворе	$U_b$
6	Чистота основного вещества	$U_b$
7	Воспроизводимость относительной влажности раствором соли	$U_b$
8	Поддержание температуры в измерительной ячейке	$U_b$

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты:

- установлена возможность многократного применения насыщенного солевого раствора для воспроизведения относительной влажности;
- произведена оценка погрешности воспроизводимости относительной влажности;
- расширен перечень растворов солей;
- уточнены справочные данные воспроизведения относительной влажности;
- произведена оценка бюджета неопределенностей солевого раствора.

Полученные результаты исследований насыщенных растворов для воспроизведения относительной влажности позволяют утверждать о перспективности направления.



## Литература

1. Векслер А., Хасегава С. Относительная влажность и температура некоторых насыщенных растворов солей в диапазоне температур от 0 до 50 °С // Сборник конференций. 1954. С. 19–26.
2. Дубиков Н.И., Подмурная О.А. Измерения относительной влажности над растворами солей // Измерительная техника. 2001. С. 56–57.
3. Мартин С. Контроль кондиционирующей атмосферы насыщенными соевыми растворами // Влажность. 1963. № 3. С. 503–507.
4. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1977.
5. Терещенко А.Г. Относительная влажность воздуха над насыщенными растворами. Достоверность данных / Библиография. 2009. 23 с.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ

И. П. Аронов

Уральский научно-исследовательский институт метрологии — филиал  
Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский  
научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»  
(УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),  
Екатеринбург, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8617-445>  
E-mail: AronovIP@uniim.ru

## **Аннотация**

*Представлены результаты работ по повышению точности измерений коэффициента газопроницаемости методом стационарной фильтрации. Был разработан новый алгоритм обработки данных при измерении коэффициента абсолютной газопроницаемости горных пород методом стационарной фильтрации на основе объединения закона Дарси и уравнения Клинкенберга. Модельным (теоретическим) экспериментом методом Монте-Карло доказано, что предлагаемая модель обработки первичных данных обеспечивает в ~1,5 раза меньшие значения неопределенности коэффициента абсолютной газопроницаемости. Впервые экспериментально на основе измерений 50 корундовых образцов показано, что новый алгоритм обработки имеет в ~1,5 раза меньшие значения стандартной неопределенности коэффициентов абсолютной газопроницаемости. Экспериментально с помощью образцов со стеклянными капиллярами доказано, что результаты измерений, полученные на ГЭТ 210, в пределах неопределенности согласуются с теоретически рассчитанными значениями коэффициента газопроницаемости на основе объединений уравнений Дарси и Пуазейля.*

**Ключевые слова:** *газопроницаемость, закон Дарси, закон Пуазейля, эффект Клинкенберга, коэффициент абсолютной газопроницаемости, стеклянные капилляры*

Проницаемостью горной породы называется свойство пород пропускать жидкости, газы и их смеси при наличии градиента давления [1]. Данная величина очень важна для нефтедобывающей промышленности, так как позволяет оценить запасы нефти и газа, а также технологии разработки и продуктивность скважин. В качестве общей

характеристики физических свойств горных пород используется абсолютная проницаемость — проницаемость пористой среды, определенная при наличии в ней одной фазы, химически инертной по отношению к породе. Для оценки абсолютной проницаемости часто используется воздух или газ (как правило, гелий и азот). Абсолютная проницаемость, оцененная с помощью газа, называется коэффициентом абсолютной газопроницаемости (единицей величины является  $m^2$ ).

Для создания метрологического обеспечения измерений коэффициента абсолютной газопроницаемости УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» был разработан набор стандартных образцов газопроницаемости горных пород ГСО 11546-2020/ГСО 11550-2020, аттестованных с помощью ГЭТ 210-2019 — Государственного первичного эталона единиц удельной адсорбции газов, удельной поверхности, удельного объема пор, размера пор, открытой пористости и коэффициента газопроницаемости твердых веществ и материалов. Методика измерений, примененная при установлении метрологических характеристик стандартных образцов (далее — методика измерений), основана на методе, регламентированном в ГОСТ 26450.2-85 [2], — а именно на методе стационарной фильтрации. Измерение и расчет коэффициента абсолютной газопроницаемости производятся согласно закону Дарси для газов (1) и с учетом эффекта Клинкенберга (2) [3–7]:

$$K = \frac{2 \cdot Q \cdot p \cdot \mu \cdot l}{S \cdot (p_{2E}^2 - p_{2KE}^2)}, \quad (1)$$

где:  $K$  — коэффициент газопроницаемости при заданном поровом давлении,  $m^2$ ;  $Q$  — объемный расход газа при давлении  $p$ ,  $m^3/c$ ;  $p$  — давление, при котором измеряется объемный расход газа, Па;  $\mu$  — вязкость газа, Па·с;  $l$  — длина исследуемого образца, м;  $S$  — площадь поперечного сечения исследуемого образца,  $m^2$ ;  $p_{вх.}$  и  $p_{вых.}$  — давления газа на входе и выходе исследуемого образца соответственно, Па;

$$K_{abs} = \frac{K}{1 + b/P_{por}}, \quad (2)$$

где:  $K_{abs}$  — коэффициент абсолютной газопроницаемости  $m^2$ ;  $b$  — константа Клинкенберга, зависящая от типа породы и фильтруемого газа, Па;  $P_{por} = (p_1 + p_2)/2$  — поровое давление, Па.

Таким образом,  $K_{abs}$  определяется путем измерения коэффициентов газопроницаемости при нескольких значениях порового давления и построения линейной регрессионной зависимости коэффициента газопроницаемости от обратного порового давления  $K = f(1/P_{por})$  и экстраполяции данной зависимости в точку  $1/P_{por} = 0$ . В большинстве случаев алгоритм вычисления  $K_{abs}$ , применяемый в методике измерений на ГЭТ 210, эффективен и позволяет определить  $K_{abs}$  с необходимой точностью. Однако в практике измерений этой величины на различных образцах встречаются случаи невозможности определения  $K_{abs}$  с необходимой точностью вследствие низкого значения коэффициента корреляции  $R^2$  зависимости коэффициента газопроницаемости от обратного порового давления. Для решения этой проблемы УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» был предложен новый алгоритм обработки данных при измерении коэффициента абсолютной газопроницаемости, основанный на тех же самых законах — законе Дарси (1) и эффекте Клинкенберга (2), что и алгоритм, используемый в методике измерений на ГЭТ 210 и ГОСТ 26450.2-85. В основе нового алгоритма лежат уравнения (3) и (4), полученные путем объединения и преобразования уравнений (1) и (2):

$$F = \frac{Q \cdot p \cdot \mu \cdot l}{S \cdot (p_2 - p_1)}, \quad (3)$$

$$F = K_{abs} \cdot (P_{por} + b). \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) имеют размерность силы. Они описывают зависимость некоей силы от порового давления в образце  $F = f(P_{por})$ . Коэффициент корреляции  $R^2$  зависимости  $F = f(P_{por})$  во всех случаях имеет более высокие значения, нежели для зависимости  $K = f(1/P_{por})$ . Данный факт позволил сделать предположение, что точность определения коэффициента абсолютной газопроницаемости по новому алгоритму будет иметь преимущество по сравнению с существующей методикой. Для этого в среде MathCad методом Монте-Карло был проведен модельный эксперимент, который показал, что новый алгоритм обработки данных обеспечивает в 1,5 раза меньшие значения неопределенности коэффициента абсолютной газопроницаемости при незначимости разности между результатами, полученными разными методами. Помимо этого с использованием нового алгоритма было обработано большое количество реальных измерений коэффи-

циента абсолютной газопроницаемости (около 50 образцов). Обработка реальных данных также показала в среднем в 1,5 раза меньшие значения неопределенности коэффициента абсолютной газопроницаемости при использовании нового алгоритма.

Также было проведено исследование проницаемости образцов со стеклянными капиллярами с известными значениями диаметров капилляра и образца [8]. Согласно закону Пуазейля, ламинарное течение через капилляр с постоянным радиусом описывается уравнением:

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \mu \cdot l}, \quad (5)$$

где  $r$  — радиус капилляра, м,  $l$  — длина капилляра, м.

Объединяя уравнение (5) с законом Дарси (1), получаем объединенное уравнение (6), позволяющее рассчитать проницаемость цилиндрического образца с радиусом  $R$ , внутрь которого вмонтирован капилляр радиусом  $r$ :

$$K = \frac{r^4 \cdot L}{8 \cdot R^2 \cdot l}. \quad (6)$$

Результаты измерений коэффициента газопроницаемости образцов с капиллярами, полученные с помощью ГЭТ 210, согласуются в пределах неопределенности с теоретически рассчитанными по уравнению (6) значениями коэффициента газопроницаемости.

В результате проделанной работы был разработан новый алгоритм обработки данных при измерении коэффициента абсолютной газопроницаемости горных пород методом стационарной фильтрации на основе объединения закона Дарси и уравнения Клинкенберга. Модельным (теоретическим) экспериментом методом Монте-Карло доказано, что предлагаемая модель обработки первичных данных обеспечивает в ~1,5 раза меньшие значения неопределенности коэффициента абсолютной газопроницаемости. Впервые экспериментально на основе измерений 50 корундовых образцов показано, что новый алгоритм обработки имеет в ~1,5 раза меньшие значения стандартной неопределенности коэффициентов абсолютной газопроницаемости. Экспериментально с помощью образцов со стеклянными капиллярами доказано, что результаты измерений, полученные на ГЭТ 210, в пределах неопределенности согласуются с теоретически рассчитанными значениями коэффициента газопроницаемости на основе объ-

единений уравнений Дарси и Пуазейля. В качестве перспективных международных работ на ближайшую перспективу предлагается проведение международных сличений под эгидой КООМЕТ для экспериментального опробования предлагаемой измерительной модели и по их результатам подготовка предложения по разработке международного стандарта ИСО «Метод определения абсолютного коэффициента газопроницаемости горных пород методом стационарной фильтрации».

### Литература

1. Кобранова В.Н. Петрофизика. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1986. 392 с
2. ГОСТ 26450.2-85 Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. М.: Издательство стандартов, 1985. 17 с.
3. Klinkenberg L. J. The permeability of porous media to liquids and gases // Am. Petroleum Inst. Drilling and Production Practice. 1941. P. 200–211.
4. Kazemi M., Takbiri-Borujeni A. An analytical model for shale gas permeability // International Journal of Coal Geology. 2015. Vol. 146. P. 188–197. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.1016/j.coal.2015.05.010>.
5. Wang S., Wu Y.S., Lukyanov A. A. Second-order gas slippage model for the Klinkenberg effect of multicomponent gas at finite Knudsen numbers up to 1 // Fuel. 2019. Vol. 235. P. 1275–1286. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.113>.
6. Okwananke A., Hassanpouryouzband A., Vasheghani Farahani M. et al. Methane recovery from gas hydrate-bearing sediments: an experimental study on the gas permeation characteristics under varying pressure // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 180. P. 435–444. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.060>
7. Аронов И.П., Собина Е.П. Разработка стандартных образцов газопроницаемости // Эталоны. Стандартные образцы. 2021. Т. 17. № 2. С. 5–18. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2021-17-2-5-18>.
8. Grattoni C.A., Allshorn S., Fisher Q. J. Determining gas permeability in tight rocks: How do we know if we are obtaining the right value // International Symposium of the Society of Core Analysts held in Snowmass, Colorado, USA, 21–26 August 2016, paper SCA2016-010 (2016).

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТИ С ТЕМПЕРАТУРОЙ БОЛЕЕ 25 °С

Р. Т. Бакиров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ВНИИР — ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»)

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ» (ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»), г. Казань, Российская Федерация  
E-mail: volcano-bakir@mail.ru

## **Аннотация**

*В области измерений расхода существует необходимость оценки дополнительной погрешности средств измерений, зависящей от температуры измеряемой среды при проведении их испытаний в целях утверждения типа, поверки и калибровки. Разработка и создание первичного государственного эталона расхода горячей воды до 90 °С позволит не только решить вышеописанные задачи, но и развить систему метрологического обеспечения в области измерений расхода горячей воды.*

**Ключевые слова:** *исследования, поверка, испытания в целях утверждения типа, горячая вода, расходомер, установка поверочная*

Совершенствование технологических процессов на предприятиях в различных отраслях экономики, ужесточение требований законодательства в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации [1], продолжающийся рост цен на энергоносители и прочие факторы приводят к повышению требований к точности измерений. В решении данной задачи заинтересованы ключевые отрасли экономики (топливно-энергетический комплекс, атомная энергетика, военно-промышленный комплекс, химическая промышленность, жилищно-коммунальное хозяйство), использующие энергоресурсы в технологических процессах на производстве, а также учет их при транспортировке от поставщика к потребителю. Особенно актуально рассмотрение данного вопроса для средств и систем измерений расхода и количества жидкости (далее — СИ), используемых при дозировании, регулировании, транспортировке, хранении жидкости (воды, нефти и нефтепродуктов).

Система метрологического обеспечения СИ регламентируется приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости» (далее — ГПС) [2]. Данные направления заложены в целях Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» [3].

На сегодняшний день оказывается не достаточное внимание вопросам влияния на метрологические характеристики СИ факторов (источников неопределенности), обусловленных изменением температуры измеряемой жидкости более 25 °С [4]. Данное направление активно развивается в национальных метрологических институтах при создании современной эталонной базы (рис. 1).

Критический анализ литературных источников [5–12] позволил выявить влияние на метрологические характеристики СИ процессов фазового перехода, температурного расширения конструктивных элементов СИ, изменение теплофизических свойств жидкости при увеличении температуры жидкости более 25 °С.

Потребность в проведении научных исследований в области измерений расхода жидкости при температуре более 25 °С с перспективой совершенствования эталонной базы и системы метрологического обеспечения в Российской Федерации обусловлена увеличением количества СИ, используемых в реальных секторах экономики. В настоящее время в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений зарегистрировано (с действующим свидетельством об утверждении типа) более 500 типов расходомеров, счетчиков и теплосчетчиков; более 23 типов установок поверочных, соответствующих вторичным, рабочим 1, 2 и 3 разрядов в соответствии с ГПС, которые работают в диапазоне температуры измеряемой среды от 5 °С до 90 °С.

Создаваемые перспективные СИ должны проходить испытания в целях утверждения типа с последующей поверкой (калибровкой). Поэтому существует острая необходимость в развитии отечественной метрологической базы, которая будет учитывать вклад дополнительной погрешности СИ при температуре измеряемой жидкости более 25 °С.

При разработке, исследовании и создании эталонной установки при вынужденном напорном течении жидкости с температурой более



25 °С необходимо полагаться на опыт эксплуатации, метрологические и режимные характеристики национальных эталонов в исследовательских центрах Германии, Японии, Франции, Чехии и Дании (рис. 1).









Значение расхода, т/ч (м³/ч)	Расширенная неопределенность U (k = 2), %					
	France CETIAT	Czech Republic CMI	Denmark DTI	Denmark FORCE	Germany PTB	Japan NMIJ
10 <sup>-3</sup>						
2 · 10 <sup>-3</sup>						
5 · 10 <sup>-3</sup>						
6 · 10 <sup>-3</sup>						
5 · 10 <sup>-2</sup>						
10 <sup>-2</sup>						
1	0,1 	0,1 		0,1 		
1,8			0,05 			
5						
6						
7						
15						
55						
750					0,04 	
1000						0,08 
12000						

Рис. 1. Возможности национальных зарубежных эталонов. Максимальная температура жидкости:  — до 90 °С;  — до 70 °С

## Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями от 21.12.2021); принявший орган: Государственная Дума; опубликован: собрание законодательства Российской Федерации, № 48, 30.11.2009, ст. 5711. URL: <http://texpert.fgypvniir.local/docs/>.

2. Приказ Росстандарта от 26.09.2022 № 2356 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости», принявший орган: Росстандарт; опубликован: URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/documents/orders#/order/370271>.

3. Федеральный закон Российской Федерации от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями от 11.06.2021), принявший орган: Государственная Дума; опубликован: собрание законодательства Российской Федерации, № 26, 30.06.2008, ст. 3021. URL: <http://texpert.fgypvniir.local/docs/>;

4. Тухватуллин А. Р., Щелчков А. В., Фафурин В. А. Государственный первичный специальный эталон единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63-2019 // Измерительная техника. 2021. № 2. С. 3–8.

5. Florestan O., Jean N., Pascal G., Carl-Andr´e G. Development and validation of a dynamic primary standard for unsteady liquid flow calibration // Flow Measurement and Instrumentation. 2022. N 84. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2022.102138.

6. Warnecke H., Kroner C., Ogheard F. et al. New metrological capabilities for measurements of dynamic liquid flows // Metrologia. 2022. N 59. DOI: 10.1088/1681-7575/ac566e.

7. Karl J., Thomas E., Felix H. et al. Dienstleistung und Forschung für die Wärmemessung in der PTB // PTB-Mitteilungen. Metrologie im Fluss. 2019. N 129 (1). P. 13–21.

8. Noriyuki F., Leopoldo C., Thomas L., Yoshiya T. Comparison of high temperature and high Reynolds number water flows between PTB and NMIJ // Flow Measurement and Instrumentation. 2016. N 52. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2016.10.003.

9. Karsten T., Oliver B., Jankees H., Thomas L. Calibration of an ultrasonic flow meter for hot water // Flow Measurement and Instrumentation. 2013. N 30. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst. 2012.05.003.

10. Noriyuki F., Hiroshi S., Yoshiya T., Masaki T. A. New calibration facility for water flowrate at high Reynolds number // Flow Measurement and Instrumentation. 2009. N 20. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2008.11.001.

11. Moritz Leopoldo Córdova Murillo. Characterization and validation of the high accurate heat meter calibration facility of the Physikalisch Technische Bundesanstalt PTB: doktor der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation. 2016.

12. Oliver B., Krister S., Kent L. et al. A unique test facility for calibration of domestic flow meters under dynamic flow conditions // Flow Measurement and Instrumentation. 2021. N 79. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.101934.

## РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНОЙ ТАХОМЕТРИЧЕСКОЙ

А. В. Бацаров

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ульяновской области» (ФБУ «Ульяновский ЦСМ»), г. Ульяновск, Российская Федерация  
E-mail: abatsarov@ulcsm.ru

### *Аннотация*

*Описано современное состояние метрологического обеспечения в области измерений частоты вращения. Рассматривается опыт по созданию установки поверочной тахометрической.*

**Ключевые слова:** тахометры, установка поверочная тахометрическая, частота вращения

На данный момент большинство оптических тахометров и фото-тахометров поверяются с помощью генератора сигналов. Тахометры с выходным валом поверяются на установке поверочной тахометрической (УПТ). В общем смысле УПТ — это электромеханическая система с одним или несколькими выходными валами, частота вращения которых является входной величиной для поверяемого тахометра.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.285-2013 [1] для поверки тахометров необходима установка поверочная тахометрическая и указана УПТ УТ05-60 госреестр 6840-78.

На сегодняшний день остро стоит вопрос по поверке именно тахометров с выходным валом, т. к. выпуск УТ05-60 в г. Рига был прекращен около 30 лет назад и ресурс их практически выработан, других каких-либо УПТ утвержденного типа нет, т. е. на данный момент приобрести новую УПТ утвержденного типа не представляется возможным.

Касаемо применяемой установки УТ05-60 хотелось бы отметить некоторые недостатки, такие как большая масса 200 кг, внушительные габариты 960×660×530 мм, большая потребляемая мощность 1600 Вт, ламповая элементная база, высокий уровень шума 82 дБ. Также возникают определенные сложности при работе на ней, а именно: сложность достижения синхронизации скоростей, влияние человеческого фактора на работоспособность установки, трудоемкость технического обслуживания редуктора. И самое главное — отсутствие запчастей для проведения ремонта.

Для преодоления указанных проблем было принято решение о разработке современной УПТ. По результатам исследовательских работ, с учетом имеющейся на данный момент элементной базы, был сделан вывод о создании установки (рис. 1) на основе двух сервомоторов 3 и 8 с блоками управления 4 и 7, которые обеспечивают синхронизацию скорости вращения в автоматическом режиме за счет обратной связи с энкодерами моторов. Контроль и индикация частоты вращения обеспечиваются высокоточными оптическими тахометрами ВОТ 5, 6, 10, 11. При этом вал второго сервомотора соединяется с мультипликатором 9 для увеличения диапазона частоты вращения.

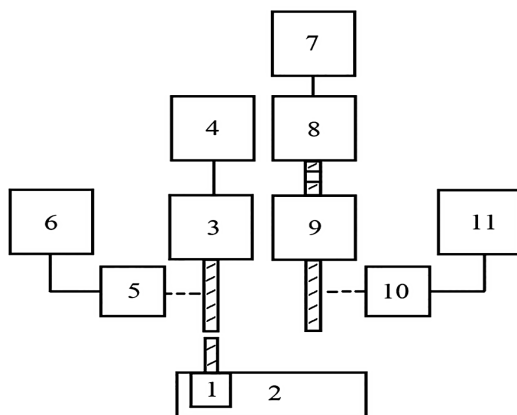


Рис. 1. Установка поверочная тахометрическая:

- 1 — поверяемый тахометр; 2 — устройство сопряжения; 3 — первый сервомотор; 4 — первый блок управления; 5 — датчик первого ВОТ;
- 6 — индикатор первого ВОТ; 7 — второй блок управления;
- 8 — второй сервомотор; 9 — мультипликатор; 10 — датчик второго ВОТ;
- 11 — индикатор второго ВОТ

Работает УПТ следующим образом. Поверяемый тахометр 1 устанавливается в устройство сопряжения 2 для обеспечения механического контакта вала первого сервомотора 3 с валом поверяемого тахометра. На первом блоке управления 4 задается требуемая скорость вращения вала, далее фиксируются показания поверяемого тахометра и оценивается его погрешность по разнице показаний тахометра и установки. Далее те же операции проводятся при контакте вала поверяемого тахометра с мультипликатором 9, с помощью которого достигается более высокая скорость вращения.

Предполагаемая масса УПТ 40 кг, габариты 320×280×300 мм, потребляемая мощность 400 Вт, уровень шума 61 дБ. Применяется простой и понятный интерфейс. В целом установка проста для технического обслуживания и проведения поверки. После проведения испытаний и утверждения типа предполагается использовать ее в качестве рабочего эталона второго разряда в соответствии с ГПС для средств измерений угловой скорости и частоты вращения [2].

### **Литература**

1. ГОСТ 8.285-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Тахометры. Методика поверки.
2. Государственная поверочная схема для средств измерений угловой скорости и частоты вращения. Утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 сентября 2022 г. № 2183.
3. ГОСТ 21339-82. Тахометры. Общие технические условия.
4. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.3.019-80. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.
6. ГОСТ 22261-94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ В СФЕРЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. В. Бегляк

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Тверской области» (ФБУ «Тверской ЦСМ»), г. Тверь, Российская Федерация  
E-mail: tvscsm@tverstandart.ru

## **Аннотация**

*Современные экономические условия, когда Россия находится под санкциями, показали, насколько сейчас необходимо развитие отрасли приборостроения для функционирования отечественных предприятий и экономики в целом. Целью данного исследования является анализ современных проблем стандартизации и метрологии в сфере приборостроения в Российской Федерации.*

**Ключевые слова:** стандартизация, сертификация, метрология, приборостроение, единство измерений, средство измерений, метрологическое обеспечение, импортозамещение

Постепенно идет процесс импортозамещения, но не все средства измерений иностранного происхождения на данный момент можно заменить аналогами отечественного производства. Одновременно наблюдается существенный рост цен на отечественные приборы. Наряду с этим на многих приборостроительных предприятиях используются физически и морально устаревшие средства измерений, технические системы и устройства с измерительными функциями. В случае, если приборостроительное предприятие планирует закупить необходимое для нужд производства оборудование, многие предприятия предпочитают закупку оборудования через запрос котировок по Федеральному закону «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» от 18.07.2011 № 223-ФЗ, не придавая должного внимания тщательной проработке технического задания. Следствием таких ошибочных действий становится поставка оборудования, зачастую не отвечающего требованиям. Впоследствии низкое качество закупаемого приборостроительным предприятием оборудования приводит к низкому качеству выпускаемой продукции.

Действующие на данный момент ГОСТы, применяемые в приборостроении, в большинстве случаев признаны устаревшими, так как

они были разработаны более 30 лет назад (ГОСТ 23004-78 «Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения», ГОСТ 26.014-81 «Единая система стандартов приборостроения. Средства измерений и автоматизации. Сигналы электрические кодированные входные и выходные», ГОСТ 16967-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая для приборостроения. Диаметры и шаги» и др.).

Также важно отметить, что отдельные приборостроительные предприятия зачастую не соблюдают требования Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ, что в свою очередь также приводит к снижению качества выпускаемой продукции в вопросах метрологического обеспечения, а именно использование при проведении испытаний, измерений неаттестованного испытательного оборудования и/или неуполномоченных средств измерений.

Полученные результаты анализа проблем метрологии и стандартизации в сфере отечественного приборостроения показывают, что на данный момент необходимо ввести контроль за тем, какого качества предприятия закупают оборудование, а также постепенно усиливать контроль за исполнением приборостроительными предприятиями (в особенности региональными) Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ и Распоряжения Правительства РФ от 09.11.2017 № 2478-р «Об утверждении плана мероприятий по реализации Стратегии обеспечения единства измерений Российской Федерации до 2025 года». Нормативная база в сфере приборостроения нуждается в разработке современных ГОСТов, регламентирующих деятельность сферы приборостроения и отвечающих современным темпам развития науки и техники.

## **Литература**

1. Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц».
2. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
3. Распоряжения Правительства РФ от 09.11.2017 № 2478-р «Об утверждении плана мероприятий по реализации Стратегии обеспечения единства измерений Российской Федерации до 2025 года».

4. Бельский А. М. Метрология, стандартизация и сертификация: Конспект лекций для студентов направления «Приборостроение». Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева. КАИ, 2012. 10 с.
5. Развитие приборостроительной отрасли в России. Электронная Индустрия. [Электронный ресурс] <https://dzen.ru/media/id/5d53e8c80ce57b00c1d830ad/razvitie-priborostroitelnoi-otrasli-v-rossii-5eaad28cc86baf6485d7d190> (дата обращения 04.04.2023).
6. Дехтярь Г. М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие. М.: Курс. Инфра-М, 2018. 149 с.
7. Приборостроительные заводы России — список крупнейших предприятий. [Электронный ресурс] <https://заводы.рф/factories/priborostroitelnye-zavody> (дата обращения 05.04.2023).
8. ГОСТ Р 8.674-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).
9. Марусина М. Я. Метрологическое обеспечение измерений, испытаний и контроля. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 70 с.
10. Шайко И. А. О некоторых проблемах отечественного приборостроения. [Электронный ресурс] <https://metro.ru/html/Stati/si/shayko.html> (дата обращения 05.04.2023).
11. Перемитина Т. О. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие. Томск: ФДО. ТУСУР, 2016. 150 с.



# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРОЙНОЙ ТОЧКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Н. А. Бекетов

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **Аннотация**

*МТШ-90 обновляется и улучшается каждые 20–30 лет с учетом накопленного опыта, знаний и усовершенствованной материально-технической базы за этот период. Несмотря на введенное в мае 2019 г. новое определение единицы температуры, на статус МТШ-90 и ВНТШ-2000 это не повлияло. Одной из нерешенных задач остается замена реперной точки ртути. Применение температуры тройной точки диоксид углерода в качестве реперной точки считается одной из перспективных альтернатив реперной точки ртути. В работе приведены результаты исследования различных методов и режимов реализации тройной точки  $\text{CO}_2$  и исследования воспроизводимости температуры тройной точки  $\text{CO}_2$ .*

**Ключевые слова:** температура, реперная точка, МТШ-90, ртуть, диоксид углерода, тройная точка

На 26-й Генеральной конференции по мерам и весам была принята новая метрическая система Si. Одной из единиц, получивших новое определение, является кельвин. Решение о статусе МТШ-90 было принято еще на 24-й Генеральной конференции по мерам и весам, где закрепили статус МТШ-90 как действующей шкалы. Одной из острых задач модернизации шкалы является замена реперной точки ртути. Эта необходимость обусловлена подписанием Миноматской конвенции по ртути [1]. В качестве исследуемых замен рассматривают вторичные реперные точки МТШ-90 [2]. Основные кандидаты на данный момент тройные точки:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SF}_6$  и Xe. По всем трем веществам есть публикации с результатами исследований [3–5]. Основным недостатком является то, что все публикации имеют результаты только с применением ампул малого размера, которые предназначены для капсульных термометров. Реперная точка ртути входит в диапазон передачи единицы стержневыми термометрами [6], поэтому высокую актуальность имеет проведение исследований температуры тройной точки

СО<sub>2</sub> с применением ампул, подходящих для измерения стержневыми термометрами.

Конструкция ампулы разрабатывалась при сотрудничестве ООО НПП «ЭЛЕМЕР» и ФГУП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Ампула изготавливалась по аналогичной конструкции с ампулами тройной точки воды, с применением нержавеющей стали вместо кварца и заполнялись диоксидом углерода частотой 99,9995%.

Исследовались два метода подготовки и реализации температуры тройной точки: с внутренним и внешним намораживанием твердой фазы в процессе подготовки ампулы к реализации [7, 8]. Метод внутреннего намораживания твердой фазы позволил достичь наилучшего результата в лаборатории ВНИИМ, поддержания плато протяженностью 8 часов с деградацией 0,5 мК, воспроизводимостью 0,2 мК и отклонением температуры в термометровом канале ампулы 0,3 мК на высоте чувствительного элемента.

Для уточнения абсолютного значения температуры реперной точки по МТШ-90 ампула была отправлена в лабораторию ВНИИФТРИ, где хранится Государственный первичный эталон единицы температуры в диапазоне от 0,3 до 273,16 К. В лаборатории ВНИИФТРИ были также исследованы разные методы подготовки и реализации тройной точки СО<sub>2</sub>. Наилучшие результаты были получены при помощи намораживания твердой фазы в термостате и последующем длительном выводе на значение температуры тройной точки. Абсолютное значение температуры тройной точки диоксида углерода по МТШ-90 составило 56,5573 °С.

Результаты исследований также показали высокую воспроизводимость температуры тройной точки СО<sub>2</sub> ампулами, конструкция которых обеспечивает возможность поверки и калибровки как капсульных, так и стержневых эталонных платиновых термометров сопротивления. Конструкция ампулы также обеспечивает стабильное воспроизведение температуры тройной точки СО<sub>2</sub> в течение длительного времени. Таким образом, представляется возможным использование температуры тройной точки СО<sub>2</sub> как альтернатива тройной точки ртути в МТШ-90.

## Литература

1. Минаматская конвенция по ртути от 29 августа 2017 // ЮНЕП. ООН, октябрь 2013 года.

2. Ting Li. et al. Realization and evaluation of the triple point of sulfur hexafluoride // *Metrologia*. 2021. 58. 035008.
3. Bedford R. E. et al. Recommended values of temperature on the International Temperature Scale of 1990 for a selected set of secondary reference points // *Metrologia*. 1996. 33. 133.
4. Tew W.L., Quelhas K.N. Realizations of the Triple Point of Sulfur Hexafluoride in Transportable and Refillable Cells // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2018. 123. 123013.
5. Steur P.P.M., Giraudi D. Preliminary Measurements of the Xenon Triple Point // *Int. J. Thermophys.* 2014. 35. 604.
6. Steur P.P.M., Rourke P.M.C., Giraudi D. Comparison of xenon triple point realizations // *Metrologia*. 2019. 56. 015008.
7. Liang Y., Zhang J.T., Feng X.J. Effects of Isotopes on the Triple Points of Carbon Dioxide and Sulfur Hexafluoride // *International Journal of Thermophysics*. 2021. 42. 142.
8. Pearce J.V., Steur P.P.M., Joung W. et al. Guide to the Realization of the ITS-90. Metal Fixed Points for Contact Thermometry. 2021. 34.

## СОВЕТ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ФБУ «САМАРСКИЙ ЦСМ»

С. И. Белова

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ»), г. Самара, Российская Федерация  
E-mail: sofibelova@inbox.ru

### *Аннотация*

*Создание Совета молодых специалистов ФБУ «Самарский ЦСМ», деятельность Совета, цели и задачи, значимость молодежи на предприятиях.*

**Ключевые слова:** *СМУС «Техноспецназ Росстандарта», совет, молодые ученые и специалисты*

После того как был создан Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта» (далее — СМУС «Техноспецназ Росстандарта»), который объединил в себе представителей крупных подведомственных организаций Росстандарта из таких городов, как: Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Челябинск, Нижний Новгород, Уфа, Самара, Казань, Ижевск, Волгоград, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Ярославль, Калуга, Хабаровск, Тюмень, Югорск и Томск [1], появилось осознание необходимости существования подобной молодежной организации на каждом предприятии наряду с профсоюзом.

На сегодняшний день в ФБУ «Самарский ЦСМ» (далее — Центр) работает 27% молодых специалистов в возрасте до 35 лет включительно. При поддержке руководства в лице директора Олега Николаевича Жадаева в марте 2023 г. был создан совет молодых специалистов ФБУ «Самарский ЦСМ» (далее — Совет). Деятельность Совета регулируется утвержденным директором Центра Положением. Совет является постоянно действующим совещательно-консультативным органом, созданным для осуществления молодежной политики, представления интересов молодых специалистов Центра и раскрытия профессионального потенциала молодых специалистов [2].

В структуру Совета входят: председатель, заместитель председателя, секретарь и члены Совета. Рабочая группа Совета составляет 13 человек. Для принятия в члены Совета молодые специалисты подают заявление в свободной форме на имя председателя, которое

рассматривается на заседании Совета. Председатель Совета состоит в СМУС «Техноспецназ Росстандарта».

Целями и задачами деятельности Совета являются:

- реализация молодежной политики Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт);
- формирование благоприятной социальной среды, способствующей закреплению в Центре талантливых молодых кадров, улучшению трудовой атмосферы и повышению производительности труда;
- обеспечение условий для активизации профессионального роста, повышение активности молодых специалистов в научной деятельности и результативности профессиональной деятельности;
- установление взаимодействия между молодыми специалистами и руководством Центра;
- оказание консультативной помощи молодым специалистам при подготовке выступлений на конференциях;
- помощь руководству Центра в организации и проведении мероприятий Центра;
- разработка предложений руководству Центра по стимулированию молодых специалистов, содействие созданию условий для их профессионального роста;
- обеспечение адаптации и развития молодых инициативных сотрудников путем реализации развивающих молодежных мероприятий;
- популяризация метрологии в учебных заведениях [2].

Совет осуществляет свою деятельность на основании утвержденного плана работы на год. В апреле был организован отборочный этап конкурсных научных работ для дальнейшего участия в конференциях молодых ученых и специалистов в Уфе и Екатеринбурге. Десять молодых специалистов прошли отборочный этап и будут представлять Центр на конференциях. Участие в военно-патриотических мероприятиях, спортивно-оздоровительных, организация дней открытых дверей Центра, работа с молодежью высших учебных заведений и школ с целью популяризации метрологии запланированы на текущий год.

Таким образом, можно сделать вывод, что молодежные организации являются необходимым инструментом на каждом современном развивающемся предприятии. Молодежные советы являются важным фактором для развития молодежи и общества в целом. Они способ-

ствуют развитию и наращиванию потенциала молодежи для построения будущего на предприятиях и в стране.

Обеспечивая участие молодых людей в решении собственных проблем, молодежные объединения содействуют их развитию, самореализации и социализации, включению в социально-экономическую жизнь общества. Молодежные объединения являются полигоном для освоения навыков самоуправления, лидерства, реализации проектов молодежи. Молодежные объединения выступают также как элемент социальной инфраструктуры общества, обеспечивая удовлетворение потребностей большей части населения — молодежи в решении самых разнообразных проблем. Сфера деятельности молодежных объединений охватывает получение образования, трудоустройство, досуг, решение жилищных проблем, политику, культуру, спорт, социальную поддержку и другие области [3].

### **Литература**

1. Положение о Совете молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта». Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2022.

2. Положение о совете молодых специалистов ФБУ «Самарский ЦСМ». Самара, 2023. С. 2–4

3. Молодежные общественные объединения: роль и место в современной ювенальной политике. Мультимедийное учебное пособие / под ред. прот. В. Хулапа, И. В. Астэр. СПб: СПбГИПСП, 2014. [Электронный ресурс] URL: [https://social-orthodox.info/pages/5\\_15\\_kostrikin.htm#\\_ftn1](https://social-orthodox.info/pages/5_15_kostrikin.htm#_ftn1) (дата обращения: 08.05.2023).

# МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ (ЛЕНТА) ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПО КРЫЛУ САМОЛЕТА В ПОЛЕТЕ

Г. В. Бирюков, А. В. Забродин

Федеральное автономное учреждение «Центральный  
аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского»  
(ФАУ «ЦАГИ»), г. Жуковский, Российская Федерация  
E-mail: mera@tsagi.ru

## **Аннотация**

*В докладе приведены результаты исследований развития перспективной для летных исследований измерительной технологии применения бескорпусных тензометрических датчиков давления на гибкой основе для бездренажного измерения полей давления на моделях ЛА и в летном эксперименте, показаны особенности конструкции преобразователя и технические характеристики.*

**Ключевые слова:** *многоканальный преобразователь давления, многоканальный преобразователь давления на гибкой основе, измерения давления, распределение давления, пульсации давления*

Данная работа направлена на развитие перспективной для летных исследований измерительной технологии применения бескорпусных тензометрических датчиков давления на гибкой основе для бездренажного измерения полей давления на моделях ЛА и в летном эксперименте.

Уникальность бездренажного метода заключается в возможности измерения давления на тонких элементах ЛА, там, где дренажный метод принципиально не применим.

Предполагается проводить измерения во взлетном, посадочном и крейсерском режимах полета с применением данного метода.

Из типичных характеристик пассажирского самолета и параметров атмосферы были выбраны требования к метрологическим характеристикам:

- диапазон измеряемого абсолютного давления от 10 до 150 кПа;
- погрешность в рабочем диапазоне температур не превышает 500 Па;
- рабочий диапазон температур от  $-50$  до  $40$  °С.

В работе показаны особенности конструкции преобразователя бездренажного метода измерений, преобразователь на гибкой основе представляет собой тонкую, меньше миллиметра, гибкую пластину на верхней рабочей поверхности, на которой находятся приемники статических давлений. Данная конструкция позволяет размещать преобразователь либо непосредственно на поверхности, либо в специально выфрезерованный паз, как показано на рисунке 1.

Представлен метод температурной компенсации, который обеспечивает погрешность измерения давления не хуже 0,5% в диапазоне температур от  $-50$  до  $40$  °С. Амплитудно-частотные характеристики преобразователя равномерны в полосе частот до 7 кГц, что позволяет проводить исследования нестационарных явлений. Технические характеристики преобразователей получены с использованием эталонной базы ЦАГИ.

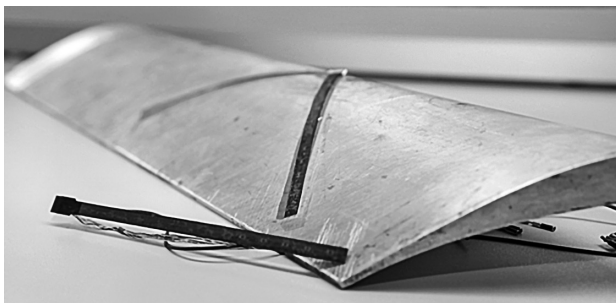


Рис. 1. Способ монтажа преобразователя

Технология бездренажных измерений стационарных и нестационарных аэродинамических нагрузок была отработана на профиле в аэродинамической трубе. Результаты измерений, полученные дренажным и бездренажным методами, хорошо согласуются, приведены спектры пульсаций давления и получено сравнение в динамическом и статическом режиме обтекания.

### Литература

1. ГОСТ 4401-81. Межгосударственный стандарт. Атмосфера стандартная.
2. Репик Е. У., Соседко Ю. П. Турбулентный пограничный слой. Методика и результаты экспериментальных исследований. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 312 с.



3. Блокин-Мечталин Ю.К. Информационно-измерительные управляющие системы экспериментальной аэродинамики. М.: Наука, 2015. 261 с.
4. Брутян М. А., Вышинский В. В., Ляпунов С. В. Основы дозвуковой аэродинамики. М.: Наука, 2021. 296 с.
5. Бирюков Г. В., Блокин-Мечталин Ю. К., Колесников В. А., Назаров А. Е. Многоканальный преобразователь давления inser 1800/32 // Датчики и системы. 2014. № 9 (184). С. 55–58.
6. Бирюков Г. В., Блокин-Мечталин Ю. К., Джужа Г. Ю. и др. Многоканальный тензорезисторный преобразователь давления на гибкой основе для измерения полей давления на поверхности конструкций // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2022. № 6. С. 42–47.
7. Петроневич В. В., Кириллов О. Е., Вялков А. В., Бирюков Г. В. Технология бездренажных измерений давления при исследованиях аэродинамических характеристик моделей ЛА // Модели и методы аэродинамики. Материалы Двадцать второй международной школы-семинара рамках научного форума «Национальная экосистема высокоскоростного транспорта». Жуковский, 2022. С. 65–66.
8. Бирюков Г. В., Блокин-Мечталин Ю. К., Павлов А. С., Чекрыгин В. Н. Исследование и применение многоканальных малогабаритных преобразователей давления нового поколения в экспериментальной аэродинамике // Кимила 2016. Материалы II Отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов. Жуковский, 2016. С. 90–93.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ВОДЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ, ВОСПРОИЗВОДИМУЮ ЭТАЛОНАМИ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ

С. А. Богомолов

ООО «Газпром трансгаз Москва» «Инженерно-технический центр»,  
Москва, Российская Федерация  
E-mail: BogoStand@yandex.ru

## *Аннотация*

*Температура точки росы для газа над поверхностями переохлажденной воды и льда одинаковой температуры будут отличаться, что может повлиять на результаты поверки средств измерений при использовании приборов, воспроизводящих точку росы согласно принципам метода фазового равновесия. В рамках исследования было теоретически рассчитано расхождение между температурой термодинамического равновесия исследуемых фаз, увеличивающееся при снижении температуры.*

**Ключевые слова:** *температура точки росы, давление насыщенного пара, конденсация, возгонка, температура точки инея, термодинамическое равновесие*

Одним из самых точных методов является метод фазового равновесия, основанный на возникновении термодинамического равновесия между двумя фазами. Однако, несмотря на свои многочисленные достоинства, он также имеет и недостатки. При воспроизведении точку росы при отрицательных температурах возникает вероятность ошибки 1-го рода, если не учитывать разницу давлений паров воды над поверхностями твердой или жидкой фазы.

Разница парциальных давлений насыщенных паров воды над твердой или жидкой фазой обусловлена работой выхода, затрачиваемой молекулой для перехода из одной фазы в другую.

Согласно современным стандартам [1], температурой точки росы по воде является температура при конкретном давлении, при которой начинается конденсация паров воды. Одним из параметров качества газа является именно температура точки росы [2]. В связи с наличием твердой фазы воды при отрицательных температурах необходимо вносить поправку или пересчитывать полученные результаты измерения.

Исходя из положений и формул ГОСТ Р 8.811-2012 [3], был построен график зависимости давления насыщенного пара над твердой/жидкой фазой воды от температуры раздела фаз, изображенный на рисунке 1.

Так как вид распределения воспроизводимых величин не указан, то для оценки вероятности ошибки 1-го рода опирались на закон нормального распределения [6]. Вероятность признать годное СИ непригодным приведена на рисунке 2.

В качестве теоретического примера рассмотрим поверочный комплекс «КОНГ», описание типа № 17286-05, с пределом допустимой абсолютной погрешности при воспроизведении точки росы не более  $\pm 0,5$  °С. В основу работы комплекса положен метод установления фазового равновесия над жидкой или твердой фазами [4].

График зависимости парциального давления насыщенного пара над поверхностью переохлажденной воды/льда представлен на рисунке 1. Из графика следует, что давления насыщенного влажного воздуха над поверхностью раздела фаз равны в тройной точке воды [5], достигают наибольшего расхождения ближе к 12 °С.

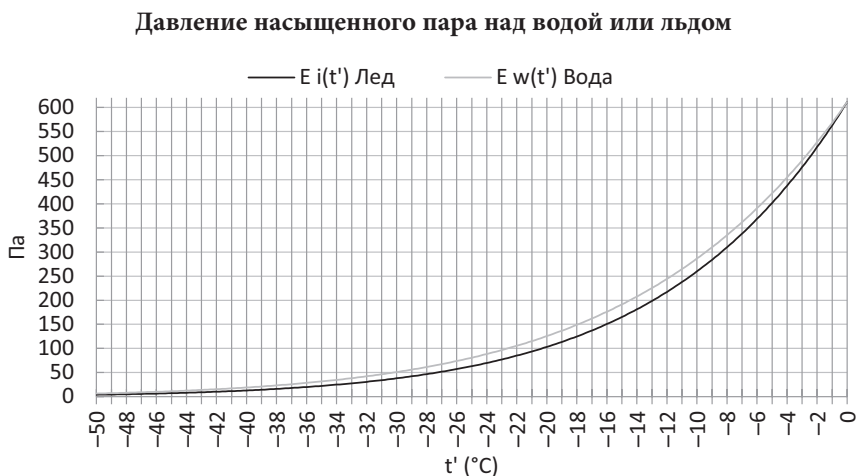


Рис. 1. Зависимость давления насыщенного пара над твердой/жидкой фазой воды от температуры раздела фаз

### Распределение отклонений от действительного значения точки росы при температуре охлаждающего зеркала $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ( $\Delta \pm 0,5$ ) $^{\circ}\text{C}$

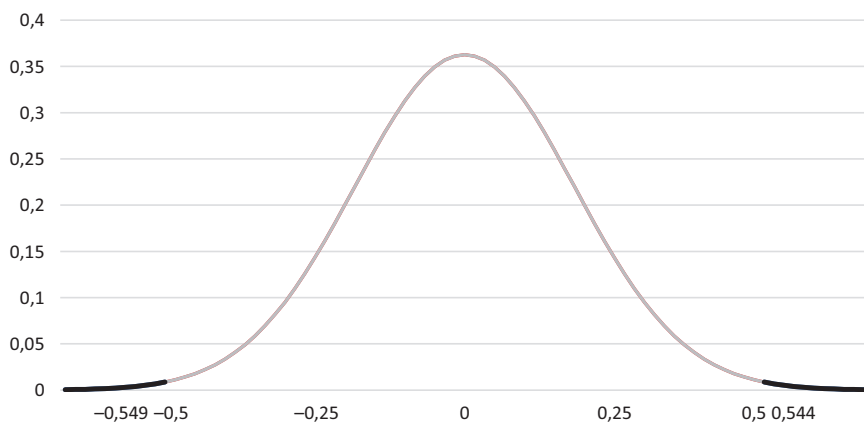


Рис. 2. Вероятность ошибки 1-го рода

### Литература

1. ГОСТ 31370-2008. Газ природный. Руководство по отбору проб.
2. ГОСТ 20060-2021. Газ природный. Определение температуры точки росы по воде.
3. ГОСТ Р 8.811-2012. Государственная система обеспечения единства измерений. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения.
4. Селезнев С. В., Деревягин А. М., Агальцов А. Г. и др. Поверочный комплекс «КОНГ» // Наука и техника в газовой промышленности. 2003. № 1 (13). С. 43–50.
5. Ефремов Ю. С. Статистическая физика и термодинамика. 2018. С. 137–138.
6. ГОСТ Р 8.811-2012. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.

# МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КОМПЛЕКСНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Е. А. Богомолова

Акционерное общество «Научно-производственное предприятие “Исток”»  
имени А. И. Шокина» (АО «НПП “Исток” им. Шокина»),  
г. Фрязино, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0003-1494-2181, e-mail: yaea89@inbox.ru

## **Аннотация**

*Предложена методика измерений диэлектрических и магнитных свойств материалов волноводным методом, в которой погрешность, связанная с наличием щелей между образцом и стенкой волновода, устраняется путем сопоставления с результатами численного анализа 3D-модели, диэлектрические характеристики которой оптимизируются так, чтобы добиться наилучшего совпадения расчетных и экспериментальных данных.*

**Ключевые слова:** диэлектрическая и магнитная проницаемости, тангенс электрических и магнитных потерь, волноводный метод измерения

Определение диэлектрических свойств поглощающих материалов является важной задачей в СВЧ электронике. Эта информация является критической при разработке многих СВЧ устройств. Проблема измерения не является новой, предложено большое число методов для измерения диэлектрических и магнитных свойств вещества на СВЧ [1–3]. Однако это многообразие говорит о том, что данная задача до сих пор не решена.

В данной работе стояла задача определить четыре характеристики поглощающей керамики, используя волноводный метод измерения [4] и алгоритм обработки результатов измерения Nicolson-Ross-Weir (NRW) [5–6].

С целью уменьшения ошибки, возникающей из-за наличия зазора между измеряемым образцом и стенкой волновода, для решения поставленной задачи была применена корректирующая формула (1) [7].

$$\varepsilon_{об.} = \frac{\varepsilon_{NRW}(b - \Delta b)}{b - \Delta b \varepsilon_{NRW}}, \quad (1)$$

где  $\epsilon_{06}$  — относительная диэлектрическая проницаемость материала образца;  $\epsilon_{NRW}$  — измеренная относительная диэлектрическая проницаемость, вычисленная с помощью алгоритма NRW;  $b$  — высота волновода;  $\Delta b$  — высота зазора.

Исследуемый образец имел толщину 3 мм и высоту зазора между узкой стенкой волновода  $\Delta b = 131$  мкм. Результаты исследования по определению характеристик материала скорректированным формулой (1) алгоритмом NRW показали, что для диэлектриков со значением  $\epsilon \leq 5$  относительная ошибка  $\epsilon$  не превышала 4%, а при  $\epsilon \geq 20$  относительная ошибка становилась большой из-за искажения поля вблизи концов образца. Следовательно, данный метод определения параметров материала имел существенные ограничения, поскольку в электровакуумных приборах для поглощения СВЧ-энергии используются диэлектрики с высокими значениями диэлектрической проницаемости и потерь.

Была предложена методика измерения по определению диэлектрической и магнитной проницаемостей, тангенса электрических и магнитных потерь через измеренные значения модуля и фазы  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  отрезка волновода с образцом, при этом дополнительно выполнялось электродинамическое моделирование волновода с параметризованными частотно зависимыми значениями  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\mu'$ ,  $\mu''$  материала, при котором оптимизировались результаты в полосе частот, и сравнивались измеренные и расчетные коэффициенты отражения и передачи (рис. 1).

На рисунке 2 представлены электродинамические характеристики материала, определенные по новой методике.

Разработанный метод измерения электродинамических характеристик материалов с большой диэлектрической проницаемостью

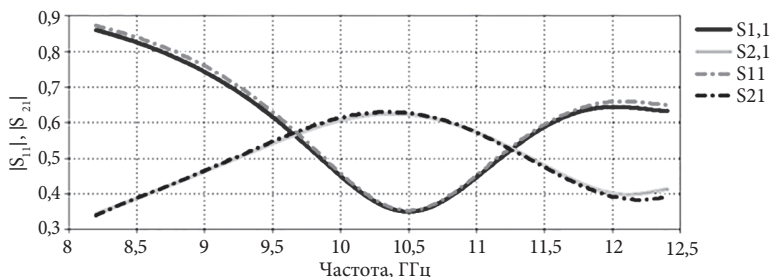


Рис. 1. Модуль коэффициентов отражения и передачи: сплошные кривые — расчетные, штрих-пунктирные — измеренные

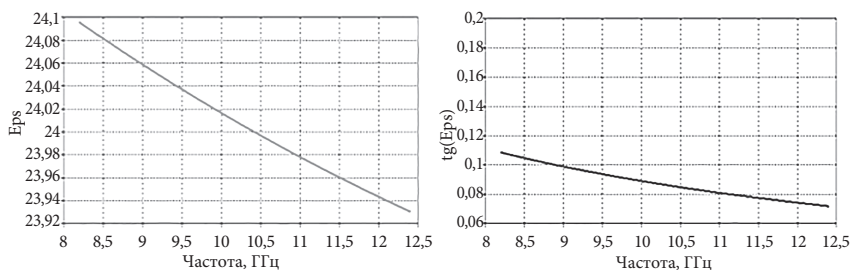


Рис. 2. Диэлектрическая проницаемость (слева) и тангенс электрических потерь (справа)

позволяет получить полную информацию о материале в широкой полосе частот с относительной погрешностью 2% независимо от величины зазора (при условии, что зазор точно измерен). Методика внедрена в производство и защищена патентом РФ № 2744158 от 19.05.2020 [8].

### Литература

1. Шестопапов В. П., Яцук К. П. Методы измерения диэлектрической проницаемостей вещества на сверхвысоких частотах // *Успехи физических наук*. 1961. Т. LXXIV, № 5. С. 721–755.
2. Rybin O., Abbas T. Broadband Microwave Measurements of Relative Permittivity and Permeability of Materials // *Journal of Research*. 2007. Vol. 18. N 3. P. 197–210.
3. Никитенко К. В., Пулко Т. А., Колбун Н. В. Измерение диэлектрической проницаемости композитных материалов на СВЧ // *Доклады БГУИР*. 2008. № 8. С. 64–67.
4. Основы измерения диэлектрических свойств материалов. Заметки по применению / Agilent Technologies. 2010.
5. Nicolson A. M., Ross G. F. Measurement of intrinsic properties of materials by time domain techniques // *Trans. On Instrumentation and Measurements*. 1970. Vol. 19 (4). P. 377–382
6. Weir W. B. Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies // *Proceedings of the IEEE*. 1974. Vol. 62 (1). P. 33–36.
7. Musil J., Zacek F. Microwave measurements of complex permittivity by tree spase methods and their applications. Amsterdam: Elsevier, 1986.
8. Богомолова Е. А., Галецкий А. В., Алексеенков В. И. и др. Способ измерения комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей поглощающих материалов. Патент РФ на изобретение № 2744158 от 19 мая 2020 г.

# ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМА И КОЛИЧЕСТВА ПРИРОДНОГО ГАЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ НАКЛАДНЫХ РАСХОДОМЕРОВ В ПЕРИОД РЕКОНСТРУКЦИИ И ТЕХПЕРЕООРУЖЕНИЯ УЗЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА ГАЗА

К. В. Буданцева, И. А. Фирсов, А. Р. Пярин

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром трансгаз Югорск»  
(ООО «Газпром трансгаз Югорск»), г. Югорск, Российская Федерация  
E-mail: Dzyamkokristi@gmail.com

## **Аннотация**

*В докладе изложены основания для проведения исследований возможности измерений объема и количества природного газа с помощью накладных преобразователей расхода (далее — НПР), разработки новых типов накладных преобразователей расхода и специальной методики измерений расхода газа с применением НПР с целью соблюдения требований в области метрологического обеспечения измерений [1], для создания и ввода в эксплуатацию временных узлов измерений расхода газа (далее — УИРГ) в период ремонта, замены и реконструкции и УИРГ. Представлены результаты экспериментальных измерений с применением портативных ультразвуковых расходомеров. Рассмотрены перспективы привлечения специалистов научно-исследовательских институтов.*

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение измерений, специальная методика, исследование, разработка, накладной расходомер, реконструкция, техперевооружение, узел измерений расхода газа

Актуальность темы обусловлена реализацией комплексной целевой программы метрологического обеспечения производственно-технологических процессов. Одно из ключевых мероприятий программы — обеспечение требуемой точности измерений расхода газа в ходе его транспортировки, путем оснащения современным высокоточным оборудованием и внедрением принципиально новых технологических решений в сфере метрологии, обеспечивающих измерение объемов транспортируемого природного газа [2].

В настоящее время к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации относятся меро-



приятия, связанные с уменьшением энергопотребления и рациональным использованием энергоресурсов [3].

При этом необходимо отметить, что ООО «Газпром трансгаз Югорск» является крупнейшим газотранспортным предприятием не только в РФ, но и в мире. В организации эксплуатируется 27 748 километров магистральных газопроводов в однниточном исполнении и более 2000 УИРГ, территориально расположенных в трех субъектах Российской Федерации: Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском автономном округах и Свердловской области.

Принимая к сведению важность задачи учета и контроля использования энергоресурсов в период реконструкции, капитального ремонта и отсутствия стационарного преобразователя расхода УИРГ, также необходим временный учет расхода объема и количества природного газа [4].

Расчет расхода газа по проектной мощности, применяемый в некоторых случаях, превышает фактический объем потребленного газа в несколько раз, так как соответствует максимально возможному объему всего газопотребляющего оборудования.

С целью реализации временной схемы выполнения измерений объема и количества природного газа предлагается применение портативных расходомеров.

Для оценки возможности применения портативных расходомеров на объектах ООО «Газпром трансгаз Югорск» проведен сравнительный анализ характеристик ультразвуковых расходомеров моделей Controlotron 1010GCN и ПИР RG601 и ряд экспериментальных измерений расхода природного газа в рабочих условиях на ГИС. Измерения проводились с целью оценки достоверности показаний (определение относительной погрешности) при рекомендованных изготовителем условиях установки электроакустических датчиков. Показания ультразвуковых расходомеров с накладными датчиками сравнивались с показаниями измерительного комплекса «Суперфлоу-ПЕ», стационарно установленного на ГИС МГ «Ямбург—Тула II». Предел допускаемой относительной расширенной неопределенности измерений расхода данного узла составляет  $\pm 1\%$  [5, 6, 7].

Полученные значения среднечасового расхода газа, измеренного накладными ультразвуковыми расходомерами и стационарным комплексом «Суперфлоу-ПЕ», послужили для определения относительной погрешности по формуле:

$$\delta = (Q_{\text{УЗР}} - Q_{\text{ГИС}}) / Q_{\text{ГИС}} \cdot 100\%,$$

где  $Q_{\text{УЗР}}$  — среднечасовой расход газа по накладным УЗПР, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{\text{ГИС}}$  — среднечасовой расход газа по стационарному УЗПР, м<sup>3</sup>/ч.

Результаты экспериментальных измерений расхода природного газа представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты экспериментальных измерений расхода природного газа**

Тип ультразвукового расходомера, зав. №	Схема измерения	Относительная погрешность $\delta$ , %
1010GCN № U21677 (2 датчика)	Однолучевая (в работе 5 измерительных трубопроводов)	-1,47
1010GCN № 30719 (4 датчика)	Двухлучевая (в работе 5 измерительных трубопроводов)	-1,2
1010GCN № 30719 (4 датчика)	Двухлучевая (в работе 4 измерительных трубопровода)	-1,37
1010GCN № U22828 (4 датчика)	Двухлучевая (в работе 5 измерительных трубопроводов)	-0,10
1010GCN № U22828 (4 датчика)	Двухлучевая (в работе 4 измерительных трубопровода)	-0,20
ПИР RG-601 № 06013457 (2 датчика)	Двухлучевая (в работе 5 измерительных трубопроводов)	0,61
ПИР RG-601 № 06013457 (2 датчика)	Двухлучевая (в работе 4 измерительных трубопровода)	1,10

Результаты измерений расхода газа, полученные в ходе эксперимента, показали, что несмотря на все преимущества накладных ультразвуковых расходомеров, их текущая реализация не предусматривает возможность аттестации узла на период реконструкции и техперевооружения в связи с несоблюдением требований, изложенных в ГОСТ 8.611-2013, прежде всего касающихся метрологиче-

ских характеристик и монтажа СИ, геометрических характеристик и внутреннего состояния измерительного трубопровода, а также приведения объемного расхода газа к стандартным условиям, характеризующимся абсолютным давлением газа, равным 0,101325 МПа, и температурой газа, равной 20 °С.

Важно подчеркнуть, что измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (далее — ОЕИ), должны выполняться по аттестованным методикам (методам) [8].

С целью соблюдения требований в области ОЕИ для измерений объема природного газа в период ремонта, замены и реконструкции УИРГ существует актуальная потребность в разработке новых типов накладных расходомеров и специальной методики измерений.

Предлагаем рассмотреть возможность разработки, изготовления и дальнейшего применения на объектах газотранспортной системы РФ портативных расходомеров с накладными датчиками температуры и давления отечественного производства, обеспечивающих эргономичность, широкую область и простоту применения, позволяющих использовать один накладной расходомер на разных объектах в значительном динамическом диапазоне измерений для различных диаметров трубопроводов без проведения огневых работ и остановки технологического процесса, с возможностью его применения в любой промышленной и климатической зоне с обеспечением необходимого уровня точности измерений расхода природного газа и соблюдением требований в области метрологического обеспечения.

Для реализации указанных мероприятий, с учетом аспектов Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г. [9], возможно привлечение специалистов научно-исследовательских институтов с предоставлением площадки для испытаний и дальнейшей разработки инновационного проекта, НИОКР.

В результате разработки и внедрения принципиально нового отечественного типа универсального накладного расходомера и специальной методики измерений, отвечающих всем представленным требованиям, мы сможем обеспечить измерение объемов транспортируемого природного газа с высокой точностью не только в период реконструкции и техперевооружения УИРГ, но и для контроля точности стационарных узлов измерений расхода, временной замены на период поверки стационарных расходомеров, в качестве дублиру-

ющего узла учета, в том числе измерений на участках, еще необорудованных стационарными расходомерами.

### Литература

1. ГОСТ Р 8.820-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения. [Электронный ресурс] ИС «Техэксперт».

2. Комплексная целевая программа метрологического обеспечения производственно-технологических процессов ПАО «Газпром» на 2023–2027. Официальный сайт ПАО «Газпром». [Электронный ресурс] URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/2022/december/article560080> (дата обращения 20.04.2023).

3. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс] ИС «Техэксперт».

4. Приказ Министерства Энергетики РФ от 30 декабря 2013 года № 961 «Об утверждении правил учета газа». [Электронный ресурс] ИС «Техэксперт».

5. Постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений». [Электронный ресурс] ИС «Техэксперт».

6. ГОСТ 8.611-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и количество газа. Методика (метод) измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода. М.: Стандартинформ, 2014. 55 с.

7. СТО Газпром 5.37-2020. «Обеспечение единства измерений. Единые технические требования на оборудование узлов измерений расхода, объема и энергосодержания природного газа». Официальное издание ПАО «Газпром». 2021. 77 с.

8. Федеральный закон 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». [Электронный ресурс] ИС «Техэксперт».

9. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года». [Электронный ресурс] ИС «Техэксперт».

# ПРИМЕНЕНИЕ QR КОДИРОВАНИЯ ПРИ КАЛИБРОВКЕ И ФОРМИРОВАНИИ БД СИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR КОДА В ВИДЕ КЛЕЙМА

А. В. Букин

ООО «Газпром трансгаз Волгоград», Инженерно-технический центр  
Волгоград, Российская Федерация

## *Аннотация*

*В проекте рассмотрена методика применения QR-кодирования для использования в работе метрологической лаборатории при калибровке и ведении базы данных средств измерения в АРМ Метролог. Произведен анализ и подбор необходимого оборудования, материалов. Предложены варианты программного обеспечения для автоматизации процесса работы.*

**Ключевые слова:** метрология, калибровка, клеймо, qr-код, автоматизация, программное обеспечение, средство измерения

Автоматизированная система «АРМ Метролог» предназначена для автоматизации деятельности территориально распределенных метрологических служб предприятия. В ООО «Газпром трансгаз Волгоград» присутствует территориальное разделение служб, участвующих в метрологическом обеспечении средств измерения, применяемых в обществе. Применение ПО «АРМ Метролог» позволяет производить централизованно-контролируемое ведение учета средств измерения, стандартных образцов, индикаторов и испытательного оборудования, организацию проведения поверки и калибровки СИ, поверки рабочих средств калибровки Общества.

Для применения QR кодирования в работе необходимо применять долговечный способ нанесения информации на средство измерения. В связи с тем, что большой парк средств измерений находится в условиях с повышенной влажностью, под воздействием низких температур и прямых солнечных лучей, необходимо применять материалы, устойчивые к негативному воздействию окружающей среды.

Самой долговечной является наклейка, напечатанная с помощью термотрансферной печати. Такие наклейки можно применять в неблагоприятных погодных условиях, соответственно возможно их применение в качестве калибровочного клейма в виде QR-кода. Термотрансферный способ печати представляет собой нанесение

изображения на промежуточный слой — бумагу (риббон) с его последующим переносом на запечатываемый материал. Перенос и закрепление происходят благодаря воздействию высокой температуры. Преимуществом термотрансферной печати является хорошая прочность закрепления краски на запечатываемом материале, а также выгодность печати небольшого количества экземпляров.

Согласно п. 2.4 документа Системы калибровки средств измерений ПАО «Газпром» «Клейма калибровочные. Требования к форме и содержанию. Порядок применения, хранения и гашения», калибровочные клейма в виде наклейки (QR-код) должны быть выполнены из влагостойкой самоклеящейся бумаги и содержать следующую информацию:

- условный шифр аккредитованного лица;
- код подразделения аккредитованного лица;
- индивидуальный знак калибровщика;
- наименование и тип СИ;
- заводской номер;
- дата проведения калибровки;
- межкалибровочный интервал.

В ходе изучения вариантов размеров наклеек был выбран размер 25×43 мм, так как он позволяет напечатать дополнительную текстовую информацию, такую как:

- наименование СИ;
- заводской номер СИ;
- место установки СИ.

Также использование такого размера наклейки позволит использовать ее в качестве пломбы, то есть исключить несанкционированный доступ к СИ.

Клеймо в виде QR-кода считывается любым устройством, поддерживающим чтение двумерных штрихкодов.

Формат и содержание наклейки представлены на рисунке 1. В качестве материала, из которого могут быть изготовлены наклейки, самым долговечным является полипропилен, он позволяет сохранить напечатанную информацию более 3 лет.

Для более автоматизированного процесса печати наклеек была разработана программа, позволяющая, используя выгрузку данных СИ из «АРМ Метролог», сформировать pdf-файл с массивом QR кодов для печати.



Рис. 1. Формат и содержание наклейки.

Практическое применение данного клейма позволяет:

- показать более полную информацию о прохождении калибровки;
- указать место установки средства измерения, что исключает возможность ошибочной установки прибора после получения его из лаборатории (рис. 2);
- клеймо позволяет исключить несанкционированный доступ к прибору путем наклеивания на разъемные части корпуса;
- при необходимости на наклейке возможно указание дополнительной информации, необходимой в работе эксплуатирующей службы.



Рис. 2. Применение клейма на практике

При использовании клейма такого формата возможна организация автоматизации процесса приема и выдачи СИ с помощью наклеек в виде QR-кода и сканера штрих-кодов. Для реализации необходимо применить 2D сканеры штрих-кодов и организовать работу ПО для автоматического занесения в базу данных информации о поступлении СИ в лабораторию, его передвижении внутри лаборатории, а также выдаче его в работу.

## Литература

1. Федеральный закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 (ред. от 11.06.2021) «Об обеспечении единства измерений».
2. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символики штрихового кода QR Code, ГОСТ Р от 03.06.2015 № ИСО/МЭК 18004-2015.
3. Документ системы калибровки средств измерений ПАО «Газпром» «Клейма калибровочные. Требования к форме и содержанию. Порядок применения, хранения и гашения».
4. Технические условия. Термотрансферная лента. ТУ 32.99. 16-001-39794683-2019.
5. Федеральный закон № 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании».
6. Федеральный закон «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» № 412-ФЗ от 28.12.2013.
7. Порядок организации деятельности российской системы калибровки РД РСК 02-2020.
8. СТО Газпром 5.79-2019 «Обеспечение единства измерений. Калибровка средств измерений. Организация и порядок проведения. Основные положения».



# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В РАМКАХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

А. И. Быков, А. С. Катков, Ю. А. Громова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0009-0002-9215-9221  
E-mail: A.I.Bykov@vniim.ru

## **Аннотация**

*Проблемы метрологического обеспечения научно-исследовательской деятельности, перспективы развития отечественного приборостроения в области прецизионной аппаратуры, развитие программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** *метрологическое обеспечение, эталоны, прецизионная аппаратура, научно-исследовательская деятельность, электрические измерения, ресурсное обеспечение, развитие метрологии*

Вопрос обеспечения единства измерений характеризуется как деятельность, направленная на определение теоретических, законодательных и организационно-практических основ, норм и правил, требуемых для достижения результатов в узаконенных единицах величин с требуемой точностью. Из данного заключения хочется выделить область практических работ, научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность.

Доклад освещает вопросы и перспективы развития метрологии, связанные с проблемами обеспечения прецизионными средствами измерений, а именно с наличием высокоточной аппаратуры отечественного производства и соответствующего программного обеспечения для работы в области измерений постоянного электрического тока и постоянного напряжения (рис. 1).

На данный момент отечественное приборостроение замкнуто на обеспечение спроса либо узкоспециализированных потребностей военной, космической отраслей, либо определенной промышленности по специальным заказам, однако область высокоточной аппаратуры, применяемой для научных изысканий, требует особого обеспечения и развития. Большая часть научно-практических трудов, требующая

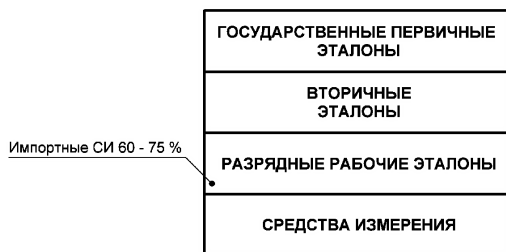


Рис. 1. Структура передачи единиц

высокоточной аппаратуры, в данный момент практически полностью обеспечена импортными средствами измерений (табл. 1), а в свете нынешней мировой обстановки возможность обеспечения ремонтных работ такой аппаратуры крайне мала, как и — в еще большей степени — возможность приобретения.

**Таблица 1. Перечень средств измерений и страна происхождения бренда**

Тип средства измерения	Страна происхождения бренда	Примечание
Keithley 2010	США	–
Keithley 6430	США	–
Keithley 6517B	США	–
Keithley 2182A	США	–
Fluke 8508A	США	–
Fluke 8588A	США	–
Agilent 34411A	США	–
Agilent 3458A	США	–
Agilent 34420A	США	–
Agilent 34970A	США	–
Fluke 5790B	США	–
Fluke 5730A	США	
Fluke 732B	США	
Fluke 732C	США	
Transmille Ltd 3041R	Великобритания	
Transmille Ltd 1000TR	Великобритания	
B2-43	Россия	Снят с производства
H4-7	Россия	Снят с производства
H4-12	Россия	Недоступен для заказа
H-9	Россия	–
H4-17	Россия	–

Проблемы с развитием отечественной высокоточной аппаратуры также состоят в отсутствии высококвалифицированных кадров, подготовленных под решение коллективных задач. Особое внимание стоит уделить вопросам программного обеспечения, так как научная деятельность подразумевает статистический анализ, сбор данных, обработку полученных результатов, поэтому потребность в соответствующем программном обеспечении, поставляемом с оборудованием, имеет не меньший приоритет.

Определяющим решением данной проблемы является развитие комплексного подхода к сотрудничеству в научно-практической сфере и опытно-конструкторской деятельности. Создание научно-технической базы по разработкам и исследованию опытных макетов и конструкций, отработке идей и концепций будущего приборостроения в дальнейшем позволит плотно связать научно-исследовательские институты и промышленность.

Перспективами данного решения является возможность объединения промышленности в области приборостроения с научно-исследовательскими институтами, что позволит выйти на качественно новый уровень разработки высокоточной аппаратуры. Институты смогут предоставить метрологическое обеспечение создаваемых опытных образцов, принять участие в процессе создания и исследования разрабатываемых приборов, что в свою очередь обеспечит совершенствование эталонной базы и определения перспективных направлений.

Развитие высокоточной аппаратуры создаст условия для перевода эталонной базы на цифровую аппаратуру, увеличив тем самым функциональные и аппаратные возможности.

Данное сотрудничество определит перспективы и пути развития промышленной отрасли в области приборостроения, обеспечит практическими работами по разработке и серийному производству аппаратуры, востребованной в области высокоточных измерений в условиях импортозамещения, задаст направление по разработке собственного программного обеспечения разрабатываемых приборов.

Все это необходимо для будущего практически всех отраслей: науки, медицины, экологии, космической отрасли, оборонной промышленности, ресурсного обеспечения и др.

Также не стоит забывать о перспективах международного научно-го и метрологического сотрудничества, подтверждающего компетен-

ции в области высокоточных измерений и повышения объективности оценки полученных результатов.

### Литература

1. Сергеев А.Г. Метрология: история, современность, перспективы. М., 2017.
2. Приборы и системы управления. 1994. № 1. С. 20–24.
3. Ошмарина Е., Поречный С. Методы моделирования прецизионной обработки. М.: LAP, 2012. 156 с.
4. Андреев С.Г. Изучение элементной базы электрических методов измерений: Учебно-методическое пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 175 с.
5. ГОСТ ИЕС 60050-151-2014. Международный электротехнический словарь. Раздел 151-13. Отдельные электрические устройства.
6. ГОСТ 1.0-2015. Межгосударственная система стандартизации. Основные положения. Пункт 5. Основные направления работ по межгосударственной стандартизации.
7. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и средства измерения параметров двухполюсных электрических цепей. М.: РГГУ, 2013. 451 с.
8. ГОСТ Р 8.654-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Пункт 4. Требования к программному обеспечению средств измерений. С. 3–6.

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А. А. Быкова<sup>1</sup>, А. С. Волегов<sup>1</sup>, Д. С. Незнахин<sup>1</sup>, Е. А. Волегова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский Федеральный университет

<sup>2</sup> Уральский научно-исследовательский институт метрологии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Екатеринбург, Российская Федерация  
E-mail: nastyabykova@gmail.com

### **Аннотация**

*В данной работе рассматриваются особенности измерения импульсных магнитных полей с применением преобразователя Холла и индукционно-го преобразователя, а именно представлены результаты по определению индукции магнитного поля при различных положениях датчиков внутри индукторов установки импульсного намагничивания УИН-3000М.*

**Ключевые слова:** датчик Холла, индукционный преобразователь, импульсное магнитное поле, электромагнитная индукция

Импульсные магнитные поля представляют особый интерес в контроле за производственными процессами, при изготовлении постоянных магнитов и магнитных систем, а также используются в научных исследованиях. Измерения в таких полях требуют особого подхода к метрологической подготовке [1, 2], поскольку при них возникают электромагнитные и тепловые эффекты (помехи), поэтому для точных измерений необходимо использование высокоточных средств измерений и средств метрологического контроля, а также хорошо продуманных методик проведения экспериментов. Так, правильная метрологическая подготовка на всех этапах эксперимента, начиная от разработки методики измерений и заканчивая обработкой данных, способствует получению достоверных результатов в условиях импульсных магнитных полей.

Измерения магнитного поля в импульсных режимах в основном производятся с применением датчика Холла [3–5], который представляет собой длинный шток, на конец которого помещается преобразователь Холла [6]. Также встречаются датчики, в основу которых заложены такие эффекты, как эффект гигантского магнитосопротивления, электромагнитной индукции и т. д. [7]. Однако существует ряд

проблем при использовании датчиков для измерения импульсных магнитных полей. Одной из ключевых является временная задержка в реакции датчика при быстро меняющихся магнитных полях [8]. Так, например, датчик Холла, который измеряет магнитное поле как напряжение, возникающее перпендикулярно направлению тока и магнитному полю, при быстро меняющихся импульсных магнитных полях не успевает установить стабильное значение проходящего через него магнитного потока, что влечет ошибку при измерении. Другой проблемой может быть дополнительная наводимая в цепи датчика ЭДС, обусловленная наличием петли из проводов в переменном магнитном поле [6].

В данной работе рассматриваются особенности измерения импульсных магнитных полей с применением датчика Холла и измерительной катушки, а именно представлены результаты по определению сигнала импульсного магнитного поля при различных положениях преобразователей внутри индукторов установки импульсного намагничивания УИН-3000М. В качестве примера на рисунке 1 приведена зависимость индукции магнитного поля в различных положениях датчика в намагничивающем индукторе с диаметром 50 мм.

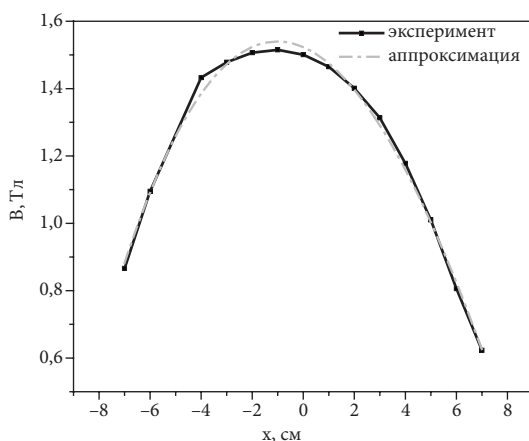


Рис. 1. Распределение индукции магнитного поля в индукторе установки импульсного намагничивания УИН-3000М диаметром 50 мм

В докладе будут представлены результаты измерений индукции импульсного поля разными методами и дана оценка влияния различных факторов на точность измерений.

## Литература

1. Сахаров К. Ю. и др. Метрологическое обеспечение средств измерений параметров импульсных электрического и магнитного полей естественного и искусственного происхождения // Измерительная техника. 2016. 40 с.
2. Шаламов С. П. Измерение импульсных магнитных полей. 2014.
3. Чадаев В. С. Измерение напряженности переменного магнитного поля индукционной головки // XXIV Туполевские чтения. 2019. 145 с.
4. Сойка А. К., Сологуб И. О. Измерение сильных импульсных магнитных полей датчиками холла // Приборы и техника эксперимента. 2010. 132 с.
5. Кузьминых А. С. и др. Особенности измерения импульсных магнитных полей в полеобразующих системах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. 309 с.
6. Dr. Erich Steingroever. Инструкция по эксплуатации. FH-54 (Гаусс / Тесламетр) // MAGNET-PHYSIK GmbH, Köln, 2006. 47 с.
7. Гавричев В. Д., Дмитриев А. Л. Волоконно-оптические датчики магнитного поля // СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013.
8. Бабенко Н. С. Метод измерения импульсных магнитных полей датчиком Холла // Автометрия. 1971. 73 с.

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

М. И. Волков

Публичное акционерное общество «Ильюшинский авиационный комплекс» (ПАО «Ил»), Москва, Российская Федерация  
E-mail: VolkovMrMike@yandex.ru

## **Аннотация**

*Разработка и внедрение платформы цифровой метрологии позволяют автоматизировать как процесс измерений, так и бизнес-процессы метрологических подразделений, осуществлять аналитические и измерительные операции без участия человека и как следствие исключить неопределенности различного рода, сократить время и точность проводимых операций.*

**Ключевые слова:** *цифровизация, автоматизированные измерительные комплексы, метрологическое обеспечение, аттестация испытательного оборудования, измерительный комплекс*

В условиях непрерывно развивающегося научно-технического прогресса и потребности в конкурентоспособной авиационной технике будет расти потребность и в измерительно-вычислительных операциях. Методы и средства измерений продолжают совершенствоваться и автоматизироваться.

Целью данной работы является совершенствование метрологического обеспечения в условиях цифровизации и автоматизации испытаний изделий авиационной техники. Разработка и внедрение платформы цифровой метрологии позволяют автоматизировать как процесс измерений, так и бизнес-процессы метрологических подразделений. Данный подход позволит осуществлять аналитические и измерительные операции без участия человека и как следствие исключить неопределенности различного рода, сократить время и точность проводимых операций.

В результате проделанной работы был проведен анализ отечественных и зарубежных автоматизированных измерительных комплексов. Современные автоматизированные измерительные комплексы являются совокупностью программного обеспечения и сложных технических устройств и представляют собой взаимосвязанные и взаимодействующие подсистемы (измерительные каналы, блоки). Была



проведена оценка совокупности погрешностей, присутствующих в автоматизированных измерительных комплексах, начиная от погрешности средства измерения, заканчивая погрешностью программного обеспечения и др. Выработаны рекомендации для аттестации испытательного оборудования, в состав которого входят подобные комплексы, участвующие в испытаниях изделий авиационной техники.

Результаты проделанной работы могут быть применены в метрологических подразделениях авиационной отрасли и использованы при испытаниях изделий авиационной техники.

### Литература

1. Федеральный закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений».
2. Воронова А. Г. Метрологическая экспертиза конструкторской документации // Сборник научных статей 6-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2021. С. 43–46.
3. Воронков Р. В. Методы и средства повышения эффективности проведения ресурсных испытаний натуральных авиационных конструкций: автореферат дисс. ... канд. техн. н. Жуковский, 2019.
4. Литвинов Б. Я., Скориантов Н. Н., Целмс Р. Н. Цифровая метрология и этапы ее развития // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: IV Международный форум: сборник статей. Санкт-Петербург, 4 марта 2022 г. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. СПб., 2022. С. 14–15.
5. Окрепилов В. В. Индустрия 5.0 — новые вызовы для стандартизации и метрологии // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: IV Международный форум: сборник статей. Санкт-Петербург, 4 марта 2022 г. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. СПб., 2022. С. 19–23.
6. Приказ Минпромторга РФ от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» (зарегистрировано в минобл. РФ 20.11.2020 № 61033).
7. ГОСТ Р 8.568-2017 Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.
8. РМГ 63-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.

# ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛЕММНЫХ ЗАЖИМОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОМЕТРАМИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

О. Ю. Волчек

АО «Богучанская ГЭС», г. Козьмодемьянск, Российская Федерация  
E-mail: VolchekOY@boges.ru

## **Аннотация**

*В статье представлены результаты практического эксперимента, определяющего влияние переходных клеммных зажимов, входящих в систему температурного контроля гидроагрегата, на точность измерения термометров сопротивления. Целью работы является выявление причин увеличения погрешности в измерительном канале температуры.*

**Ключевые слова:** *переходное сопротивление, термометр сопротивления, система температурного контроля, повышение точностных характеристик, измерительный канал*

Система температурного контроля (далее — СТК) на гидроэлектростанции — это измерительная система, предназначенная для непрерывного автоматического контроля за температурой основных узлов гидроагрегата.

В структуре СТК первичным датчиком для измерения температуры является термопреобразователь сопротивления (ТС), принцип действия которого основан на зависимости электрического сопротивления проводника от температуры [2]. Сигналы от ТС передаются на аналого-цифровые преобразователи, расположенные в шкафах контроля температуры через промежуточные клеммные шкафы и коробки.

Наиболее надежная электрическая цепь — это цепь с минимальным числом разрывов и соединений. Любой дополнительный узел контакта снижает общую надежность всего контура.

Переходное сопротивление (ПС) — это сопротивление, которое появляется там, где поверхности контактов соединяются друг с другом. Оно возникает при преодолении током границы токопроводящего соединения. В этом случае активное сопротивление резким скачком увеличивается при прохождении тока от одной поверхности к другой. ПС измеряют методом непосредственного отсчета, вольтметра-амперметра, статистической и динамической нестабиль-

ности [3]. ПС, максимально близкое к идеальному, существует весьма непродолжительный срок, а в процессе эксплуатации оно начинает существенно изменяться по следующим причинам:

- простое соприкосновение контактных поверхностей не обеспечивает надежного контакта, поскольку соединение происходит не по всей поверхности, а лишь в немногих точках [7];

- в результате окисления проводников на их поверхностях образуется тонкая оксидная пленка. С одной стороны, наличие пленок препятствует проникновению кислорода вглубь металла, предотвращая дальнейшее его разрушение, но с другой стороны, они являются еще одной причиной роста переходных сопротивлений [6];

- влияние на ПС оказывает окружающая температура [8].

Необходимая точность ТС, входящих в СТК, для класса В по ГОСТ  $\pm(0,3 + 0,005 |t|)$  °С, допускаемое отклонение по сопротивлению 0,12 Ом. В аккредитованной лаборатории теплофизических измерений были проведены измерения температуры ТС (с разрывом цепи и без него) с использованием клеммной коробки Wago, образцового калибратора температуры Fast Call Low, омметра Hioki. В результате измерений установлено: при уменьшении количества разрывов цепи измерительного канала от термометра сопротивление точность показания термометра увеличилась на 0,05 Ом (0,13 °С) [1, 4, 5].

Путем минимизации (сокращения) разрывов цепи, исключив один контакт путем замены ТС на аналогичный с длинным проводом, была увеличена точность и надежность показаний температуры в узлах гидроагрегата.

## Литература

1. ГОСТ 8.461-2009 ГСИ. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.
2. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
3. ГОСТ 24606.3-82. Изделия коммутационные, установочные и соединители электрические. Методы измерения сопротивления контакта и динамической и статической нестабильности переходного сопротивления контакта.
4. Алиев И. И. Электротехнический справочник. 5-е издание. М.: ИП Радиософт, 2011. 384 с.

5. Бикулов А. М. Поверка и калибровка приборов для измерения температуры: Учебное пособие. М.: АСМС, 1999. 79 с.
6. Бенар Ж. Окисление металлов. Том 2 / Пер. с англ. М.: Букинист, 1968. 500 с.
7. Красин В. Г. Электрические аппараты автоматического управления. Минск: Высшэйшая школа, 1970. С. 5–7.
8. Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Академия, 2005. 560 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А. С. Головко

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ФГАОУ ВО «СПбГУАП»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: golovko.asg@yandex.ru

## *Аннотация*

*В статье рассматривается возможность исследования структуры материала и его химические характеристики, которые являются важным условием будущих успехов нанонауки и нанотехнологий. АСМ широко используется для изучения новых материалов и структур: «умных» покрытий, топливных элементов, магнитных наноструктур, полупроводниковых квантовых точек и т. д. Для этих приложений требуется точно знать положение атомов на поверхностях, границах и возможных дефектах структуры.*

**Ключевые слова:** *атомно-силовая микроскопия, наноструктура, зонд, кантилевер, получение изображения, методы измерения поверхности, формирование АСМ-изображения*

Принцип работы атомно-силового микроскопа (АСМ) основан на сканировании образца острой иглой вдоль его поверхности. Наиболее распространено в АСМ использование зондов кантилеверного типа, состоящих из гибкого кантилевера, острой иглы и подложки. Кантилевер является балкой, у которой один конец закреплен, а второй свободен, и на нем находится острая игла. Сам кантилевер закреплен на твердой подложке, которая вставляется в держатель зонда. Длина кантилевера может быть от 80 до 350 мкм; острия — от 3 до 15 мкм; радиус его кривизны составляет примерно 10 нм. При наименьшем радиусе кривизны может быть получено большее разрешение.

При соприкосновении острия с поверхностью возникает сила взаимодействия, вызывающая отклонение кантилевера. При сканировании образца величина отклонения от предварительно установленного значения измеряется при помощи регистрирующей системы. Пропорциональный отклонению сигнал поступает в систему управ-

ления сканером. В каждой сканируемой точке поверхности система перемещает зонд по нормали к поверхности так, чтобы вернуть значение параметра взаимодействия к предварительно установленной величине. Одновременно величина перемещения зонда по нормали к поверхности записывается в память компьютера и интерпретируется как рельеф образца.

Для получения изображений рельефа поверхности регистрируются малые изгибы консоли при помощи оптических методов, представленных на рисунке 1. Система микроскопа юстируется так, чтобы излучение полупроводникового лазера фокусировалось на консоли зондового датчика, а отраженный пучок попадал в центр фоточувствительной области фотоприемника. В качестве позиционно-чувствительных фотоприемников применяются четырехсекционные полупроводниковые фотодиоды (выводы 1–4 на рис. 1).

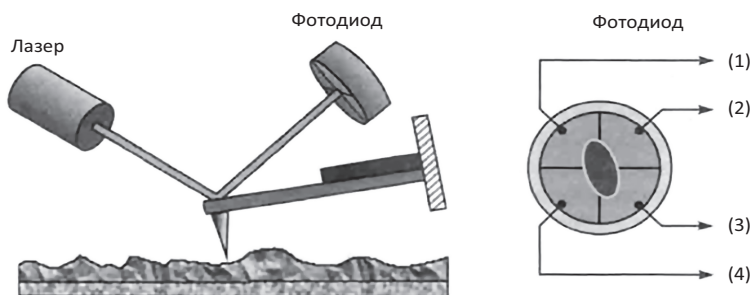


Рис. 1. Схема оптической регистрации изгиба консоли зондового датчика АСМ (слева) и устройство фотодиода (справа)

Режимы работы атомно-силового микроскопа можно разделить на контактный, бесконтактный и полуконтактный.

В контактном режиме острие зонда непосредственно контактирует с поверхностью образца, в процессе чего может возникнуть поломка зонда или разрушение поверхности образцов. При работе в бесконтактном режиме у острия зонда нет контакта с поверхностью, а в полуконтактном контактирует частично. Бесконтактный и полуконтактный режимы работы атомно-силового микроскопа реализованы на основе использования модуляционных методик.

На основе методов измерения топографии поверхности можно получить АСМ-изображение. АСМ-методики, которые основаны

на регистрации параметров взаимодействия кантилевера с образцом, уменьшают механическое воздействие зонда на поверхность в процессе сканирования. Помимо этого, развитие колебательных методик существенно расширило возможности АСМ по измерению различных свойств поверхности образцов.

### Литература

1. Андреева Н. В., Габдуллин П. Г., Журкин А. М. Экспериментальные методы исследования. Методики туннельной и атомно-силовой микроскопии: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 104 с.
2. Галлямов М. О., Яминский И. В. Сканирующая зондовая микроскопия нуклеиновых кислот. М.: Изд-во МГУ, 1998. 17 с.
3. Губин С. П., Юрков Г. Ю., Катаева Н. А. Наночастицы благородных металлов и материалы на их основе. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. 154 с.
4. Лебедева В. В. Техника оптической спектроскопии. М.: Изд-во МГУ, 1977. 384 с.
5. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учеб. пособие для студентов старших курсов вузов. Нижний Новгород: ИФМ РАН, 2004. 114 с.
6. Евдокимов А. А. и др. Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям / под ред. А. С. Сигова. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 146 с.: ил. (Нанотехнологии).
7. Рыков С. А. Сканирующая туннельная микроскопия и атомарно-силовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур: учеб. пособие. СПб., 2022. 75 с.
8. Хартманн У. Очарование нанотехнологии / пер. с нем. 2-е изд., испр. М., 2010. 173 с., ил. (Нанотехнологии).

# ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ ПО ПОВЕРКЕ СИ В ФБУ «ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ»

П. П. Дмитриев, Н. Б. Заболкин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области» (ФБУ «Тест-С.-Петербург»)

Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: pavel.dmitriev03@gmail.com

## **Аннотация**

*В докладе освещена актуальность автоматизации и представлены примеры автоматизированных рабочих мест по поверке средств измерений. Рассмотрено влияние автоматизации на качество и скорость предоставления метрологических услуг. Определены перспективы внедрения автоматизированных рабочих мест.*

**Ключевые слова:** метрология, автоматизация, поверка средств измерений, рабочие места

XXI век — это век информационных технологий. Мы с вами живем в эпоху четвертой промышленной революции, так называемой «Индустрии 4.0». Это обширный технологический переход, охватывающий различные отрасли и сферы жизни и требующий от предприятий и организаций постоянного совершенствования технологических процессов. Одним из основных направлений «Индустрии 4.0» является цифровизация. В этом контексте системы автоматизации играют важную роль в увеличении эффективности и точности производства. Цифровая трансформация [1], без которой развитие экономики в современных реалиях невозможно, не обошла стороной и метрологию.

ФБУ «Тест-С.-Петербург» (далее — Центр) располагает более чем двумя тысячами эталонов [2] единиц величин, закрепленных за 350 рабочими местами, а количество поверяемых средств измерений (далее — СИ) в год составляет порядка 1 миллиона единиц. Автоматизация рабочих мест стала одним из решений, способствующих оптимизации и ускорению процесса поверки. Минимизация влияния человеческого фактора снижает риски отступления от требований нормативной документации и гарантирует соблюдение точности



измерений, что способствует повышению скорости и качества предоставляемых метрологических услуг.

Основными целями автоматизации являются:

- автоматизированная и автоматическая обработка результатов измерений;
- сокращение времени измерений и оптимизация процесса поверки [3];
- упрощение анализа больших объемов данных;
- внедрение единой информационной базы учета деятельности метрологической лаборатории;
- использование функционала и интерфейсов, которые разрабатываются и применяются в современных СИ.

На данный момент в Центре частично или полностью автоматизированы 30 рабочих мест для поверки СИ. Ниже приведены некоторые из них:

- рабочие места для поверки портативных мультиметров и клещей токовых, разработанные совместно с ООО «Юнитесс». Автоматизированные рабочие места (далее — АРМ) оснащены модулем UNITESSVISION (модуль машинного зрения) [4], позволяющим считывать показания с дисплеев СИ с индикаторами любого типа. Также рабочие стенды оснащены специальным манипулятором, позволяющим автоматически переключать режимы работы поверяемых СИ. Время поверки в среднем сократилось в 2,5 раза;

- рабочее место для поверки мер электрического сопротивления. АРМ разработано совместно с ООО «Юнитесс», автоматизация заключается в формировании протокола поверки СИ;

- рабочее место для поверки осциллографов электронно-лучевых универсальных, цифровых запоминающих, стробоскопических. Автоматизация заключается в установке значений (на эталоне), считывании и обработке результатов измерений, а также формировании протокола поверки СИ. В среднем время поверки осциллографов сократилось в 2 раза;

- рабочее место для поверки шумомеров-виброметров. Время поверки сократилось в среднем в 2 раза, в зависимости от типа СИ и количества поверяемых параметров;

- ряд рабочих мест для поверки эталонных гирь 1, 2, 3 и 4 разрядов. Автоматизация заключается в формировании протокола поверки СИ.

Положительный опыт практики внедрения автоматизированных рабочих мест в ФБУ «Тест-С.-Петербург» позволяет сделать следующие выводы:

- автоматизация процесса поверки позволяет сократить время проведения поверки, уменьшить количество ошибок и упростить контроль за качеством предоставления метрологических услуг;
- автоматизация обеспечивает хранение данных о проведении поверки;
- для автоматизации процесса поверки необходимо использовать специальное программное обеспечение и оборудование, что может потребовать дополнительных инвестиций;
- в процессе внедрения автоматизации обязательно нужно учитывать специфику каждого предприятия и настраивать систему под эти условия;
- одна из основных проблем автоматизации — необходимость предварительной проверки корректности работы ПО, что может потребовать больших затрат времени и ресурсов;
- некоторые инструменты и средства поверки могут не иметь готовых решений для использования в автоматизированной системе. В этом случае невозможно полностью автоматизировать процесс поверки, но есть возможность комбинировать автоматические и ручные методы.

Несмотря на все сложности, автоматизация поверки СИ оказывает положительный эффект на деятельность предприятия. Внедрение АРМ — тенденция, которая будет только расти в будущем.

### **Литература**

1. Кузин А. Ю., Яшин А. В. Система обеспечения единства измерений в условиях цифровой трансформации экономики. М.: Главный метролог, 2019. С. 31.
2. Официальный сайт Федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области» (ФБУ «Тест-С.-Петербург»). [Электронный ресурс] URL: <https://rustest.spb.ru/about/> (дата обращения 10.04.2023).
3. Сентемова Д. В. Автоматизация рабочего места поверителя при поверке многозначных мер электрического сопротивления. [Электронный ресурс] URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/37254/>

Avtomatizaciya\_rabocheho\_mesta\_poveritelya\_pri\_poverke\_mnogo\_znachnyh\_mer\_ehlektricheskogo\_soprotivleniya.pdf; jsessionid = C334E27005A19E4EA316BF32FD195AD3?sequence = 1 (дата обращения 11.04.2023).

4. Пономарев А.Н., Казанцева Л.В. Машинное зрение: Актуальность и применение. [Электронный ресурс] URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_45634915\\_64241921.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_45634915_64241921.pdf) (дата обращения 11.04.2023).

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

К. Ю. Добря

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
(Госкорпорация «Росатом»), Москва, Российская Федерация  
E-mail: KrYDobrya@rosatom.ru

## **Аннотация**

*В докладе освещены вопросы, касающиеся вступивших в действие и планируемых изменений в нормативной базе по обеспечению единства измерений в области использования атомной энергии*

**Ключевые слова:** метрология, метрологическое обеспечение, единство измерений, атомная отрасль, Росатом, энергетика

В области использования атомной энергии сформирована система обеспечения единства измерений, определенная постановлением Правительства Российской Федерации от 30.12.2012 № 1488 «Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии». Утвержден завершающий построение нормативно-правовой базы приказ Госкорпорации «Росатом» от 01.11.2019 № 1/26-НПА «Об утверждении Положения о Метрологической службе Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (зарегистрировано в Минюсте России 17.03.2020 № 57765).

В настоящее время ведется работа по дополнению Перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и выполняемых при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии (далее — ОИАЭ), и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений с учетом предложений организаций Госкорпорации «Росатом».

Создана и функционирует в соответствии с Приказом Госкорпорации «Росатом» от 01.12.2017 № 1/1210-П система калибровки в ОИАЭ.

В 2020 г. был актуализирован Приказ Минпромторга России от 10.10.2014 № 2037 (ред. от 28.08.2020) «Об утверждении Порядка организации и ведения разделов Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений в области использования

атомной энергии» (зарегистрировано в Минюсте России 03.03.2015 № 36341). В 2022 г. по предложениям организаций отрасли проведена модернизация информационной системы Федерального информационный фонд по обеспечению единства измерений в ОИАЭ.

В организациях Госкорпорации «Росатом» в соответствии с СТО 95 12072-2021 ежегодно проводятся проверки состояния и применения средств измерений, эталонов единиц величин, методик (методов) измерений, испытаний и контроля, стандартных образцов, аттестованных объектов, испытательного оборудования, стандартных справочных данных, средств допускового контроля, соблюдения метрологических правил и норм (метрологический надзор Госкорпорации «Росатом») и оценка состояния измерений в измерительных и испытательных лабораториях в соответствии с СТО 95 12074-2021. По результатам метрологического надзора Госкорпорации «Росатом» ежегодно формируется сводный отчет, который представляется в Росстандарт в качестве элемента Федерального государственного метрологического надзора.

В рамках системы межлабораторных сличительных испытаний, утвержденной приказом Госкорпорации «Росатом» от 01.11.2017 № 1/1074-П, ежегодно проводятся межлабораторные сличительные испытания по механическим свойствам образцов металлов, индивидуальной дозиметрии, измерениям ядерных материалов, по геометрическим, весовым и радиометрическим измерениям, измерениям, связанным с охраной окружающей среды и многим другим.

В 2021 г. началась разработка информационной системы ЕОС Метрология, которая позволит сократить время, технические и денежные ресурсы протекания бизнес-процессов метрологического обеспечения и отдельных функций и операций для принятия управленческих решений в метрологических службах Корпорации, а также консолидировать данные по процессам метрологического обеспечения в едином источнике.

## Литература

1. Официальный сайт Госкорпорации «Росатом». [Электронный ресурс] URL: <https://rosatom.ru/index.html> (дата обращения 21.04.2023).
2. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2012 № 1488 «Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии».

4. Приказ Минпромторга России от 10.10.2014 № 2037 «Об утверждении Порядка организации и ведения разделов Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений в области использования атомной энергии» (зарегистрировано в Минюсте России 03.03.2015 № 36341).

5. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 01.11.2019 № 1/26-НПА «Об утверждении Положения о Метрологической службе Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (зарегистрировано в Минюсте России 17.03.2020 № 57765).

6. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 01.12.2017 № 1/1210-П «Об утверждении Положения о системе калибровки в области использования атомной энергии».

7. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 01.11.2017 № 1/1074-П «Об утверждении Положения об организации и проведении межлабораторных сличительных (сравнительных) испытаний в организациях Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

8. СТО 95 12072-2021 Стандарт Госкорпорации «Росатом». Метрологический надзор в области использования атомной энергии. Основные положения и процедуры проведения.

9. СТО 95 12074-2021 Стандарт Госкорпорации «Росатом». Оценка состояния измерений. Общие положения.

# СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ НА УСТАНОВКЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО НАГРУЖЕНИЯ СИЛОВОСПРОИЗВОДЯЩЕЙ И МАШИНЕ СИЛОВОСПРОИЗВОДЯЩЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ

Т. И. Другова

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ»), г. Самара, Российская Федерация

## **Аннотация**

*В данной работе рассматривается поверка датчиков весоизмерительных, датчиков силы и массы, крановых весов, в диапазоне от 500 Н до 50 кН.*

**Ключевые слова:** датчик силы, динамометры, крановые весы, установка непосредственного нагружения силопроизводящая

## **Цель работы**

Определение целесообразности использования установки непосредственного нагружения силопроизводящей.

С требованиями ГОСТ 8.631-2013 «Датчики весоизмерительные. Общие технические требования. Методы испытаний» ужесточились требования к эталонам, в связи с этим ФБУ «Самарский ЦСМ» приобрел установку непосредственного нагружения силопроизводящую.

Установка силопроизводящая прямого нагружения предназначена для воспроизведения силы при градуировке, калибровке и поверке крановых весов, силоизмерительных и весоизмерительных датчиков и различных динамометров (в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений силы, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.10.2019 № 2498). Силопроизводящие машины сделаны на основе механизма прямого нагружения, что позволяет создать необходимую эталонную нагрузку, как на растяжение, так и на сжатие.

Установки непосредственного нагружения, в отличие от других силозадающих машин, в которых нагружение происходит посред-

ством гидравлического механизма через тензометрический датчик, работают по принципу прямого нагружения эталонными грузами. В комплекте силозадающих установок используются различные наборы эталонных грузов в виде металлических гирь-дисков, каждый из которых нагружается и разгружается отдельным сервоприводом, управляемыми контроллером, что позволяет путем различного сочетания эталонных мер силы тяжести добиваться требуемого значения воспроизводимой силы. Отсутствие в системе нагружения рычагов и призм позволяет минимизировать возможные погрешности: инструментальные, субъективные, мультипликативные оператора и повысить точность эталона.

Помимо этого, не только высокая точность ( $\pm 0,01\%$ ) является большим достоинством этой установки, для примера погрешность гидравлической машины составляет  $\pm 0,02\%$ , но и возможность автоматизированного управления и составление протоколов поверки, что значительно упрощает работу поверителя и сокращает время поверки.

Также достоинством машины служит автоматическое испытание (включая обжатие, четырехкратное нагружение, подачу силы прямым и обратным ходом) по выбранной оператором комбинации грузов, с автоматической фиксацией заданных точек нагрузки электронных динамометров, либо в ручном режиме с возможностью сохранения и печати результатов. Оператор может производить нагружение в любой произвольной последовательности неограниченное количество раз, управлять траверсой и стабилизировать положение рамки, когда необходимо.

Принцип действия основан на воспроизведении установкой силы путем нагружения грузами известной массы с учетом ускорения свободного падения.

Рассмотрена поверка датчиков силы с расчетом неопределенности на новой установке непосредственного нагружения, проведено сравнение с результатами на машине силовоспроизводящей гидравлической.

В таблице 1 наглядно представлена поверка динамометра электронного переносного ДЭП/3-1Д-50Р-1 на установке непосредственного нагружения, а в таблице 2 мы видим поверку этого же динамометра на машине силовоспроизводящей гидравлической.



**Таблица 1. Результаты поверки динамометра на установке непосредственного нагружения**

Составляющие стандартной расширенной неопределенности (доверительной относительной погрешности) при доверительной вероятности  $p = 0,95\%$ .

$F, \text{ kH}$	$w_1, \%$	$w_2, \%$	$w_3, \%$	$w_4, \%$	$w_5, \%$	$w_6, \%$	$W_1, \%$	$f_c + W, \%$
5	0,010	0,003	0,058	0,408	0,027	0,010	0,826	<b>0,893</b>
10		0,002	0,029	0,204	0,001		0,413	<b>0,446</b>
15		0,000	0,012	0,136	0,006		0,275	<b>0,304</b>
20		0,001	0,014	0,102	0,001		0,208	<b>0,246</b>
25		0,000	0,005	0,082	0,002		0,166	<b>0,182</b>
30		0,000	0,010	0,068	0,002		0,140	<b>0,163</b>
35		0,000	0,007	0,058	0,001		0,117	<b>0,141</b>
40		0,001	0,001	0,051	0,002		0,106	<b>0,119</b>
45		0,000	0,004	0,045	0,001		0,095	<b>0,114</b>
50		0,000	0,001	0,041	0,000		0,086	<b>0,102</b>

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$  — неопределенность, связанная с эталонной силой, воспроизводимостью, повторяемостью, разрешающей способностью, с гистерезисом, дрейфом нуля, соответственно.

$W$  — суммарная расширенная неопределенность определения погрешности, %.

$f_c + W, \%$  — доверительная относительная суммарная погрешность, %.

**Таблица 2. Результаты поверки динамометра на машине силовоспроизводящей гидравлической**

Составляющие стандартной расширенной неопределенности (доверительной относительной погрешности) при доверительной вероятности  $p = 0,95\%$ .

$F, \text{ kH}$	$w_1, \%$	$w_2, \%$	$w_3, \%$	$w_4, \%$	$w_5, \%$	$w_6, \%$	$W_1, \%$	$f_c + W, \%$
5	0,020	0,003	0,058	0,408	0,027	0,010	0,827	<b>0,894</b>
10		0,002	0,029	0,204	0,001		0,415	<b>0,448</b>
15		0,000	0,012	0,136	0,006		0,277	<b>0,306</b>
20		0,001	0,014	0,102	0,001		0,211	<b>0,249</b>
25		0,000	0,005	0,082	0,002		0,170	<b>0,186</b>
30		0,000	0,010	0,068	0,002		0,145	<b>0,167</b>
35		0,000	0,007	0,058	0,001		0,117	<b>0,141</b>
40		0,001	0,001	0,051	0,002		0,112	<b>0,125</b>
45		0,000	0,004	0,045	0,001		0,101	<b>0,120</b>
50		0,000	0,001	0,041	0,000		0,0893	<b>0,109</b>

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$  — неопределенность, связанная с эталонной силой, воспроизводимостью, повторяемостью, разрешающей способностью, с гистерезисом, дрейфом нуля, соответственно.

$W$  — суммарная расширенная неопределенность определения погрешности, %.

$f_c + W, \%$  — доверительная относительная суммарная погрешность, %.

## **Вывод**

Использование современных машин непосредственного нагружения позволяют проводить поверку с более высокой точностью, наличие автоматизированных систем управления, а также применение сервопривода у каждого груза позволяет сократить время поверки.

## **Литература**

1. Приказ от 22.10.2019 № 2498 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы».
2. ГОСТ 8.631-ГСОЕИ. Датчики весоизмерительные. Общие технические требования. Методы испытаний.
3. Приказ от 04.07.2022 № 1622 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений массы»
4. ГОСТ 13837-79. Динамометры общего назначения. Технические условия.
5. ГОСТ Р 55223-2012. Динамометры. Общие метрологические и технические требования.
6. ГОСТ 28836-90. Датчики силоизмерительные тензорезисторные. Общие технические требования и методы испытаний.
7. МИ 2723-2002. Датчики весоизмерительные тензорезисторные. Методика поверки.
8. МП 2301-221-2011. Динамометры электронные на растяжение, сжатие и универсальные. Методика поверки.

# ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ, КОНТРОЛЯ ФОРМЫ И КОНТУРА НА ПРИМЕРЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ

К. В. Епифанцев, Г. А. Петров, А. Э. Егоров

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5705-0282>, e-mail: epifancew@gmail.com

## **Аннотация**

*В статье рассматривается, как подобранные характеристики оптического датчика позволили использовать его вместо контактного щупа при измерении дефектов формы детали (круглости, цилиндричности, концентричности, биения) [1, 3]. Датчик, представляющий лазерную установку, визуализирует измеренные значения благодаря специфическому ПО для снятия данных с щупа в милливольтгах и преобразования их в микрометры и выводом графика с учетом нивелирования возникающих погрешностей в процессе калибровки. В процессе настройки и калибровки датчиков перед началом работы использовались осциллографы и частотомеры типа АКИП, что позволило выявить соответствие амплитуды осциллограммы определенному участку детали, имеющей дефект, что важно для градуировки графика, в написанной на основе C++ программе.*

**Ключевые слова:** *оптические датчики, дефекты геометрии, кругломер, погрешность измерений*

В исследовании [2] представлен лазерный кругломер, который был взят за прототип. В настоящей работе рассмотрен интерференционный метод измерений. За основу взят интерферометр Майкельсона.

В приведенной оптической схеме можно производить измерения смещения одного зеркала при неизменном положении второго и постоянстве параметров лазерного излучения. Приведенная оптическая схема соответствует случаю приема излучения на матричный фотоприемник. Разница во взаимном положении зеркал в плечах интерферометра приводит к изменениям положения максимумов интерференции на фотоприемнике.

В процессе физического моделирования измерительного тракта была собрана система, показанная в таблице 1. Измерительный тракт

построен на основе полупроводникового лазера с длиной волны 1,54 мкм. Излучение лазера передается по одномодовому поляризованному оптоволокну. В измерительной схеме реализован интерферометр, в одно плечо которого поступает опорное излучение от лазерного источника, а во втором — излучение, прошедшее измерительный тракт. Для формирования опорного сигнала использован волоконный делитель, после которого 10% энергии лазера поступает в опорный канал, а 90% в канал измерений. Излучение и прием осуществляются через коллиматор. Для разделения каналов излучения и приема установлен волоконно-оптический циркулятор. Излучение с первого входа циркулятора поступает на второй канал циркулятора и передается через коллиматор в среду, а отраженное от измеряемой поверхности излучение проходит со второго на третий порт циркулятора [4–5]. Далее излучение опорного и сигнального канала смешиваются в оптическом сплиттере и поступают на вход балансного фотоприемника. В схеме использован оптический циркулятор Thrlabs F810APC-1550 и волоконно-оптические компоненты LightComm. В качестве фотоприемника использован балансный детектор Thorlabs PDB425C-AC.

### Результаты экспериментов и общий вид собранного макета



На фото ниже на осциллографе представлены скачки осциллограммы, которые были зарегистрированы при микросмещении винта и приближении линзы к лазеру. Это свойство может быть использовано при анализе вибросмещения на доли микрометров детали, закрепленной на кругломере RoundTest.



## Литература

1. Гущина Е. А., Елифанцев К. В., Ефремов Н. Ю. Цифровая метрология: учеб.-метод. пособие. СПб.: ГУАП, 2022. 104 с.
2. Заякин О. А., Манухин А. В., Ростов А. А. Экспериментальный лазерный кругломер, исследование основной погрешности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 6. С. 184–188.
3. Виды видеоизмерительных систем M-Solutions. [Электронный ресурс] URL [https://mitutoyo.ru/ru\\_ru/products/vision-measuring-systems](https://mitutoyo.ru/ru_ru/products/vision-measuring-systems) (дата обращения 25.02.2022).
4. Глухов В. И. Повышение точности измерений в машиностроении на основе введения новых комплексных показателей действительных размеров деталей: дисс. ... докт. техн. н. М., 1998. С. 319.
5. Кунделева Н. Е. Создание автоматизированного метода расчета допусков на конструктивные элементы центрированных оптических систем со сферическими и плоскими поверхностями: дисс. ... канд. техн. н. Л., 1982.

# СОВЕТ РАБОТАЮЩЕЙ МОЛОДЕЖИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

А. С. Еремеева<sup>1</sup>, А. А. Неклюдова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Публичное акционерное общество «Россети Ленэнерго» (ПАО «Россети Ленэнерго»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: Eremeeva.AS@lenenergo.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0009-0005-0472-6962  
E-mail: A. A. Tsurko@vniim.ru

## **Аннотация**

*В докладе представлены основные положения о деятельности Совета работающей молодежи Санкт-Петербурга, рассмотрены возможности взаимодействия молодежных советов предприятий с Комитетом по молодежной политике и взаимодействию с общественными организациями Правительства Санкт-Петербурга, взаимодействие молодежных советов администраций районов Санкт-Петербурга с молодежными советами и представителями молодежи на благо реализации социально значимых инициатив на территории районов и города.*

**Ключевые слова:** *молодежь, молодежная политика, общественные организации, работающая молодежь, совет*

При Комитете по молодежной политике и взаимодействию с общественными организациями Правительства Санкт-Петербурга (далее — КМПВОО, Комитет) [1] действуют следующие органы молодежного самоуправления:

- Молодежная коллегия Санкт-Петербурга [2];
- Студенческий совет Санкт-Петербурга [3];
- Совет работающей молодежи Санкт-Петербурга [4];
- Молодежные советы при администрациях районов Санкт-Петербурга [5].

Совет работающей молодежи Санкт-Петербурга (далее — СРМ) утвержден Распоряжением от 01.03.2012 № 14-р «О Совете работающей молодежи Санкт-Петербурга при Комитете по молодежной политике и взаимодействию с общественными организациями».

Основные цели деятельности СРМ:

- координация взаимодействия с подразделениями, осуществляющими работу с молодежью по реализации государственной моло-

дежной политики, повышению общественной роли и социальной значимости работающей молодежи на предприятиях, в учреждениях и в организациях Санкт-Петербурга;

— поддержка связей с молодежными движениями, созданными на предприятиях, в учреждениях и организациях Санкт-Петербурга;

— содействие в реализации инициатив и решении проблем работающей молодежи.

Деятельность Совета работающей молодежи Санкт-Петербурга регулируется утвержденным Положением и организационно-распорядительными документами КМПВОО.

Оперативную деятельность СРМ осуществляет председатель и два заместителя, которые избираются на отчетно-выборной конференции.

Совет работающей молодежи проводит мероприятия различной направленности (образовательные, спортивные, культурные, направленные на объединение и т. д.), вовлекает работающую молодежь в городские мероприятия и проекты. Члены и представители СРМ делятся накопленным опытом реализации молодежной политики на предприятиях Санкт-Петербурга, оказывают методическую помощь в организации вновь создаваемых молодежных структур, реализации социально-значимых молодежных инициатив.

В течение деятельности СРМ были реализованы следующие мероприятия и проекты: вечера молодых судостроителей, интеллектуальные турниры, встречи с органами государственной власти, форум работающей молодежи Санкт-Петербурга, образовательные выезды, отраслевые турниры, собственные секции на различных форумах, конкурсы на организацию лучшей работы с молодежью на предприятиях Санкт-Петербурга.

Миссией СРМ является объединение молодых и амбициозных специалистов, которые хотят развиваться и достигать успеха; стремление в создании сообщества — где каждый сможет найти поддержку для реализации инициатив и проектов. В совместных усилиях кроется создание благоприятной среды для развития молодых специалистов в Санкт-Петербурге.

В СРМ с годами налажена плодотворная коммуникация с молодежными сообществами (далее — МС) Санкт-Петербурга, а также активно распространяются рекомендации (полезные ресурсы) для деятельности МС и проводятся встречи на предприятиях с руководством СРМ и представителями Комитета. В настоящее время

на территории Санкт-Петербурга действуют 18 молодежных советов при районных администрациях города: данные МС являются дополнительной площадкой для реализации инициатив по территориальному признаку, например по месту работы, и обладают возможностью предоставления организационной, информационной помощи, а также в предоставлении площадки для проведения мероприятий.

В Санкт-Петербурге почти каждый пятый житель — представитель молодого поколения в возрасте от 14 до 35 лет. Молодежная политика является важным направлением в деятельности городского правительства. КМПВОО активно поддерживает молодежь в реализации инициатив. КМПВОО поощряет талантливую и выдающуюся молодежь премиями (например, молодежная премия по 14 номинациям присуждается 14 победителям ежегодно или молодежная премия «Лучший молодежный проект» присуждается 30 победителям конкурсного отбора ежегодно) [6].

Главное в работе МС — представление интересов и потребностей молодежи, а также участие в формировании активной жизненной позиции в молодежной политике. Важно обеспечивать связь молодежи с властью и общественными организациями, а также помогать молодым людям в решении их проблем и вопросов, реализации инициатив и проектов. Взаимодействие между МС важно по нескольким причинам:

1) обмен опытом и знаниями. Ведь каждое МС имеет свой уникальный опыт и знания, которыми можно обмениваться с другими сообществами. Это позволяет расширить кругозор, узнать новые подходы и методы решения проблем;

2) реализация совместных проектов, как взаимодействие между МС может привести к созданию совместных проектов, которые будут способствовать развитию обоих сообществ. Это может быть совместная организация мероприятий, проведение общественных работ или создание общей платформы для обмена информацией;

3) поддержка и взаимопомощь — МС могут оказывать взаимную поддержку и помощь в решении различных проблем и вызовов. Это может быть помощь в поиске новых участников или решение конфликтов;

4) социальная активность, ведь взаимодействие между МС может стать стимулом для социальной активности и развития гражданской



позиции. Объединение усилий приведет к созданию сильного сообщества, которое будет более успешно в достижении своих целей.

Таким образом, взаимодействие между молодежными сообществами является важным фактором для развития молодежи и общества в целом. Оно способствует развитию и наращиванию потенциала молодежи для построения будущего на предприятиях и в стране.

Партнерство в МС достаточно важный аспект, потому что это позволяет объединить усилия различных организаций и сообществ для достижения общих целей. Кроме того, партнерство может способствовать обмену опытом и знаниями, расширению сети контактов и созданию новых возможностей для молодежи. Вместе с тем партнерство может помочь улучшить качество реализуемых проектов и программ, а также повысить эффективность работы МС. СРМ активно взаимодействует с Санкт-Петербургским государственным бюджетным учреждением «Центр содействия занятости и профессиональной ориентации молодежи «ВЕКТОР» [7] — подведомственным учреждением Комитета по молодежной политике и взаимодействию с общественными организациями. А в 2023 г. СРМ заручился поддержкой Координационного совета по развитию сообществ молодых специалистов при Общественной палате Российской Федерации [6] — для реализации совместной деятельности и поднятия статуса социально-значимых проектов до всероссийского уровня.

## Литература

1. Официальный сайт Комитета по молодежной политике и взаимодействию с общественными организациями Правительства Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Правительство Санкт-Петербурга, 2023. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kpmp/> (дата обращения: 25.04.2023).
2. Молодежная коллегия Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Правительство Санкт-Петербурга, 2023. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kpmp/molodezhnoe-samoupravlenie/molodezhnaya-kollegiya/> (дата обращения: 25.04.2023).
3. Студенческий совет Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Правительство Санкт-Петербурга, 2023. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kpmp/molodezhnoe-samoupravlenie/studsovet/> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Совет работающей молодежи Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Правительство Санкт-Петербурга, 2023. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kpmp/molodezhnoe-samoupravlenie/sobor-rabotayushchey-molodezhi/>

spb.ru/gov/otrasl/kmpm/molodezhnoe-samoupravlenie/soviet-rabotayushej-molodezhi-sankt-peterburga/ (дата обращения: 25.04.2023).

5. Молодежные советы при Администрациях районов Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Правительство Санкт-Петербурга, 2023. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kmpm/molodezhnoe-samoupravlenie/molodezhnye-sovety/> (дата обращения: 25.04.2023).

6. Молодежная премия Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Правительство Санкт-Петербурга, 2023. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kmpm/molpremi/molodegnaupremiya6/> (дата обращения: 25.04.2023).

7. Координационный совет по развитию сообществ молодых специалистов [Электронный ресурс]: Общественная палата Российской Федерации, 2023. <https://old.oprf.ru/about/structure/2701/2644/> (дата обращения: 25.04.2023).

# SQL И РЕЛЯЦИОННЫЕ СУБД В КОНТЕКСТЕ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

А. В. Ермолаев

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Оренбургской области» (ФБУ «Оренбургский ЦСМ»), Оренбург, Российская Федерация  
E-mail: ave6990@ya.ru

## *Аннотация*

*В докладе рассматриваются перспективы использования реляционных систем управления базами данных в контексте метрологической деятельности. В ходе работы над данной темой был разработан прототип базы данных, предназначенной для хранения и обработки метрологических данных, полученных в процессе выполнения поверки. Рассмотрен вопрос автоматизации формирования протоколов поверки и генерации структурированных файлов импорта данных в другие информационные системы.*

**Ключевые слова:** *системы управления базами данных, метрологические данные, обработка результатов поверки, SQL, реляционная алгебра, автогенерация документов, выгрузка данных в «Аршин»*

Работа метролога сопряжена с обработкой значительного объема информации. Это описания типа СИ и методики поверки, сведения об условиях поверки, сведения об эталонах, результаты измерений и наблюдений и так далее. Эта информация в процессе работы преобразуется в структурированный набор данных, который необходимо хранить и обрабатывать. Для этих целей используется различное программное обеспечение (ПО): от электронных таблиц «Excel» до «Единой метрологической платформы» (ЕМП). ЕМП, хотя и является специализированным ПО для регистрации метрологических работ, имеет определенные недостатки. Например, платформа не располагает функционалом для хранения и анализа результатов измерений и наблюдений, выполненных в процессе поверки СИ в виде электронного документа, пригодного для считывания и дальнейшей машинной обработки [1].

Традиционно и небезосновательно для хранения больших объемов структурированных данных используются базы данных. База данных (БД) — совокупность взаимосвязанных данных, организованных

в соответствии со схемой базы данных таким образом, чтобы с ними мог работать пользователь [2]. Для эффективного взаимодействия с БД существует множество различных систем управления базами данных (СУБД). Одной из ключевых особенностей использования СУБД для организации хранения данных является гарантия целостности данных, то есть соответствия значений всех данных БД определенному непротиворечивому набору правил [2].

Ввиду необходимости передачи сведений о результатах поверки в федеральный информационный фонд «Аршин» представляется целесообразным сразу вносить эти данные в некую цифровую информационную среду [3]. А принимая во внимание необходимость оформления протоколов поверки, возникает логичное требование к этой среде: формирование протокола поверки на основании введенного набора данных.

Для решения этой задачи была разработана модель данных, позволяющая хранить и обрабатывать данные, полученные в результате выполнения метрологических работ на базе реляционной СУБД «SQLite». Модель БД (модель данных) — способ описания БД с помощью формализованного (в том числе графического) языка на некотором уровне абстракции [4].

Рассматриваемая БД является основой для создания информационной системы, призванной помочь метрологам выполнять регистрацию и анализ данных о поверке. Обработка введенных пользователем данных позволяет сделать вывод о пригодности СИ к эксплуатации, непосредственно после регистрации результатов измерений, на основании данных о метрологических характеристиках СИ и операциях поверки, хранящихся в БД. Комплекс БД и SQL-запросов позволяет автоматизировать формирование протоколов поверки на основании внесенных в базу данных. Протокол формируется в виде HTML-документа, который можно просмотреть и вывести на печать в любом современном браузере. Помимо прочего, благодаря исключительной гибкости языка SQL [5] достаточно просто реализуется формирование файла выгрузки данных в «Аршин».

## Литература

1. Юмашева Ю. Ю. От машинно-ориентированных к электронным документам: Эволюция объектов и терминов // Документ. Архив. История. Современность. 2017. № 17. С. 417–445.

2. ГОСТ 34.321-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными.
3. Об обеспечении единства измерений. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ: с изм., вступ. в силу с 28.12.2021. М.: Консультант-Плюс, 2021.
4. Волк В. К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование: учебник. СПб.: Лань, 2020. 244 с.
5. Шилдс У. SQL: быстрое погружение. СПб.: Питер, 2022. 224 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОПРИБОРОВ

А. В. Журавлев

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. А. М. Муратшина в Республике Башкортостан» (ФБУ ЦСМ им. А. М. Муратшина в Республике Башкортостан). Уфа, Российская Федерация  
E-mail: svusoka@yandex.ru

### *Аннотация*

*Оптимизация затрат рабочего времени поверителя СИМН на проведение анализа испытательного ЭКГ-сигнала на соответствие метрологическим характеристикам посредством применения шаблона испытательного ЭКГ-сигнала и оцифровки кардиограммы.*

**Ключевые слова:** метрология, поверка электрокардиоприборов, испытательный ЭКГ-сигнал, СИМН, кардиограмма

Оперативный анализ испытательного ЭКГ-сигнала на соответствие метрологическим характеристикам важен не только для поверителя СИМН (средств измерений медицинского назначения), но и для врача лечебного учреждения, который ожидает пациента на срочный прием.

«Метрологические характеристики определяют путем сравнения формы и амплитудно-временных параметров нормированных испытательных ЭКГ-сигналов, подаваемых с выходов эталона через ПКУ (поверочное коммутационное устройство эквивалент “кожа—электрод”) на входы ЭКП (электрокардиоприбора), с формой и амплитудно-временными параметрами сигнала на выходе ЭКП по записи на бумажном носителе или по изображению на экране монитора, а также по распечатке, которые должны соответствовать рисункам и таблицам, указанным в Р 50.2.009-2011» [1, с. 6].

Применение шаблона испытательных ЭКГ-сигналов с обозначенными допустимыми минимальными и максимальными границами значительно сократит время на оперативную качественную оценку соответствия метрологическим характеристикам поверяемого ЭКП.

Путем соосного наложения, относительно изолинии, шаблона сигналов на испытательный ЭКГ-сигнал (рис. 1. в), поверитель может оперативно определить пригодность ЭКП и сообщить о качественном результате врачу, а также метрологу организации.

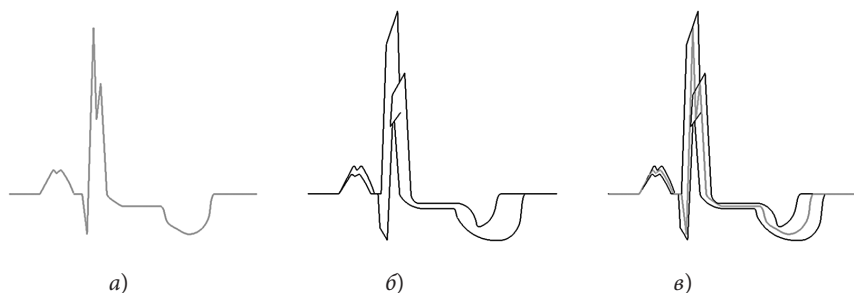


Рис. 1. Принцип применения шаблона испытательного ЭКГ сигнала:  
 а) форма испытательного ЭКГ-сигнала; б) шаблон испытательного ЭКГ-сигнала с обозначенными допустимыми минимальными и максимальными границами; в) применение шаблона испытательного сигнала с обозначенными допустимыми минимальными и максимальными границами

Далее в лаборатории проводится количественный анализ испытательного сигнала на бумажном носителе и средства поверки уже в цифровом виде, посредством персонального компьютера и программы. В программе создается инструмент, с помощью которого выполняется сличение с эталоном — линейка по ГОСТ 427 с ценой деления 1 мм, перенимается единица величины и создается цифровая размерная сетка.

Представленный метод по оптимизации поверки электрокардиоприборов позволит свести возникновение субъективной погрешности при проведении анализа испытательного ЭКГ-сигнала к минимуму.

## Литература

1. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Рекомендации по метрологии Р 50.2.009-2011. «Государственная система обеспечения единства измерений. Электрокардиографы, электрокардиоскопы и электрокардиоанализаторы. Методика поверки». 27 с.

# ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ МАССОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Е. Д. Иеромонахов

Федеральное бюджетное учреждение «Ярославский центр стандартизации и метрологии» (ФБУ Ярославский ЦСМ),  
г. Ярославль, Российская Федерация  
ORCID: 0009-0002-5095-46300009-0002-5095-4630  
E-mail: egor\_0698@mail.ru

## *Аннотация*

*В данной статье рассмотрена проблема, связанная с введением ограничений со стороны недружественных стран, а именно, с уходом известных иностранных производителей массовых расходомеров с российского рынка и, следовательно, поиском вариантов замены иностранных приборов на отечественные. Также рассмотрим в сравнении их метрологические характеристики.*

**Ключевые слова:** метрология, импортозамещение, массовый расходомер, погрешность, точность измерений

Одной из основных задач метрологии является обеспечение единства измерений.

Одной из составляющих данной задачи является применение различных приборов учета, установленных на пищевой, нефтяной, газовой, химической, нефтедобывающей, энергетической и фармацевтической промышленности, в соответствии с установленными к процессу учета требованиями. Производителями приборов учета являются многие страны мира, однако некоторые из них общепризнанные лидеры. В связи с введением ограничений со стороны недружественных стран и уходом иностранных производителей с отечественного рынка вопрос, связанный с импортозамещением, стал очень актуален.

Рассмотрим данную проблему на примере массовых расходомеров. Общепризнанными лидерами среди мировых производителей массовых расходомеров являются такие как: KROHNEEMERSON, Endress + Hauser, PROMAG, YOKOGAWA. Перечень средств измерений, которые могут заместить импортные аналоги, в том числе и массовые расходомеры общепризнанных лидеров рынка, ведет и актуализирует Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы. В данном перечне представлены массовые



расходомеры таких отечественных производителей, как ГК «Ультра», ООО «Компания ШТрай», ЗАО «ЭМИС» и другие. Именно они пришли на смену иностранным производителям.

Произведем сравнение отечественных и импортных массовых расходомеров по ряду параметров. В федеральном информационном фонде «Аршин» можно найти информацию о результатах прохождения поверки отечественных и импортных приборов. Опираясь на эту информацию, можно сделать вывод о среднем проценте признания непригодными сравниваемых массовых расходомеров мировых лидеров и их отечественных аналогов.

С помощью информации, приведенной в описании типа, сопоставим их метрологические характеристики и ограничения применения.

После проведенного сравнительного анализа мы видим, что приборы отечественных производителей также имеют широкий диапазон измерений, используются на разных измеряемых средах и практически ни в чем не уступают импортным: ни в точности измерений, ни в размерах внутреннего диаметра, ни в минимальной проводимости среды, ни в классе защиты и многих других параметрах.

Но все же не все отечественные аналоги обладают необходимой стабильностью показаний, характерной для приборов учета импортного производства, что во многом обусловлено применением микросхем и иных комплектующих, произведенных с помощью других технологий.

Также хочется отметить, что на сайте ФГБУ «ВНИИМС» размещен онлайн-сервис «Импортозамещение средств измерений», который позволяет осуществлять: подбор, сопоставление и сравнение данных по отечественным средствам измерений, аналогичным импортным, вошедшим в Перечень, и сбор предложений по актуализации Перечня и Программы импортозамещения.

## Литература

1. Катус Г. П. Массовые расходомеры. 1965. 88 с.
2. Бирюков Б. В. Точные измерения расхода жидкостей: справ. пособие. М.: Машиностроение, 1977. 144 с. Библиогр.: С. 142–143.
3. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник / под ред. Е. А. Шорникова. 5-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2004. Кн. 2: Расходомеры: обтекания, силовые, тепловые, оптические, ионизационные, ядерно-магнитные, концентрационные,

меточные, корреляционные, вихревые, электромагнитные, ультразвуковые (акустические). 416 с., ил.

4. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. 592 с.

5. Кремлевский П.П. Расходомеры. М.-Л.: Машгиз, 1964. 656 с.

6. Мельник С. А., Половнева С. И., Борисова Е. А. Некоторые особенности работы расходомеров на теплофикационной воде. Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет.

7. Дхинадхаялан М. Счетчики воды, контрольно-измерительные приборы и SCADA. 2020.

8. Расходомеры жидкости. Советы по подбору. [Электронный ресурс] <https://emis-kip.ru/ru/company/sob/articles/raskhodomer-zhidkosti-sovety-ekspertov-po-podboru>.

9. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ). [Электронный ресурс] <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4>.

10. Online СЕРВИС ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ на сайте ФГБУ «ВНИИМС». [Электронный ресурс] <https://import-net.vniims.ru>.

11. Программа импортозамещения измерительной техники на 2022–2030 годы. [Электронный ресурс] <https://import-net.vniims.ru/upload/import.pdf>.

12. Приказ от 01.04.2022 № 1189 Министерства промышленности и торговли Российской Федерации «Об утверждении плана мероприятий по импортозамещению измерительного, в том числе метрологического оборудования на период до 2024 года». [Электронный ресурс] <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minpromtorga-Rossii-ot-01.04.2022-N-1189>.

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ТРАНСПОРТНЫХ ЛИНИЯХ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ АЭС

И. А. Каминская

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-1726-6521, e-mail: 9085011339@mail.ru

## **Аннотация**

*В докладе представлен обзор актуальных проблем оценки потерь аэрозольных частиц в транспортных (пробоотборных) линиях систем радиационного контроля АЭС. Автором выполнен анализ применимости имеющейся методики измерений коэффициента потерь аэрозольных частиц и целесообразность его использования при расчете выброса радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Выдвинуты предложения по разработке альтернативных методик измерений коэффициента потерь аэрозольных частиц.*

**Ключевые слова:** радиационный контроль, выбросы, аэрозольные частицы, атмосферный воздух, коэффициент потерь

Контроль выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, в том числе и радиоактивных веществ, регламентируется Федеральным законом от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» и рядом его подзаконных нормативных правовых актов. Объекты использования атомной энергии (далее — ОИАЭ) являются источниками выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Нормирование таких выбросов ограничивает и оптимизирует радиационное воздействие атомных электростанций (далее — АЭС) на население и окружающую среду.

Контроль выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух выполняется при помощи штатного пробоотбора выбрасываемой газовойдушной смеси путем осаждения аэрозольных частиц на фильтрующий материал. Поскольку радиоактивные вещества, представленные аэрозольными частицами, могут оседать в транспортных линиях системы радиационного контроля, необходимо учитывать данный факт в процессе их транспортировки от места пробоотбора до точки контроля. Автором выполнен анализ с точки зрения применимости утвержденной методики измерений коэффициента потерь

аэрозольных частиц в транспортных линиях (импульсных трубках) атомных станций, являющейся составной частью методического обеспечения радиационного контроля газовоздушных выбросов атомных станций. Также проведена оценка целесообразности использования указанного коэффициента и метода его определения с целью корректировки измеренных значений выброса радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Результаты анализа дают основания полагать, что вопрос оценки потерь аэрозольных частиц в транспортных (пробоотборных) линиях систем радиационного контроля АЭС не решен. Автором выдвинуты предложения по разработке альтернативных методик измерений коэффициента потерь аэрозольных частиц.

### Литература

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». Введ. 2008-12-30. М., 2008.
2. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха». Введ. 1999-05-04. М., 1999.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.05.2016 № 422 «Об утверждении Правил разработки и утверждения методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками».
4. Приказ от 31.07.2018 № 341 «Об утверждении порядка формирования и ведения перечня методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками» (зарегистрировано в Минюсте России 23.10.2018 № 52502.)
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Роспотребнадзор, 2009.
6. МУ 1.1.4.01.1976-2022 «Оценка изокинетичности отбора проб аэрозолей в вентиляционных трубах атомных станциях. Методические указания». Введ. 2023-02-13.
7. МТ 1.1.4.02.002.1985-2022 «Методика измерений концентрации аэрозольных частиц в транспортных линиях (импульсных трубках) атомных станций для определения их потерь». Введ. 2023-02-13.
8. Полянцева С.С., Пырклов И. В., Григорьев Е. И. Актуальные вопросы контроля газоаэрозольных выбросов на АЭС // АНРИ. Аппаратура и новости радиационных измерений. 2009. № 2. С. 37–46.
9. Кочерыгин М. В., Лачугин А. В., Павлов С. В. Сравнительный анализ методов оценки осаждения радиоактивных аэрозолей в системах пробоотбора на объектах использования атомной энергии // Радиационная безопасность. 2022. Т. 67. № 1. С. 33–38.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИАПАЗОНЕ 0–3200 °С ГЭТ 34–2020: РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ЭВТЕКТИКИ РЕНИЙ УГЛЕРОД

А. Д. Катышев

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»)  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: alkatyshevqq@gmail.com

## **Аннотация**

*Рассмотрен комплекс аппаратуры Государственного первичного эталона единицы температуры ГЭТ 34-2020 в диапазоне выше 1235 К. Описан основной метод измерения термодинамической температуры в диапазоне выше 1235 К. Представлены причины исследования метрологических характеристик ГЭТ 34-2020. Изучены метрологические характеристики ГЭТ 34-2020 при реализации температуры фазового перехода эвтектики рений углерод на разных длинах волн. Описаны практические возможности исследования реализации температуры фазового перехода эвтектики рений углерод.*

**Ключевые слова:** *термометрия, термодинамическая температура, температура фазового перехода, высокотемпературные эвтектики*

В 2020 г. был утвержден Государственный первичный эталон единицы температуры ГЭТ 34-2020, который состоит из двух комплексов. Для диапазона от 961,78 до 3200 °С (область радиационных методов измерений температуры) был разработан комплекс аппаратуры, позволяющий воспроизводить кельвин методами абсолютной и относительной первичной радиометрической термометрии.

В ходе исследования была реализована температура фазового перехода эвтектики рений углерод на разных длинах волн, которая составляет 2474,6 °С. Площадка плавления и затвердевания представлена на рисунке 1.

Измерения осуществлялись на разных длинах волн (530,5 нм, 648,3 нм, 750 нм). Было выявлено, что значение фототока при длинах

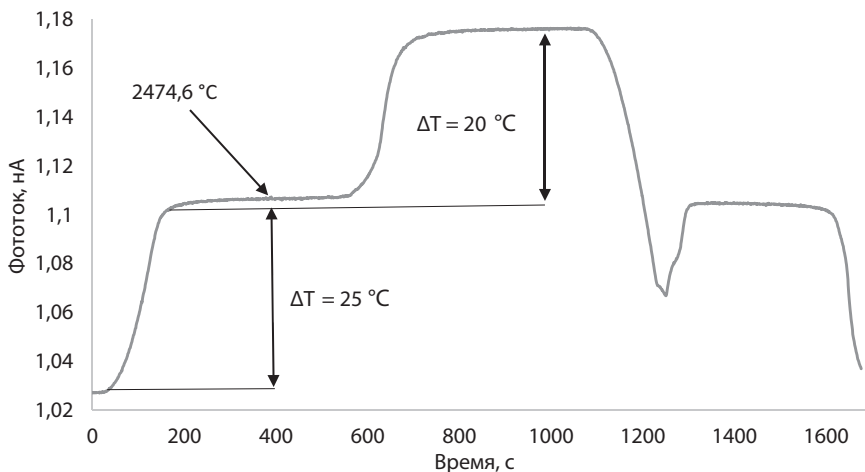


Рис. 1. Плато плавления и затвердевания эвтектики рений углерод

волн 648,3 нм и 750 нм практически не изменились. Однако теория говорит о том, что энергия излучения (выходной сигнал фотоприемника) на такой температуре может расти примерно вплоть до 1400 нА. Вероятно, это связано с чувствительностью самого фотоприемника. Для подтверждения гипотезы был просканирован сигнал на разных длинах волн (530–800 нм) при разных температурах (1600–2400 °С). Это позволило определить значение максимума сигнала для каждой выбранной температуры и выявить линейную зависимость максимального сигнала фототока от температуры.

Определение такого максимума имеет практическую значимость при передаче единицы рабочим эталонам. Данное исследование позволяет снизить погрешность спектральных характеристик фотоприемника при калибровке эталонных пирометров (рабочих эталонов нулевого и первого разряда).

## Литература

1. Походун А. И., Фуксов В. М., Сильд Ю. А. и др. Государственный первичный эталон единицы температуры в диапазоне 0–3200 °С ГЭТ 34-2020: практическая реализация нового определения кельвина // Измерительная техника. 2021. № 7. С. 16–20.
2. Machin G., Anhalt K., Bloemergen P. et al. Мер-k relative primary radiometric thermometry, 2017.

3. Woolliams E. R., Anhalt K., Ballico M. et al. Thermodynamic temperature assignment to the point inflection of the melting curve of high-temperature fixed points // *Philosophical transactions A*. 2016. P. 6–15.
4. Jung H. J. Spectral Nonlinearity Characteristics of Low Noise Silicon Detectors and their Application to Accurate Measurement of Radiant flux Ratios // *Metrologia* 15. P. 173–181.
5. Техническая спецификация фотодиода Si photodiode S1337-1010BQ. [Электронный ресурс] URL: [https://www.hamamatsu.com/sp/ssd/doc\\_en.html](https://www.hamamatsu.com/sp/ssd/doc_en.html).
6. Техническая спецификация монохроматора MSA-130. [Электронный ресурс] URL: <https://www.solarlaser.com/devices/double-additive-subtractive-monochromator-msa130>.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ

А. А. Кирьянов

ООО «Газпромнефть-Автоматизация»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: Kiryanov.AAn@gazprom-neft.ru

## *Аннотация*

*К 2030 г. компания «Газпром нефть» предполагает создание и внедрение ИТ-продуктов, которые позволяют получать данные о технологических процессах, анализировать их и прогнозировать оптимальные режимы работы для формирования управляющего воздействия на исполнительные механизмы с помощью сотрудника (оператора). В статье рассмотрены задачи развития метрологии как одного из ключевых элементов производственной системы. В частности, рассмотрены вопросы метрологического обеспечения цифровых моделей.*

***Ключевые слова:** цифровые технологии, метрологическое обеспечение, инновации, добыча нефти*

В этом году компания «Газпром нефть» (далее — Компания) представила открытую платформу промышленной автоматизации как технологию нового поколения для модернизации производств. Реализация такой технологии в современном производстве не может обходиться без средств измерений (далее — СИ). За счет высокого уровня автоматизации мы собираем большое количество информации из всех ключевых элементов производства, и мы должны быть уверены в том, что содержащаяся в ней измерительная информация достоверна [1]. Применение инструментов цифровизации требует не только совершенствования процессов автоматизации, но и процессов обеспечения единства измерений.

Задачи метрологического обеспечения производства с учетом развития и внедрения цифровых технологий можно разделить на три уровня:

- уровень средств измерений;
- уровень систем измерений, информационно-измерительных систем;
- уровень платформ промышленной автоматизации производства.



Для успешной реализации цифровых проектов на уровне СИ необходимо все большее применение интеллектуальных СИ, ключевой отличительной особенностью которых является наличие функции метрологического самоконтроля [2].

На уровне систем измерений необходимо формирование единого технологического пространства измерений, когда системы измерений не будут ограничиваться какой-то одной или несколькими задачами для отдельных элементов или процессов технологического объекта, а будут многофункциональными и охватывать технологический процесс полностью. Построение таких систем измерений не обойдется без применения цифровых моделей и реализации цифровых двойников [3]. Метрологическое обеспечение таких систем с помощью действующих форм государственного регулирования в области обеспечения единства измерений согласно Федеральному закону № 102-ФЗ [4] имеет ограничения и, в связи с этим, требует развития новых форм.

Уровень платформ предусматривает обработку полученных на первом и втором уровнях массивов результатов измерений и данных, в течении всего жизненного цикла объекта. Для этого потребуется интеграция систем различных технологических процессов в единую платформу.

Для реализации поставленных задач требуется организация взаимодействия бизнеса, научного сообщества и государства, что позволит избежать в последующем многих барьеров. В настоящее время в Компании в рамках реализации концепции безлюдных месторождений [5] выявлено, что 87% трудозатрат в операциях добычи нефти приходится на технологические процессы и сервисные работы. Для снижения этих трудозатрат Компания планирует к 2030 г. реализовать автономный актив [6].

Одним из элементов автономного актива являются цифровые модели изделий. По ГОСТ Р 57700.37 цифровая модель изделия — это система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям. К цифровым моделям можно отнести реализованный в Компании

виртуальный расходомер [7]. Именно эта цифровая модель выбрана в качестве объекта для разработки и внедрения решений по ее метрологическому обеспечению [8].

## Литература

1. Кирьянов А. А. Актуальные цели и задачи метрологии в нефтегазодобывающей отрасли в эпоху цифровизации // XXII Всероссийская научно-техническая конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике «Трансформация неразрушающего контроля и технической диагностики в эпоху цифровизации. Обеспечение безопасности общества в изменяющемся мире». Москва, 3–5 марта 2020 г. М.: ИД «Спектр», 2020. С. 205–207.

2. ГОСТ Р 8.734-2011. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. М.: Стандартинформ, 2019.

3. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: ФГБУ «РСТ», 2021.

4. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями на 11.06.2021) (редакция, действующая с 28.12.2021).

5. Кибирев Е.А., Кузьмин М.И., Зацепин А.Ю., Клинков Е.В. Безлюдные месторождения: настоящее и будущее // ПРОНЕФТЬ. 2020. № 1. С. 64–68. DOI: 10.24887/2587-7399-2020-1-64-68.

6. Кузьмин М.И., Грехов И.В., Герасимов Р.В. и др. Автономный актив: концепция и пути решения // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023; Т. 8. № 1. С. 129–137. DOI: 10.51890/2587-7399-2023-8-1-129-137.

7. Андрианова А.М., Логинов А.А., Хабибуллин Р.А., Кобзарь О.С. Виртуальная расходомерия как инструмент мониторинга эффективности работы скважины с УЭЦН // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023. Т. 8. № 1. С. 75–81. DOI: 10.7868/S2587739920040114.

8. Кирьянов А.А., Кузьмин М.И. Актуальные задачи метрологического обеспечения в нефтегазодобывающей отрасли // Нефтяное хозяйство. 2022. № 4. С. 54–59 DOI: 10.24887/0028-2448-2022-4-54-59.

## ОЦЕНКА ОПЫТА ПО РАЗРАБОТКЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ

Н. Н. Колдыбаева, С. В. Лавринов

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Татарстан» (ФБУ «ЦСМ Татарстан»), г. Казань, Российская Федерация  
E-mail: lsv@tatcsm.ru

### *Аннотация*

*В докладе представлен анализ имеющегося опыта по разработке стандартных образцов на примере производства стандартных образцов состава бензойной и сорбиновой кислот в ФБУ «ЦСМ Татарстан».*

***Ключевые слова:** стандартный образец, методика, утверждение типа, производство стандартных образцов*

В соответствии со ст. 8 Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений должны применяться стандартные образцы (далее — СО) состава и свойств веществ утвержденных типов.

Предприятия и организации, осуществляющие измерения в сфере государственного регулирования, должны соблюдать обязательные метрологические требования к таким измерениям.

Основным требованием для таких измерений является использование стандартных образцов утвержденного типа, обеспечивающих прослеживаемость измерений.

В то же время в соответствии с Приказом Минпромторга № 2510 проверка средств измерений должна осуществляться по методикам, утвержденным при проведении испытаний в целях утверждения типа средств измерений. Измерения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений должны проводиться по аттестованным в установленном порядке методикам (методам) выполнения измерений в соответствии со ст. 5 ФЗ № 102. При отсутствии утвержденных СО в процессе реализации методики использовались, например, чистые вещества аналогичного состава, что по сути является нарушением действующего законодательства. Для решения обозначенной проблемы организуется производство СО утвержденного типа. Однако в отсутствие гибкого механизма внесения

изменений в утвержденные методики, а именно замены аналогов (например, чистых веществ по ГОСТ) на вновь созданные СО утвержденного типа, весь процесс производства может оказаться невыгодным, что замедляет развитие эталонной базы.

В 2019–2020 гг. ФБУ «ЦСМ Татарстан» подключилось к решению задачи по обеспечению базы стандартных образцов и запустило производство СО состава бензойной и сорбиновой кислот с аттестованными характеристиками массовой доли, %.

В настоящее время ФБУ «ЦСМ Татарстан» в качестве перспективного направления рассматривает процедуру по созданию СО состава тяжелых (токсичных) металлов (свинца, кадмия, шестивалентного хрома, ртути) в полимерах для обеспечения измерений в рамках ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки», а СО полимеров — базы сравнения для идентификации специальных добавок (наполнителей) в производстве пластиков, в том числе и композитов.

## Литература

1. Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
3. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.08.2020 № 2905 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения».
4. ГОСТ Р ИСО 17034-2021. Общие требования к компетентности производителей стандартных образцов.

# РАЗРАБОТКА ЭТАЛОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ИНФЕКЦИЕЙ *HELICOBACTER PYLORI*, НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ВЫДЫХАЕМОМ ВОЗДУХЕ

А. В. Колобова, Я. К. Чубченко, Г. А. Афанасьев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6361-6515>  
E-mail: [afanasyev@b10.vniim.ru](mailto:afanasyev@b10.vniim.ru)

## **Аннотация**

*В рамках ОКР «Система-2020-М» была разработана эталонная установка для метрологического обеспечения диагностики заболеваний, вызванных инфекцией *Helicobacter Pylori*, на основе определения изотопов углерода и кислорода в выдыхаемом воздухе. В докладе обсуждаются основные технические и методические решения, позволившие получить указанный результат.*

**Ключевые слова:** метрология, стабильные изотопы, изотопная масс-спектрометрия, изотопная инфракрасная спектроскопия, стандартные образцы изотопов, стандартные образцы изотопного состава, изотопный дыхательный тест,  $^{13}\text{C}$ -уреазный дыхательный тест

Изотопный анализ используется для диагностики таких заболеваний как гастрит, язва [1], диабет [2], определения кислотности в желудке, усвояемости жиров поджелудочной железой, функции печени, выявления опухолей, гиперкапнии [3] и диагностики перистальтики желудка. Проводятся исследования по использованию изотопного анализа для диагностики различных видов рака, болезни Альцгеймера [4], заболевания кровеносных сосудов, эндокринной системы [3].

Диагностика и устранение *H. pylori* приводит к излечению гастрита [5], что является основой профилактики долгосрочных осложнений или рецидивов болезни. Одним из наиболее достоверных неинвазивных методов диагностики является  $^{13}\text{C}$ -уреазный дыхательный тест [6, 7]. Обычно  $^{13}\text{C}$ -уреазный дыхательный тест выполняется

с помощью изотопных инфракрасных анализаторов. [8, 9]. Для метрологического обеспечения диагностики заболеваний, вызванных инфекцией *Helicobacter Pylori*, на основе определения изотопов углерода и кислорода в выдыхаемом воздухе разработана эталонная установка в рамках СЧ ОКР «Система-2020-М» [10] (договор № 02567567/12479/0505-20 от 04.12.2020 г. «Выполнение СЧ ОКР по разработке комплекса измерений массового расхода криогенных жидкостей; комплекса государственных первичных референтных методик измерений; эталонных установок и стандартных образцов для метрологического обеспечения измерений в медицинской лабораторной диагностике; комплекса для метрологического обеспечения цифровых электрических подстанций»).

Эталонная установка представляет собой совокупность следующих блоков: масс-спектрометр изотопный, модель isoprime precisION; система двойного напуска iso DUAL INLET; система для изотопного анализа isoFLOW-C; блок управления и обработки информации; комплект расходных материалов для градуировки и контроля стабильности.

В рамках данной работы исследованы метрологические характеристики эталонной установки. Диапазон измерений дельта значений отношений изотопов углерода  $\delta^{13}\text{C}$  составил от минус 50‰ до плюс 3‰. Диапазон измерений дельта значений отношений изотопов кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  составил от минус 30‰ до минус 2‰. Расширенная неопределенность (при  $k = 2$ ) составила не более 0,4‰.

## Литература

1. Чубченко Я.К. Разработка методов и средств метрологического обеспечения инфракрасных анализаторов для измерений отношения изотопов  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  диоксида углерода в газовых смесях: автореферат дисс. ... канд. техн. н. СПб., 2018.
2. Хеннесси Е.О. Серологические маркеры цепаикии и нарушение моторно-эвакуаторной функции желудка у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа: автореферат дисс. ... канд. мед. н. М., 2012.
3. Эльман А.Р. Стабильно-изотопная диагностика в России итоги и перспективы. 1С-препараты, приборы, методы // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2013. Т. 15. № 1–4. С. 122–139.
4. Заикин В.Г. Хромато-масс-спектрометрия в России // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66. № 11. С. 1205–1209.

5. Grishkanich A. et al. SRS-sensor  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotops measurements for detecting Helicobacter Pylori // Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XVIII. SPIE. 2018. Vol. 10488. P. 198–209.
6. Chubchenko Y. et al. Raman sensor with isotopic resolution for medical applications // 2018 International Conference Laser Optics (ICLO). IEEE. 2018. P. 572–572.
7. Grishkanich A. et al. Raman and CRDS isotopic resolution spectroscopy for biomedicine applications // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019. Vol. 1379. N 1. P. 12–50.
8. Попов Е.Е. et al. Helicobacter pylori breath test by the Raman spectroscopy gas analyzer //2022 International Conference Laser Optics (ICLO). IEEE. 2022. P. 1.
9. Попов Е.Е.  $\delta^{13}\text{C}$  measurements in a human exhalation // 2022 International Conference Laser Optics (ICLO). IEEE, 2022. P. 1.
10. Пронин А.Н. Современная метрология физико-химических измерений. СПб., 2022. С. 501–511.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

С. В. Кондратьев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: s.v.kondratiev@vniim.ru

## *Аннотация*

*Государственный первичный эталон единицы температурного коэффициента линейного расширения (далее — ТКЛР) ГЭТ 24-2018 в области высоких температур — высокотемпературный оптический dilatометр ДОВ-1 — позволяет передавать единицу ТКЛР мерам ТКЛР только определенных размеров и формы. Некоторым рабочим средствам измерений ТКЛР невозможно передать единицу ввиду вышесказанных ограниченных функциональных возможностей dilatометра ДОВ-1. В данной работе рассмотрены возможные пути для улучшения как его функциональных возможностей, так и метрологических характеристик. Была модернизирована оптико-электронная измерительная система dilatометра ДОВ-1, а именно разработаны, изготовлены и установлены новые калибровочный и реперный образцы в виде микрометрических линеек из кварцевого стекла марки КВ. Также разработан алгоритм расчета масштаба камер оптической системы, исходя из обработки изображений микрометрических линеек. На основе алгоритма создано специальное программное обеспечение для обработки изображений микрометрических линеек. В результате выполнения данной работы обеспечена возможность измерения образцов различной длины в пределах от 30 до 110 мм, что позволяет передавать единицу ТКЛР в области высоких температур всем представленным в РФ dilatометрам.*

**Ключевые слова:** *температурный коэффициент линейного расширения, высокотемпературный dilatометр, микрометрическая линейка, государственный первичный эталон*

В настоящее время техника и технология используют машины и механизмы, функционирующие в разных температурных диапазонах — от сверхнизких до предельно высоких. Создание и эксплуатация подобных устройств требуют знания параметров материалов в соответствующих температурных диапазонах. Теплофизические свойства



материалов, в том числе температурный коэффициент линейного расширения, характеризуют возможность использования материалов и изделий при переменных температурах. Особо актуален сейчас вопрос определения ТКЛР с высокой точностью в области высоких температур до 3000 К.

Разработчики систем, функционирующих при высоких температурах, решая необходимые для них конкретные вопросы, покупают зарубежные или создают собственные приборы для измерения ТКЛР (далее — дилатометры), которые способны измерять (определять, контролировать) изменение удлинения материалов в ходе изменения температуры. Однако вопросы точности и достоверности результатов, полученных на подобных дилатометрах, остаются открытыми.

Единица ТКЛР передается при помощи эталонов — мер ТКЛР. Ввиду разнообразия измерительных систем коммерческих дилатометров используются меры различных размеров и формы. Это привело к необходимости расширить функциональные возможности высокотемпературного оптического дилатометра ДОВ-1 из состава ГЭТ 24-2018 [1] в части размеров (длины) измеряемых образцов. Одним из доступных способов для выполнения этой задачи является модернизация оптико-электронной измерительной системы высокотемпературного оптического дилатометра ДОВ-1.

**Целью работы** является расширение функциональных возможностей ГЭТ 24-2018 в области высоких температур.

В ходе работы были выполнены следующие задачи:

- разработка, изготовление, установка новых реперного и калибровочного образцов;
- разработка алгоритма расчета масштаба камер, исходя из обработки изображений реперного и калибровочного образцов;
- разработка СПО для обработки изображений реперного и калибровочного образцов, представляющих собой микрометрические линейки;
- проведение исследований и определение метрологических характеристик высокотемпературного дилатометра ДОВ-1 с модернизированной оптико-электронной измерительной системой.

### **Научная новизна и практическая значимость**

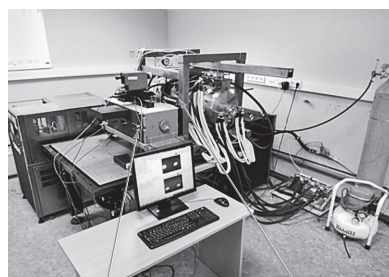
Разработан и создан новый метод обработки данных линейных удлинений на основе оценки изображений шкалы калибровочного

и реперного образцов в виде микрометрических линеек, который позволил улучшить метрологические характеристики высокотемпературного оптического дилатометра ДОВ-1 в части измерения линейных удлинений исследуемых образцов. Выполнение данной работы обеспечило возможность измерения образцов различной длины в пределах от 30 до 110 мм, что позволяет передавать единицу ТКЛР в области высоких температур всем представленным в РФ дилатометрам.

*Описание измерительной системы высокотемпературного оптического дилатометра ДОВ-1*

Основные элементы дилатометра ДОВ-1:

- высокотемпературная печь нагрева;
- стойка управления, обеспечивающая контролируемый нагрев печи;
- оптико-электронная измерительная система, обеспечивающая одновременные измерения как удлинения, так и температуры исследуемых образцов;
- системы водоохлаждения печи, подачи газа и пр.



Оптическая система

Печь нагрева

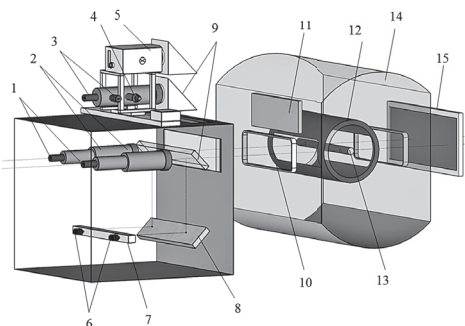


Рис. 1. Внешний вид дилатометра ДОВ-1 (слева) и структурная схема его оптико-электронной измерительной системы (справа):  
 1 — устройства считывания изображений (КМОП камеры); 2 — объективы;  
 3 — двухспектральные датчики; 4 — канал для спектрометра;  
 5 — пирометр; 6 — подсветка реперного образца; 7 — реперный образец;  
 8 — зеркало; 9 — светоделитель с оптическими фильтрами; 10, 11 — стекло и металлический экран окна печи; 12 — нагреватель; 13 — образец; 14 — печь нагрева; 15 — источник подсветки образца (для низких температур)

Оптико-электронная измерительная система высокотемпературного дилатометра (рис. 1) предназначена для измерения теплового

расширения твердых объектов (образцов) методом т. н. парной телемикроскопии [2]. Измеряемый образец помещается в высокотемпературную печь дилатометра, а изменение его длины (удлинение) оценивается по смещению изображений краев или специально сформированных маркеров на образце.

Оптико-электронная измерительная система состоит из двух параллельно направленных оптических каналов наблюдения, каждый из которых включает в себя объектив и устройство считывания изображения. Расстояние между оптическими каналами (база) можно изменять таким образом, чтобы иметь возможность измерять образцы длиной от 30 до 110 мм. Для компенсации теплового расширения элементов измерительной системы под действием излучения печи внутри системы размещается реперный образец. До недавнего времени реперный образец представлял собой пластину с маркерами, за которыми расположен отключаемый светодиодный источник подсветки. Изображение реперного образца вводится в оптический канал при помощи системы светоделителей. В поле зрения каждого оптического канала расположена пара маркеров реперного образца, что позволяет отслеживать изменения масштаба оптической системы и базы между каналами по изображениям. Однако такие пары маркеров были изначально сделаны только на расстояниях, соответствующих 40 мм и 80 мм между камерами. Таким образом, эти же ограничения вводились и на длину исследуемых образцов.

#### *Замена репера и калибровочного образца на микрометрические линейки*

Для обеспечения возможности калибровки оптико-электронной измерительной системы при любом положении камер было предложено использовать микрометрические линейки со специально нанесенной на них шкалой. На рисунке 2 приведен вид разработанной нами шкалы. Несмотря на то, что реперный образец максимально удален от печи, в качестве материала для изготовления линейек был выбран кварц марки КВ, имеющих близкий к нулю ТКЛР. Роль меток исполняют деления линейки. Штрихи оптической шкалы нанесены с расстоянием между ними 0,2 мм, ширина штрихов составляет 12–15 мкм, погрешность нанесения штрихов не превышает 0,2 мкм. Метки равномерно распределены по всей длине линейки, высота

метки — 1,5 мм. Каждая десятая метка высотой 3 мм. Поскольку линейка должна обеспечивать определение масштаба камер при любом их положении, также нанесены диагональные линии шкалы, толщина которых совпадает с толщиной меток и составляет 12–15 мкм. Также на шкалу нанесены отверстия по всей длине линейки диаметром 20–25 мкм. Они предназначены для оценки влияния хроматических aberrаций.

В качестве способа нанесения шкалы на линейку использовался метод вакуумного хромирования. Расстояния между центрами штрихов линеек были определены в НИО 251, ВНИИМ, при помощи вторичного эталона единицы длины с расширенной неопределенностью 10 нм.

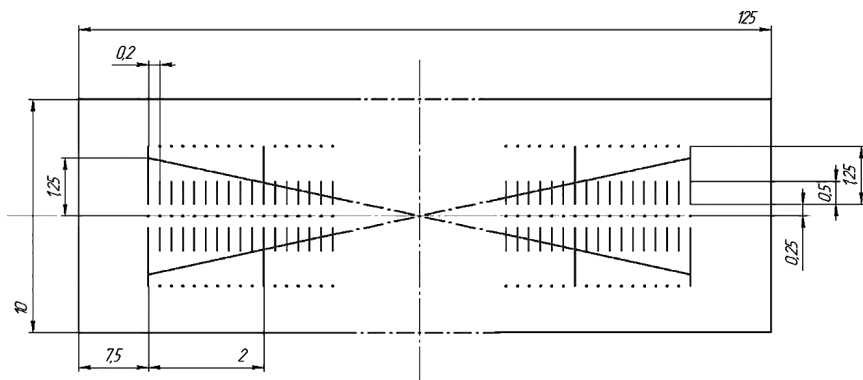


Рис. 2. Вид шкалы микрометрической линейки

Для установки и крепления реперного образца в корпус оптико-электронной измерительной системы был изготовлен и установлен специальный держатель. Для получения изображения реперного образца был разработан светодиодный источник подсветки, обеспечивающий равномерное освещение по всей шкале. Разработанная система подсветки имеет возможность плавной регулировки интенсивности освещения. Управление работой источника подсветки осуществляется автоматически и встроено в общую систему управления источниками подсветки дилатометра ДОВ-1.

Для установки и крепления калибровочного образца в печь дилатометра ДОВ-1 был изготовлен держатель из пластика при помощи 3D-принтера.

*Определение метрологических характеристик dilatометра ДОВ-1 с модернизированной системой измерений линейных удлинений*

После модернизации оптико-электронной измерительной системы было проведено две серии измерений для образцов различной формы, по 5 измерений в каждой серии. В качестве материала был выбран графит марки ГИП-4 — наиболее стабильный и исследованный высокотемпературный материал. Один образец имел форму цилиндра диаметром 10 мм и длиной 100 мм, в качестве маркеров для определения его удлинения использовались пары отверстий диаметром 1 мм на расстоянии 40 мм от центра образца. Форма второго образца — усеченный параллелепипед с размерами 10 × 10 × 100 мм. Измерения ТКЛР были проведены в температурном диапазоне от 800 до 2400 °С. Режим измерений был выбран согласно методике калибровки на высокотемпературные меры ТКЛР — нагрев со статиками каждые 200 °С.

В таблице 1 представлены данные измерений, приведенные к значениям температуры, кратным 200 °С (метод интерполяции по сплайнам), а также значения ТКЛР для образца из графита марки ГИП-4, указанные в ГСССД 328-2017 [3]. Полученные значения ТКЛР согласуются с данными ГСССД 328-2017 с учетом расширенной неопределенности, находящейся в пределах от  $(3,5 \div 6,5) \times 10^8 \text{ K}^{-1}$  в зависимости от диапазона температуры.

**Таблица 1. Результаты измерений ТКЛР исследуемых образцов и ГСССД 328-2017**

Температура $t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	$\alpha_{20-t_1} \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$		
	ГСССД 328-2017	Образец 1	Образец 2
800	5,57	5,59	5,60
1000	5,76	5,78	5,78
1200	5,93	5,94	5,95
1400	6,07	6,09	6,10
1600	6,21	6,23	6,24
1800	6,34	6,36	6,36
2000	6,47	6,48	6,49
2200	6,59	6,60	6,60
2400	6,71	6,71	6,72

СКО измерений ТКЛР образцов из графита марки ГИП-4 с учетом модернизированной системы измерений удлинения не превышает  $3,5 \cdot 10^8 \text{ K}^{-1}$ , что примерно на 20% меньше максимального значения СКО для меры ТКЛР из графита марки ГИП-4 зав. № G004/1 из состава ГВЭТ единицы ТКЛР 2.1.ZZB.0253.2017.

В результате выполненных работ были получены следующие результаты:

- проведен анализ и выбор типа шкалы для микрометрических линеек;
- разработаны и изготовлены микрометрические линейки из кварцевого стекла с нанесением шкалы выбранной формы;
- разработаны, изготовлены и установлены узлы системы крепления и подсветки микрометрических линеек из кварцевого стекла;
- разработано специальное программное обеспечение, предназначенное для повышения точности измерений ТКЛР (в части измерения линейных удлинений исследуемых образцов).

В итоге был расширен диапазон длин измеряемых образцов, повышена производительность и надежность проводимых измерений ТКЛР образцов при высоких температурах, а также снижена случайная составляющая погрешность измерения удлинения за счет повышения точности отсчета контура отверстия на образце.

В результате выполнения данной работы обеспечена возможность измерения образцов различной длины в пределах от 30 до 110 мм, что позволяет метрологически обеспечить все представленные в РФ дилатометры.

## Литература

1. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1942 от 03.09.2021 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $2 \cdot 10^9$  Гц».

2. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 668 от 17.03.2022 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений силы переменного электрического тока от  $1 \cdot 10^{-8}$  до 100 А в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $1 \cdot 10^6$  Гц».

3. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3456 от 30.12.2019 «Об утверждении государственной

поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока».

4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3457 от 30.12.2019 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы».

5. Гуревич М. Л. Сравнительные характеристики измерительных термоэлектрических преобразователей напряжения, применяемых в метрологических службах в качестве эталонов при поверке калибраторов, вольтметров и других средств измерений, работающих на переменном токе // Радиоизмерения и электроника. 2012. № 18.

6. Комплект прецизионных шунтов переменного тока А40 Fluke. Руководство по эксплуатации.

7. Комплект преобразователей тока термоэлектрических ПТТ-36. Руководство по эксплуатации ЭРБС.411136.013 РЭ.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ю. А. Копыльцов, Б. П. Тарасов, А. Б. Копыльцова

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»)  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: kopyltsov@b10.vniim.ru

## *Аннотация*

*В настоящей работе рассмотрены результаты экспериментов по анализу топлив с различными добавками, влияющими на показатели их состава и свойств, с использованием экспресс-анализаторов топлив (ЭА) различных типов и моделей. Найдены примерные соотношения для каждого вещества, построены корреляционные зависимости результатов и разработаны рекомендации для пользователей ЭА по повышению точности измерений.*

**Ключевые слова:** *нефтепродукты, анализ качества нефтепродуктов, экспресс-анализаторы состава и свойств*

Физико-химические свойства (показатели качества) нефтепродуктов определяются техническими условиями (ТУ), в которых нормированы сами показатели, допустимые диапазоны значений, и методики измерений или испытаний. Для проведения таких испытаний нужна аккредитованная лаборатория. Но оценка топлива в лаборатории — это долго, дорого и не всегда доступно. На топливном рынке много задач, для решения которых используются различные экспресс-анализаторы (ЭА). По точности ЭА проигрывают стандартным методикам, но другие свойства измерительной информации в соответствии с ГОСТ 8.820-2013 («своевременность», «актуальность») являются их несомненными преимуществами. Накопившийся за последнее десятилетие опыт применения и метрологического обеспечения выявил проблемы контроля точности и достоверности, обсуждение которых является темой данной работы.

В процессе работы был исследован ряд ЭА различных типов. Были проведены анализы ряда проб различных топлив (бензин автомо-



бильный, топливо дизельное), после чего к этим пробам добавлялись компоненты (в том числе использующимися в качестве присадок). Проводился анализ проб с добавками и на основе полученных данных строились зависимости количества искомого компонента от количества добавки. Было установлено, что к разным веществам ЭА имеют различную чувствительность, для каждой добавки был установлен примерный порог чувствительности.

В данной работе были испытаны различные способы контроля точности результатов измерений ЭА. Относительно просто эта задача решается для показателей состава (массовая/объемная доля бензола, спиртов, МТБЭ и других присадок). Сложнее дело обстоит с показателями свойств. Во-первых, большая часть показателей состава и свойств являются методозависимыми. Во-вторых, в классической ИК-спектроскопии концентрация искомого компонента пропорциональна оптической плотности характеристической полосы поглощения (закон Ламберта—Бэра), для показателей свойств такие характеристические полосы в принципе отсутствуют. Поэтому величина показателя определяется расчетным путем с помощью математической модели. Критически важным свойством ЭА для пользователя является его способность обнаружить порчу топлива (контрафакт, неправильное смешение, загрязнение при транспортировке и т.п.). В работе был исследован отклик ЭА на добавки, ухудшающие качество моторных топлив (контрафакт). Показано, что инфракрасные и другие типы ЭА имеют порог чувствительности, близкий к 5–8% этих добавок. В работе предложены стратегии работы с измерительной информацией, которые позволяют обеспечить ее достоверность даже при таком уровне чувствительности.

## Литература

1. Копыльцова А.Б., Тарасов Ю.П. Современный тренд контроля качества: быстро и дешево // Контроль качества продукции. 2019. № 6. С. 13–24.
2. Муха В.С. Анализ многомерных данных. Минск, 2004. С. 366.
3. Фридман Э.А. Основы метрологии. Современный курс. СПб.: НПО «Профессионал», 2008. 284 с.
4. Копыльцова А.Б., Тарасов Б.П., Копыльцов Ю.А. Качественный анализ и контроль качеств // Контроль качества продукции. 2022. № 6. С. 43–49.

5. Родионова О.Е. Интервальный метод обработки результатов многоканальных экспериментов: автореферат дисс. ... докт. физ.-мат. н. М., 2008. С. 272.
6. ГОСТ 8.820-2013. ГСИ. Метрологическое обеспечение. Основные понятия; введ. 2015-01-01. М.: Стандартиформ, 2019. 8 с.
7. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия; введ. 2020-07-01. М.: Стандартиформ, 2019. 10 с.
8. ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия; введ. 2015-01-01. М.: Стандартиформ, 2019. 10 с.

# ТЕМПЕРАТУРНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЙ КРЕПЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д. В. Краев, ведущий инженер<sup>1</sup>, аспирант<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ВНИИР — ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ» (ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»), г. Казань, Российская Федерация  
E-mail: dafkw@mail.ru

## **Аннотация**

*В работе рассмотрены методы температурной компенсации с учетом технологий крепления деформационно-чувствительных элементов. Проанализированы проблемы, возникающие при реализации данных методов.*

**Ключевые слова:** *термосопротивление, чувствительный элемент, мостовая схема, пластина компенсации, терморезистор*

Производимые деформационно-чувствительные элементы широко применяются в современной метрологии. На точность измерений, например, массы, при помощи данных чувствительных элементов существенно оказывает влияние изменение температуры. Разберем несколько основных методов компенсации влияния температуры [1–9].

1. Метод устранения температурного воздействия на чувствительный элемент с помощью установки дополнительного чувствительного элемента в непосредственно связанную цепь мостовой схемы, при этом дополнительный чувствительный (компенсационный) элемент прикрепляют к тугой балочке и изгибают так, чтобы изгиб компенсационного элемента был равен изгибу чувствительного элемента.

Так как современные чувствительные элементы малогабаритны, реализация данного метода является сложной, а из-за проблематичности получения одинакового изгиба точность компенсации имеет относительно высокую погрешность.

2. Метод устранения температурного воздействия на чувствительный элемент с помощью наклеивания компенсационно-чувствительных элементов на пластину компенсации и включения их в непосредственно связанную цепь мостовой схемы симметрично с рабочим чувствительным элементом, приклеенным на деталь, при этом на

пластину компенсации и деталь приклеивают одинаковые терморезисторы с учетом включения в зависимости от знака коэффициента термосопротивления рабочего и компенсационного и чувствительного элементов в соответствующие плечи мостовой схемы.

Из-за разброса параметров чувствительных элементов и термосопротивлений, а также влияния клеевых соединений данный метод обладает небольшой точностью термокомпенсации. Кроме того, существуют технологические проблемы, связанные с процессом изготовления: наклейка, производство пластин компенсации с требуемыми параметрами (тепловыми и упругими).

3. Метод устранения температурного воздействия на чувствительный элемент заключается в нагреве чувствительного элемента и нахождения значения и знака температурного отклонения, при помощи которых определяют значение и местоположение терморезистора для последующего включения его в цепь мостовой схемы. Данный терморезистор помещают в герметичную емкость и вакуумируют перед подключением в цепь мостовой схемы. После увеличивают давление в емкости для достижения термокомпенсации.

При реализации данного метода применяется сложное испытательное оборудование, которое необходимо для вакуумирования емкости и сохранения заданного давления. Кроме того, при быстром температурном изменении среды измерений точность метода сильно снижается (из-за высокой тепловой инерционности системы).

### Литература

1. Клокова Н.П. Тензорезисторы // Датчики и системы. 2004. № 3. С. 10–12.
2. Мокров Е. А. Интегральные датчики // Датчики и системы. 2000. № 1.
3. Кольман Е. М., Беклемишев А. И., Липешонков А. С. Тензометрическая система «Эпсилон» // Датчики и системы. 2004. № 3. С. 18–19.
4. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. 592 с.
5. Тензорез <http://tenzorez.ru/support/primeneniye-s-obraznyih-tenzodatchikov/>
6. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е. П. Осадчего. М.: Машиностроение, 1979. 480 с., ил.
7. Мартынов Д. Б., Стучебников В. М. Температурная коррекция тензопреобразователей давления на основе структур КНС // Датчики и системы. 2002. № 10. С. 6–12.
8. Тихоненков Е. В., Мишин В. А. Схемная минимизация аддитивной температурной погрешности тензорезисторных датчиков давления с мостовой измерительной цепью // Датчики и системы. 2006. № 3. С. 14–17.
9. Земельман М. А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М.: Изд-во стандартов, 1972. 199 с.

# КАЛИБРОВКА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ГИДРОФОНА МЕТОДОМ РАСТРОВОГО СКАНИРОВАНИЯ

С. И. Кузнецов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),  
г. п. Менделеево, Московская область, Российская Федерация

## *Аннотация*

*Рассмотрены различные методы калибровки ультразвуковых гидрофонов. Обоснована возможность калибровки гидрофона методом растрового сканирования ультразвукового поля известной мощности средствами ГЭТ 169-2019. Приведены результаты измерений чувствительности высокочастотного гидрофона.*

**Ключевые слова:** *высокочастотный гидрофон, ультразвук, растровое сканирование, мощность ультразвука, чувствительность гидрофона, плоская волна*

Высокочастотные гидрофоны применяются для измерений параметров ультразвуковых полей, излучаемых различным оборудованием. В основном источниками такого излучения является ультразвуковое диагностическое или терапевтическое оборудование. От точности калибровки таких гидрофонов напрямую зависит качество контроля параметров ультразвукового оборудования. Так, например, основным требованием обеспечения безопасного использования терапевтического ультразвука является ограничение неоднородности пучка (коэффициент неоднородности не более 8 [1]). Этот параметр можно измерить только с помощью гидрофона.

В Государственном первичном эталоне единицы мощности ультразвука в воде ГЭТ 169-2019 реализован метод плоского сканирования ультразвукового пучка известной мощности [2]. Однако для получения окончательного результата калибровки по существующей методике требуется сравнение результатов сканирования, полученных калибруемым гидрофоном, и результатов сканирования, полученных эталонным гидрофоном [3].

Эталонный гидрофон ранее калибровался абсолютным методом в Национальной физической лаборатории (Великобритания), однако в настоящее время такая калибровка стала недоступной. Поэтому

было решено провести исследование возможности применения другого метода калибровки высокочастотных гидрофонов.

При реализации калибровки гидрофона методом растрового сканирования ультразвукового пучка известной мощности был применен ультразвуковой преобразователь поршневого типа собственного производства. В качестве калибруемого гидрофона был взят игольчатый зондовый гидрофон с диаметром активного элемента 0,5 мм. При исследованиях были проведены сравнительные измерения полной мощности ультразвукового пучка методом уравнивания радиационной силы в соответствии с МЭК 61161 [4] и методом растрового сканирования на установке УИИ. При измерениях методом растрового сканирования было проведено несколько измерений, учитывающих плоскостное приближение, неполное перекрытие плоскости ультразвукового пучка областью сканирования и изменение величины шага сканирования [5]. Также была проверена эффективность применения в измерениях непрерывного и импульсного сигналов. Были проведены исследования бюджета неопределенности метода.

В результате работ удалось получить чувствительность гидрофона с меньшей погрешностью, чем при калибровке методом сравнения с эталонным гидрофоном. Были получены сведения о влиянии размера шага сканирования и расстояния от излучателя на результат калибровки. Выяснено, что применение импульсного сигнала ведет к уменьшению погрешности калибровки гидрофона, но значительно увеличивает требования к амплитуде применяемого сигнала.

### **Литература**

1. ГОСТ Р МЭК 60601-2-5-2020. Изделия медицинские электрические. Ч. 2: Частные требования к аппаратам для ультразвуковой терапии. М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.
2. Еняков А. М., Кузнецов С. И., Лукин Г. С. Государственный первичный эталон единицы мощности ультразвука в воде 169-2019. Измерительная техника, 2020. 5 с.
3. ГОСТ Р МЭК 62127-2-2009. Гидрофоны. Общие требования к методикам калибровки в частотном диапазоне до 40 МГц. М.: Стандартинформ, 2011. 10 с.
4. ГОСТ Р МЭК 61161-2019. Мощность ультразвука в жидкостях. М.: Стандартинформ, 2019. 3 с.
5. ГОСТ Р МЭК 62127-1-2015. Параметры ультразвуковых полей. Общие требования к методам измерений и способам описания полей в частотном диапазоне от 0,5 до 40 МГц. М.: Стандартинформ, 2016. 63 с.

# О РАЗРАБОТКЕ ТИПОВОЙ МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ВИСКОЗИМЕТРОВ КАПИЛЛЯРНЫХ СТЕКЛЯННЫХ

К. А. Кулыгина<sup>1</sup>, А. А. Неклюдова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области» (ФБУ «Нижегородский ЦСМ»), Нижний Новгород, Российская Федерация  
ORCID ID: 0000-0002-7182-0458, e-mail: kondrashinachristina@gmail.com

<sup>2</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: 0009-0005-0472-6962, e-mail: A.A.Tsurko@vniim.ru

## **Аннотация**

*В работе представлены результаты разработки типовой методики поверки вискозиметров капиллярных стеклянных, а также планы по развитию сотрудничества в исследовательской сфере между ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» и ФБУ «Нижегородский ЦСМ».*

**Ключевые слова:** *вискозиметр капиллярный стеклянный, вязкость, оценка соответствия, поверка, типовая методика поверки*

Средства измерений (СИ) вязкости занимают значимую нишу в процессах оценки соответствия на нефтеперерабатывающих производствах, в аналитических лабораториях других промышленных предприятий и организаций. Поверка многих типов средств измерений вязкости (вискозиметров капиллярных стеклянных, вискозиметров условной вязкости), как правило, проводится по методикам поверки, разработанным в прошлом веке и утвержденным в виде документа МИ [1, 2]. Однако эталонная база постоянно совершенствуется, точность передачи единиц динамической и кинематической вязкости жидкости повышается, следовательно, появляется возможность, а также необходимость в переработке и актуализации ряда морально устаревших методик поверок. Учитывая однотипность СИ, представляется возможным разработка единой — типовой методики поверки на типы СИ, которые можно отнести к одной группе.

В данной работе представлены основные результаты разработки и опробования типовой методики поверки на вискозиметры капиллярные стеклянные, которая распространит свое действие на 25 типов

таких средств измерений, изготовленных по ГОСТ 10028-81 «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия» (с изменениями № 1, 2) [3]. Разработка данной методики поверки основана на положениях актуализированной государственной поверочной схемы для средств измерений вязкости жидкостей [4], утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05.11.2019 № 2622. В работе также представлены основные изменения разработанной вновь типовой методики поверки относительно МИ 1748-87 «Государственная система обеспечения единства измерений. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Методика поверки» [1].

Разработанная типовая методика поверки будет опробована на 25 типах средств измерений и при условии получения положительных результатов по данной процедуре будет представлена на рассмотрение Научно-технической комиссии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии для ее утверждения, введения в действие и распространения.

В дальнейшем планируется продолжить работу, направленную на разработку типовых методик поверок не только на средства измерений вязкости, но и плотности. В целях систематического повышения качества оказываемых услуг по поверке средств измерений вязкости и плотности, а также развития внутрироссийских коллабораций и повышения сотрудничества в исследовательской сфере Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» и Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области» заключили соглашение о научном сотрудничестве.

### **Литература**

1. МИ 1748-87. Государственная система обеспечения единства измерений. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Методика поверки.
2. МИ 1740-87. Государственная система обеспечения единства измерений. Вискозиметр для определения условной вязкости лакокрасочных материалов ВЗ-246. Методика поверки.
3. ГОСТ 10028-81. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия (с изменениями № 1, 2). М.: Стандартинформ, 2005.
4. «Государственная поверочная схема для средств измерений вязкости жидкостей, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии» от 05.11.2019 № 2622.



**АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
КОМПЛЕКТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ПТТ-36  
ПРИ ВЫСОКОТОЧНОМ ИЗМЕРЕНИИ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ДИАПАЗОНЕ  
ОТ 1 МА ДО 100 А НА ЧАСТОТАХ ОТ 20 ГЦ ДО 100 КГЦ**

**М. Ю. Курочкина**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области» (ФБУ «Нижегородский ЦСМ»),  
Нижегород, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-2991-694X, e-mail: kurochkina@nncsm.ru

**Аннотация**

*Внедрение комплекта преобразователей тока ПТТ-36 для проведения измерений переменного тока в диапазоне от 1 мА до 100 А с частотой от 20 Гц до 100 кГц в качестве вторичного эталона расширяет метрологические возможности лаборатории по поверке высокоточных измерителей и калибраторов переменного тока, а также шунтов переменного тока.*

**Ключевые слова:** *государственный первичный эталон, вторичный эталон переменного тока, ток, напряжение, диапазон, преобразователь, термопреобразователь, метрологические характеристики*

В настоящее время поверка высокоточных средств измерений (СИ) переменного тока осложнена техническими возможностями используемых эталонов и ограничениями, связанными с утверждением типа СИ. При поверке в режиме воспроизведения переменного электрического тока (ПЭТ) калибраторов универсальных 9100 и калибраторов многофункциональных Fluke 55\*\* серии необходимо производить измерения в диапазоне значений от 30 мкА до 330 мА при частоте 30 кГц. Указанные в методиках поверки и получившие большое распространение меры сопротивления Н4-12МС (37704-08) и меры сопротивления переменного тока МС-01, МС-1, МС-10, МС-100 (51137-12), а также шунты переменного тока Fluke А40В (51518-12) утверждены как тип до 10 кГц.

Поддержание единства измерений физической величины ампера (ФВА) переменного тока обеспечивается прослеживаемостью к государственному эталону (ГЭТ) через первичную и периодическую поверки. Исходя из метрологических характеристик первичного

специального эталона переменного электрического тока ГЭТ88-2014, государственная поверочная схема (ГПС) в диапазоне от 0,3 мА до 100 А на частотах от 20 Гц до 1 МГц устанавливает метрологические характеристики вторичных и рабочих эталонов и определяет основные методы поверки, применяемые при передаче ФВА по всей поверочной цепи от ГЭТ88-2014 до рабочих средств измерений.

В этих условиях наличие в ФБУ «Нижегородский ЦСМ» комплекта преобразователей тока ПТТ-36, предназначенного для применения в качестве вторичного эталона ПЭТ, является весьма актуальным. Эталон обеспечивает сравнение токов в диапазоне от 1 мА до 100 А при частотах от 20 Гц до 100 кГц. Эти диапазоны охватывают подавляющую часть СИ ПЭТ.

Измерение переменного электрического тока, проводимое с помощью преобразователей ПТТ-36, строится на основе метода одновременного компарирования среднеквадратического значения (СКЗ) сигнала переменного тока  $I_{\text{вх}}$  с уровнем сигнала постоянного тока  $I_0$  (называемого опорным). При прохождении номинального тока через преобразователь на его выходе образуется напряжение величиной 0,5 В, которое должно быть точно измерено. Изменяя опорный ток так, чтобы получить на выходе преобразователя постоянное напряжение, равное переменному, получим значение измеряемого переменного тока. Основным преимуществом комплекта ПТТ-36 является малая частотная зависимость на максимальных значениях измеряемых токов от 20 А до 100 А, обусловленная особой конструкцией преобразователей.

На рисунке 1 представлена структурная схема эталона сравнения переменного и постоянного токов ПТТ-36, основанная на электротепловом методе. Каждый из блоков термопреобразователей тока эталона сравнения выполнен составным, состоящим из двух блоков: сменного блока шунта Ш и электротеплового блока ПН1, входящего в состав цифрового микровольтметра постоянного и переменного напряжения (ЦМКВ).

Дальнейшее повышение точности измерений переменного тока может быть осуществлено посредством применения высокоточных термопреобразователей напряжения для измерения выходного напряжения преобразователей тока, а также более точными способами измерения опорного тока.

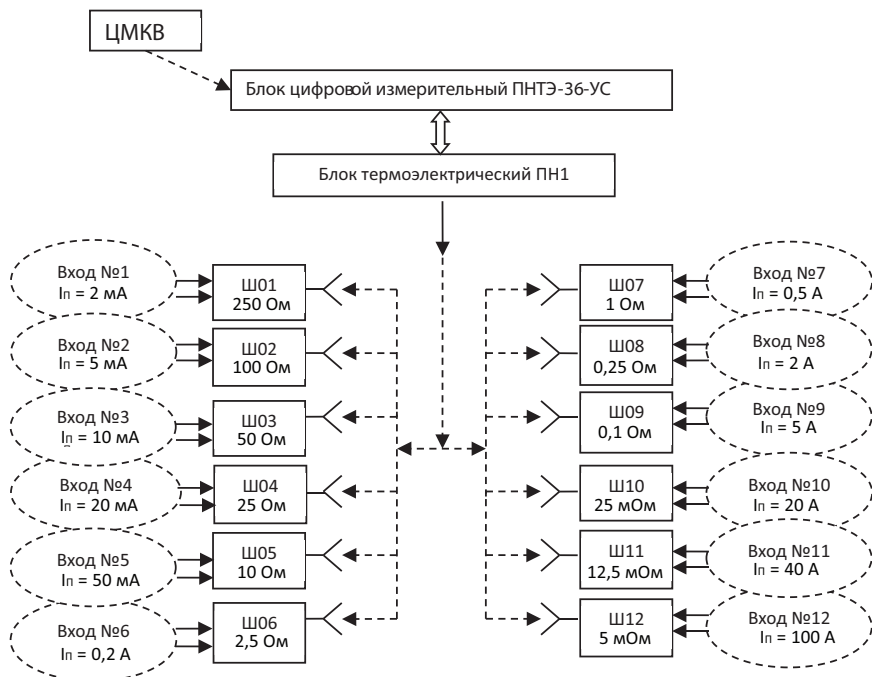


Рис. 1. Структурная схема вторичного эталона единицы силы электрического тока

## Литература

1. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1942 от 03.09.2021 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $2 \cdot 10^9$  Гц».
2. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 668 от 17.03.2022 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений силы переменного электрического тока от  $1 \cdot 10^{-8}$  до 100 А в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $1 \cdot 10^6$  Гц».
3. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3456 от 30.12.2019 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока».
4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3457 от 30.12.2019 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы».

5. Гуревич М. Л. Сравнительные характеристики измерительных термоэлектрических преобразователей напряжения, применяемых в метрологических службах в качестве эталонов при поверке калибраторов, вольтметров и других средств измерений, работающих на переменном токе // Радиоизмерения и электроника, 2012. № 18.

6. Комплект прецизионных шунтов переменного тока А40 Fluke. Руководство по эксплуатации.

7. Комплект преобразователей тока термоэлектрических ПТТ-36. Руководство по эксплуатации ЭРБС.411136.013 РЭ.

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭТАЛОНОВ В ПОВЕРКУ ИЗ УДАЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ МЕТРОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ФИЛИАЛА

Т. А. Кухтина

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Хабаровском крае и Еврейской автономной области» (ФБУ «Хабаровский ЦСМ»),  
Хабаровск, Российская Федерация  
E-mail: kukhtina.tatyana@list.ru

## **Аннотация**

*В работе рассмотрены проблемы транспортировки эталонов на дальние расстояния к месту проведения поверки, статистика поверки эталонов на месте эксплуатации или в институтах, каким способом происходит транспортировка эталонов, какие есть возможности решения проблемы.*

**Ключевые слова:** эталон, поверка, транспортировка, кейс, транспортная компания

Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации на проведение поверки средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели. В соответствии с приказом № 707 от 26 октября 2020 г. аккредитованные юридические лица и индивидуальные предприниматели должны иметь эталоны единиц величин и (или) средства измерений [2].

В соответствии с Приказом Минпромторга № 2510 от 31 июля 2020 г. эталоны единиц величин, используемые при поверке, должны соответствовать требованиям об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. № 734 [3]. Средства измерений, используемые при поверке, должны быть утвержденного типа, поверены и соответствовать требованиям методик поверки [1].

В филиале насчитывается примерно 239 средств измерений утвержденного типа, поверенных в качестве эталона 1-го, 2-го, 3-го, 4-го и 5-го разрядов, и СИ, аттестованные в качестве эталонов.

Примерно 38% эталонов филиала отправляется в поверку на дальние расстояния. Направляются в ФБУ «Ростест-Москва», ФГУП

«ВНИИФТРИ», ФБУ «Урал-ТЕСТ», ФБУ «Кировский ЦСМ». Большую часть эталонов отправляют во Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге. 32% отправляется в ФБУ «Хабаровский ЦСМ» в г. Хабаровск. Остальные 30% эталонов проходят поверку на месте эксплуатации, то есть в филиале. Данные взяты из утвержденных графиков поверки отдела метрологии филиала за 2017–2023 гг.

Транспортировка эталонов осуществляется с помощью автоперевозок, авиасообщений и железнодорожным транспортом. Когда эталон готовится к отправке на поверку, вся ответственность лежит на филиале, и мы с особым вниманием подходим к этому вопросу. Перевозка происходит в специально изготовленной таре, либо в специальных кейсах с применением упаковочных материалов. Основные транспортные компании, услугами которых пользуется филиал, — это «Деловые линии» и служба экспресс-доставки СДЭК [5].

Проблемы возникают чаще всего при обратной транспортировке эталонов. При получении эталонов в поверку центры метрологии и стандартизации или институты не всегда сохраняют ту упаковку, в которой поступили эталоны. Они скорее всего не надежно фиксируют эталоны в упаковочной таре, что приводит к повреждению эталонов и большим рискам, таким как повреждение эталона и как следствие в некоторых случаях сокращение области аккредитации.

Транспортные компании, в свою очередь, не всегда добросовестно подходят к вопросу транспортировки груза. В ходе перевозки любым видом транспорта во многих случаях виноваты остаются грузчики, которые отвечают за правильную и бережную погрузку. Все вышеперечисленное может привести к деформации груза, в нашем случае эталонов. Важно не только правильно и надежно закрепить груз, но и позаботиться о надежной и качественной транспортировке.

Для решения проблемы повреждения эталонов при доставке в место проведения поверки необходимо обязательно страховать груз на дальние расстояния. Страхование помогает избежать финансовых потерь при возникновении непредвиденных критических ситуаций и дает возможность сохранить эталоны.

Также важна совместная работа филиала, транспортной компании, ЦСМов и институтов. Необходимо правильно подавать информацию о грузе в транспортную компанию, четко и корректно заполнять все необходимые документы. В результате будет подобран более безопас-

ный маршрут для перевозки эталонов. Добросовестное отношение сотрудников транспортной компании (грузчиков) тоже немаловажно.

ЦСМы и институты в свою очередь должны более ответственно подходить к вопросу упаковки чужих эталонов после поверки. Стоит воспользоваться фото или видеосъемкой упакованного эталона и отправлять всю информацию в филиал. Это снимет подозрение о некачественной и ненадежной упаковке эталонов. Данную процедуру можно сопровождать письмом о просьбе сохранить упаковку эталона при обратной доставке. Возможно, стоит пересмотреть договор на поверку, в который предложить включить пункт о надежной и качественной упаковке эталонов.

Филиалу в свою очередь возможно стоит разработать и (или) купить специализированные кейсы со специальной внутренней упаковкой для каждого эталона, в котором четко будет фиксироваться эталон без особых усилий сотрудника. Необходимо четко разбираться в требованиях ж/д и авиакомпаний к перевозимому грузу и его габаритам.

Если объединить все совместные усилия, то можно добиться хороших результатов в транспортировке эталонов по всей России, избежать всевозможных рисков и сохранить все имеющиеся эталоны или продлить срок их службы.

## Литература

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». Введ. 2008-12-30. М., 2008.
2. Министерство экономического развития Российской Федерации, приказ от 26.10.2020 № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».
3. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, приказ от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке», 2021. 8 с.
4. Постановление правительства РФ от 23.09.2010 № 734 (ред. от 21.10.2019) «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений». 2010. 3 с.
5. СТО СМК МС 02.14-202. «Система менеджмента качества. Порядок организации отправки исходных эталонов ФБУ «Хабаровский ЦСМ» на поверку».

# ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А. Ю. Лёвин

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: a.levin@vniim.ru

## **Аннотация**

*В данной работе представлены результаты разработки специализированного поверочного оборудования и процедур поверки, позволяющие проводить метрологическое обеспечение на месте эксплуатации средств измерений; результаты совместной работы с производителями метеорооборудования в части конструктивных особенностей средств измерений, практические результаты применения разработанных средств и процедур поверки.*

**Ключевые слова:** поверка, метеостанция, бездемонтажная поверка, поверка в условиях эксплуатации, метрологическое обеспечение, эталон, средство измерений, автоматическая метеорологическая станция, автоматическая гидрологическая станция, автоматическая дорожная станция

Получение метеорологической информации в Российской Федерации обеспечивается применением 1868 автоматических метеорологических станций (АМС), 2062 автоматических гидрологических станций (АГС) и около 1560 автоматических дорожных метеостанций (АДМС). Достоверность получаемой информации от действующих АМС, АГС и АДМС подтверждается регулярным метрологическим обеспечением, при этом метрологическое обеспечение должно быть «экономически разумным», что в свою очередь требует современных подходов в его реализации. Для решения данной задачи ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», совместно с ведущими производителями метеорооборудования и эксплуатирующими организациями, были проведены исследовательские работы, по результатам которых разработаны специализированные процедуры метрологического обеспечения средств измерений и оборудование для их реализации. Кроме того, проанализирована статистика работы действующих АМС



и АГС, в результате выработаны рекомендации по размещению, эксплуатации и периодическому метрологическому обеспечению АМС и АГС с учетом особенностей их размещения. Стоит отметить, что для метрологического обеспечения АМС и АГС, из-за обширной территории страны, необходимо учитывать множество факторов; основные из них:

— условия эксплуатации АМС и АГС очень сильно различаются: в районах Крайнего Севера не редки температуры до минус 50 °С, в субтропических зонах в порядке вещей значения температуры + 40 °С, среднегодовая относительная влажность воздуха меняется от 20% до 90% в зависимости от региона, в горных районах и на возвышенностях АМС и АГС эксплуатируются в условиях пониженного атмосферного давления;

— АМС и АГМ установлены как в густонаселенных районах, где метрологическое обеспечение может быть выполнено в разнообразных метрологических центрах и лабораториях, так и в районах, где ближайшая лаборатория находится в сотнях, а то и тысячах километров;

— АМС и АГМ установлены в том числе в труднодоступных районах, поэтому разрабатываемые процедуры должны быть реализуемы непосредственно на месте эксплуатации, а разрабатываемое оборудование, применяемое при проведении метрологического обеспечения, должно быть компактным и малогабаритным.

Все вышеперечисленные аспекты делают необходимым разработку специализированного оборудования (эталонов, вспомогательного оборудования) и процедур для проведения поверки на месте эксплуатации, а конструкция средств измерений должна обеспечивать техническую совместимость с возимыми эталонами и вспомогательным оборудованием.

## Литература

1. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
2. РД 52.04.567-2003. Положение о государственной наблюдательной сети.
3. Кобзев А. А., Корольков В. А., Тихомиров А. А., Тельминов А. Е. Автоматическая метеостанция для полярных территорий // Состояние

и перспективы развития современной науки по направлению «Гидрометеорологическое (метеорологическое) и геофизическое обеспечение». 2021. С. 178–185.

4. Воликов М. С., Лунев Е. Г., Быков Е. М. Опыт разработки и эксплуатации автономной метеостанции арктического применения // Комплексные исследования Мирового океана. 2019. С. 351–352.

5. Азбукин А. А., Богушевич А. Я., Кобзев А. А. и др. Автоматические метеостанции АМК-03 и их модификации // Датчики и системы. 2012. № 3. С. 47–52.

6. Луцык С. А. Развитие наблюдательной сети в арктическом регионе Российской Федерации // Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке. 2021. С. 292–295.

7. Кучеренко О. Е., Аксянов Т. М., Яковлева Т. И. Современное состояние и перспективы развития гидрологической сети Росгидромета // Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития. 2018. С. 385–388.

8. Епифанцев К. В. Перспективы развития подвижных лабораторий в ВС РФ // Неделя науки СПбПУ. 2019. С. 108–111.

# АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ЭТАЛОННОМ КОМПЛЕКСЕ

Ю. А. Локачева, Г. Б. Гублер

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: yu.a.lokacheva@vniim.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены алгоритмы обработки сигналов при воспроизведении электроэнергетических величин, представленных цифровыми копиями сигналов напряжения и тока, в комплексе аппаратных средств высшей точности.*

**Ключевые слова:** алгоритмы определения параметров сигналов, дискретное преобразование Фурье, алгоритмы интерполяции спектра, алгоритмы оптимизации

Одним из направлений развития энергосистем во всем мире является внедрение автоматизированных цифровых приборов и систем контроля параметров электроэнергетических сигналов, систем мониторинга переходных режимов.

Эти приборы и системы обеспечивают синхронные измерения значений напряжения и силы тока в различных точках сети и на основании этих измерений определяют значения базовых параметров (величин) сигналов:

- значения гармоник и интергармоник токов и напряжений;
- углы сдвига фазы гармоник относительно меток шкалы времени UTC (SU);
- значение частоты основной гармоники;
- мгновенное значение и скорость изменения частоты гармоник.

Для воспроизведения этих величин в НИЛ госэталонов в области электроэнергетики ВНИИМ создан комплекс аппаратных средств высшей точности в области измерения электроэнергетических величин, представленных цифровыми копиями сигналов напряжения и тока. Для каждой величины были реализованы алгоритмы вычислений по цифровым копиям сигналов.

## Алгоритмы, позволяющие определить параметры модели сигнала, наилучшим образом соответствующие входной цифровой копии сигнала

Критерием оптимизации является минимум среднеквадратической разности между входным сигналом и сигналом, полученным по модели. Модель сигнала представляется как сумма  $K$  компонент чисто синусоидальных или ЛЧМ сигналов, каждый из которых характеризуется набором параметров:  $A_k$  и  $B_k$  (задают амплитуду и начальную фазу),  $C$  — постоянная составляющая,  $\omega_k$  — частота,  $R_k$  — скорость изменения частоты, где  $k$  — номер компоненты в модели. Вид модели сигнала  $m(t_n)$ :

$$m(t_n) = C + \sum_k A_k \cos\left(\omega_k t_n + \frac{R_k}{2} t_n^2\right) - B_k \sin\left(\omega_k t_n + \frac{R_k}{2} t_n^2\right),$$

где  $t_n$  — дискретные моменты времени.

Если  $R_k = 0$ , а  $\omega_k$  известны и образуют равномерную сетку на оси частот, то задача решается с помощью БПФ. Если  $\omega_k$  известны, но расставлены неравномерно по оси частот, то задача остается линейной по параметрам и решается с помощью МНК [6]. Если  $\omega_k$  тоже являются искомыми параметрами, то задача превращается в нелинейную по параметрам и решается одним из методов оптимизации [5, 6]. Добавление в модель параметров  $R_k$  не меняет сути задачи с точки зрения оптимизационных алгоритмов, а с математической и физической точки зрения добавление означает переход к поиску решения в базе ЛЧМ сигналов.

При реализации в алгоритмы была добавлена также весовая обработка сигнала для снижения взаимовлияния компонент через эффект, аналогичный эффекту «просачивания» в спектральном анализе. Используемые алгоритмы оптимизации требуют начальных приближений параметров и контроля сходимости, а также по своей природе являются блочными. Поэтому вычисление в реальном времени без пропусков сигнала возможно только для малого числа компонент. Их несомненным преимуществом является возможность достигнуть высокой точности.

Другой тип реализованных алгоритмов — алгоритмы, построенные на основе фильтрации [7, 8] (для вычисления параметров синхрофазоров), и алгоритмы, построенные на основе оконного преобразования Фурье и интерполяции спектров [9] для определения параметров гармоник и интергармоник.

Алгоритмы на основе оконного преобразования Фурье и интерполяции спектров прошли апробацию в составе ГЭТ 153-2012 и ГЭТ 153-2019, в том числе при проведении ключевых сличений.

Алгоритмы интерполяции спектра не требуют начальных приближений, всегда вычислительно устойчивы, менее вычислительно затратны, чем оптимизационные алгоритмы. Также результаты их работы применяются как начальные приближения для оптимизационных алгоритмов.

Программное обеспечение, реализующее описанные алгоритмы, включено в состав разработанного комплекса.

### Литература

1. Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов. Л.: Энергоатомиздат. 1990. 192 с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2003. 604 с.
3. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 584 с., ил.
4. Макс Ж. Методы обработки сигналов при физических измерениях. М.: Мир, 1983. Т. 1. 312 с., ил.
5. Belega D., Dallet D., Petri D. Performance comparison of the three-parameter and the four-parameter sine-fit algorithms // IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2011. P. 1–4. doi: 10.1109/IMTC.2011.5944010.
6. Serna J. Synchrophasor Estimation using Prony's Method // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. August 2013. Vol. 62. N 8.
7. Converters Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems // IEEE Std C37.118.1.
8. Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems // IEEE Std C37.118.1a.
9. Grandke T. The Algorithm of Interpolating Windowed FFT for Harmonic Analysis of Electric Power System // IEEE Trans. On Power delivery. April 2001. Vol. 16. N 2. P. 160–164.
10. Duda K. Interpolation Algorithms of DFT for Parameters Estimation of Sinusoidal and Damped Sinusoidal Signals.
11. Grandke T. Interpolation Algorithms for Discrete Fourier Transforms of Weighted Signals // IEEE Trans. Instrum. Meas. 1983. Vol. 32. P. 350–355.
12. Agrež D. Weighted Multipoint Interpolated DFT to Improve Amplitude Estimation of Multifrequency Signal // IEEE Trans. Instrum. Meas. 2002. Vol. 51. P. 287–292.

# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА СБОРА ДАННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРИИ

А. А. Луценко<sup>1</sup>, Д. В. Москаленко<sup>2</sup>, М. А. Скоков<sup>3</sup>,  
А. В. Миргородская<sup>4</sup>, А. А. Неклюдова<sup>4</sup>, С. Д. Пономарев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет “ВОЕНМЕХ” им. Д. Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: Andrey.lutsenko.02@list.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: dariamoskalenko@mail.ru

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: skokvniim@yandex.ru

<sup>4</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1468-934X>,  
e-mail: a.v.mirgorodskaya@vniim.ru

## **Аннотация**

*В данной работе рассматривается разработка автоматического устройства на базе микроконтроллера, предназначенного для сбора и хранения данных о значениях климатических параметров в условиях лаборатории (температура, относительная влажность воздуха и атмосферное давление). Разрабатываемое устройство призвано упростить процесс поддержания и записи параметров окружающей среды. В данной работе приведены основные составляющие части разрабатываемого устройства, элементная база, а также возможные сценарии применения системы в научных и практических целях.*

**Ключевые слова:** сбор и обработка данных, поверка, калибровка, микроконтроллер, параметры окружающего воздуха, датчики

Контроль параметров окружающей среды, таких как температура, относительная влажность воздуха и атмосферное давление, является неотъемлемой частью процесса поверки и калибровки средств измерений. Условия поверки задаются в методиках поверки и калибровки для каждого средства измерения и имеют определенные допустимые значения. Чаще всего запись и контроль параметров окружающей среды ведется непосредственно человеком, что занимает достаточно много времени и не обеспечивает четкой фиксации значений в момент проведения измерений. Устройство, способное вести запись условий поверки в реальном времени с дальнейшей записью во внутреннюю память, имеет потенциал значительно упростить процесс контроля и фиксации параметров окружающей среды в условиях лаборатории [4].

Целью данной работы является разработка автоматического устройства сбора данных климатических факторов в условиях лаборатории, на базе микроконтроллера с применением современных технологий. Разрабатываемая система будет производить автоматическую фиксацию параметров окружающей среды в режиме реального времени во внутренней памяти.

Процесс разработки опытного образца системы можно разбить на следующие этапы:

1. Подбор элементной базы и сборка макетной платы.
2. Написание программы для микроконтроллера на языке программирования высокого уровня с учетом требуемого функционала [2].
3. Разработка визуального интерфейса [1].
4. Реализация базы данных для записи входных данных для дальнейшей обработки.

Система будет состоять из следующих составных частей [3]:

1. Программируемый микроконтроллер на базе монокристалла.
2. Датчик(и) измерения условий проведения поверки (температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление).
3. ЖК-дисплей.
4. Часы реального времени.
5. Модуль сенсорной кнопки.
6. Постоянное запоминающее устройство.

Предлагаемая структура устройства представлена на рисунке 1 и может быть описана следующим образом. Датчик температуры, влажности и давления передает полученные от окружающей среды

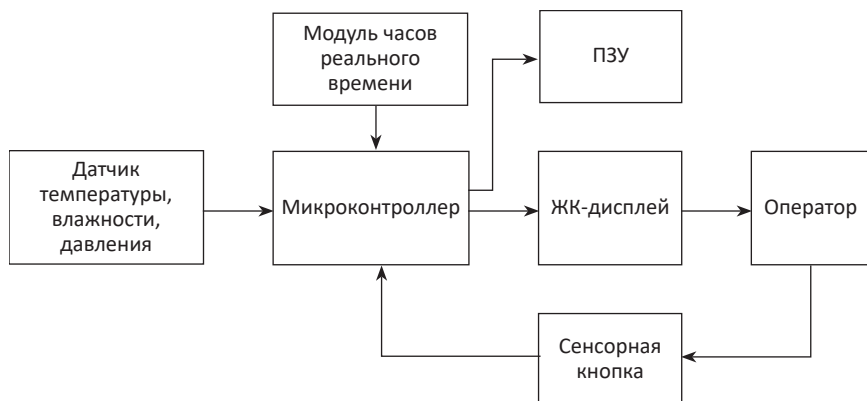


Рис. 1. Структура разрабатываемого устройства

данные на микроконтроллер для последующего хранения в постоянной памяти и последующей обработки. Модуль часов реального времени обеспечивает точную синхронизацию записываемых данных во времени, поступивших на вход системы. Микроконтроллер отвечает за сбор, обработку и передачу данных о параметрах окружающей среды согласно записанной в его памяти программе. Обработанные данные записываются в заранее подготовленную базу данных. ЖК-дисплей выполняет функцию визуального отображения текущих значений измеряемых параметров окружающей среды в удобной для конечного пользователя форме. Взаимодействие оператора с разрабатываемой системой осуществляется посредством сенсорной кнопки, тем самым предоставляя доступ к базовым функциям, заложенным в программе.

В рамках исследования предполагается разработка эксплуатационной документации, содержащей информацию по обслуживанию и настройке измерительной системы.

Таким образом, разработка автоматического устройства сбора данных климатических факторов в условиях лаборатории является перспективным направлением с широким потенциалом применения, включая использование в лабораторных помещениях для упрощения проведения научных исследований, мониторинга и анализа параметров окружающей среды, прописанных в методиках проверок и калибровок, а также в других отраслях промышленности, где требуется точная фиксация погодных условий.



## Литература

1. Петин В. А. Новые возможности Arduino, ESP, Raspberry Pi в проектах IoT. СПб.: БХВ-Петербург, 2022. 320 с.
2. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR. Схемы, алгоритмы, программы. 3-е изд. М.: Додэка-XXI, 2010. 288 с.
3. Елисеев Н., Шахнович И. Arduino — это очень серьезно. Большие возможности маленьких устройств // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2016. № 3. С. 88–99.
4. Павликова Е. В., Тихонов Н. Н., Орлов А. Н. Метеорология и климатология. [Электронный ресурс]: метод. указания к лаб.-практ. занятиям. Пенза: РИО ПГСХА, 2011. 91 с.

# АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Д. А. Любченко

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических  
и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),  
Московская обл., г. п. Менделеево, Российская Федерация  
E-mail: lubchenko@vniiftri.ru

## **Аннотация**

*В тезисах доклада рассмотрены составляющие погрешности измерений длины лазерного фазового дальномера. Приведены методы их уменьшения.*

**Ключевые слова:** *повышение точности, лазерный фазовый дальномер, составляющие погрешности измерений*

Совершенствование фундаментального обеспечения глобальных навигационных спутниковых систем, геодезии, картографии, строительства, маркшейдерии обуславливает необходимость повышения точностных характеристик средств измерений длины до значений 3–6 мм в диапазоне до единиц километров. Для метрологического обеспечения этих средств необходимо создание более точных эталонов с погрешностью, не превышающей 1–2 мм. В связи с этим требуется найти пути повышения точности аппаратуры высокоточных дальномеров.

Для исследования путей повышения точности измерений длины разработан макет высокоточного комплекса средств измерений приращений координат (далее — МКСИК). МКСИК представляет собой лазерный фазовый дальномер (далее — ЛФД). Функциональная схема МКСИК приведена на рисунке 1 [1, 2].

На схеме в качестве источника лазерного излучения используется электронный тахеометр. Излучаемые сигналы поступают на светоделительный кубик, который разделяет их на два канала — опорный и измерительный. Далее по каналам сигналы поступают в двухканальный аналогово-цифровой преобразователь (далее — АЦП), служащий для их регистрации и обработки.

Модель границ погрешности измерений длины ЛФД описана выражением (1) [3]:

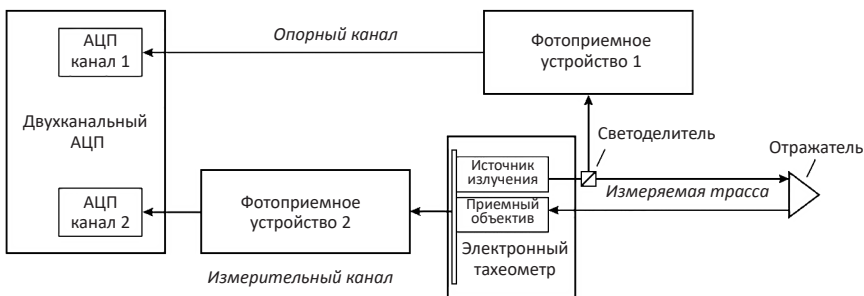


Рис. 1. Функциональная схема МКСИК

$$\Delta L = \pm k \cdot \sqrt{\Delta_K^2 + \left(\frac{v}{4\pi f}\right)^2 \cdot \Delta_\phi^2 + L^2 \cdot [\delta_f^2 + \delta_v^2]}, \quad (1)$$

где  $\Delta_K$  — абсолютная погрешность аппаратурной поправки;  $\Delta_\phi$  — абсолютная погрешность определения разности фаз сигналов;  $\delta_f$  — относительная погрешность определения частоты следования импульсов;  $\delta_v$  — относительная погрешность определения скорости света на измеряемой трассе;  $k$  — коэффициент, зависящий от выбранной доверительной вероятности;  $v$  — скорость света в атмосфере;  $L$  — длина измеряемой трассы.

На основе анализа выражения (1) и с использованием экспериментальных исследований на МКСИК выявлены методы уменьшения составляющих погрешности измерений длины ЛФД.

Аппаратурная поправка ЛФД определяется на эталонном измерительном комплексе длины в диапазоне до 60 метров из состава Государственного первичного специального эталона единицы длины ГЭТ 199-2018 ФГУП «ВНИИФТРИ».

В качестве путей повышения точности определения разности фаз сигналов предлагаются использование внешних устройств цифровой регистрации сигналов на основе АЦП и реализация метода расчета разности фаз путем математической обработки данных с помощью Фурье-анализа.

Погрешность определения частоты следования импульсов предлагается уменьшать путем определения действительного значения частоты с помощью частотомера и учета полученного значения при проведении расчетов.

Погрешность определения значения скорости света на измеряемой трассе уменьшается за счет совершенствования средств и методик их применения.

Анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований на МКСИК показал, что применение предложенных методов позволит повысить точность измерений ЛФД.

Предложенные методы уменьшения составляющих можно использовать в работах по созданию высокоточных ЛФД.

### **Литература**

1. Голуб Д. А. Оценка метрологических характеристик разрабатываемого лазерного фазового дальномера с использованием модели его погрешности // Сборник докладов VIII Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и специалистов «Метрология в XXI веке». Менделеево, 2019.

2. Любченко Д. А., Донченко С. С. Результаты разработки и исследования отдельных узлов макета оптического фазового дальномера с субмиллиметровым разрешением // Сборник докладов VIII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и специалистов «Метрология в XXI веке». Менделеево, 2020.

3. Большаков В. Д., Деймлих Ф., Голубев А. Н., Васильев В. П. Радиогеодезические и электрооптические измерения: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 303 с., ил.

# ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ КАЛИБРОВКАМИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

П. В. Мигаль

Уральский научно-исследовательский институт метрологии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (УНИИМ — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Екатеринбург, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1951-9868>, e-mail: mig@uniim.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы оценки интервалов между калибровками средств измерений в процессе их эксплуатации. Описан способ расчета предельного значения интервала на основе регрессионной модели с учетом доверительного интервала.*

**Ключевые слова:** метрология, калибровка, интервал между калибровками, неопределенность

В последнее время существенно увеличилось количество запросов о назначении или оценке интервала между калибровками средств измерений (ИМК). Помимо прочего, это вызвано требованиями Федеральной службы по аккредитации к метрологическому обеспечению оборудования, применяемого в испытательных и калибровочных лабораториях [1]. ГОСТ ISO/IEC17025-2019 [2] устанавливает следующие требования к управлению оборудованием в плане обеспечения достоверности результатов измерений и/или испытаний:

«6.4.1. Лаборатория должна иметь доступ к оборудованию..., которое необходимо для надлежащего осуществления лабораторной деятельности и которое может повлиять на ее результаты.

6.4.6. Измерительное оборудование должно быть калибровано, если точность и неопределенность измерений влияют на достоверность представляемых результатов; и/или калибровка оборудования требуется для установления метрологической прослеживаемости представляемых результатов.

6.4.7. Лаборатория должна **разработать программу калибровки**, которая должна пересматриваться и корректироваться по мере необходимости **с целью поддержания доверия** к статусу калибровки.

6.4.13. Должны вестись записи о состоянии оборудования... Записи должны включать следующее...:

е) даты и результаты калибровок, регулировок, критерии приемки и планируемую дату следующей калибровки или **межкалибровочный интервал**...

7.8.4.3. Свидетельство (сертификат) о калибровке или калибровочная этикетка не должны содержать никаких рекомендаций по выбору межкалибровочных интервалов, кроме тех случаев, когда это было **согласовано с заказчиком**».

Исторически пользователи такой услуги, как поверка средств измерений, привыкли к тому, что в документе (свидетельство о поверке) приведена информации о сроке действия свидетельства о поверке. Также некоторые калибровочные лаборатории в ответ на просьбу заказчика калибровки (а часто и без таковой) выдавали сертификат с записью о сроке его действия. При этом такие лаборатории не всегда делали выводы об интервале между калибровками на основании объективных сведений и/или с использованием статистических критериев.

Вероятно, что эти нарушения связаны с тем, что Российская система обеспечения единства измерений [3] применительно к поверке средств измерений основана на испытаниях в целях утверждения типов средств измерений, при которых определяется интервал между поверками [4]. Такой подход является очень удобным, потому что ни у поверочных, ни у испытательных лабораторий не возникает сложности в принятии решения о сроке действия свидетельства, т. к. он установлен при утверждении типа. Основным недостатком такого нормирования можно назвать тот факт, что не принимаются во внимание особенности эксплуатации и состояние конкретного экземпляра средства измерений.

При калибровке средств измерений представление информации о сроке действия сертификата должно быть обосновано в каждом конкретном случае. Обычно если в сертификате приводят эту информацию, то к нему прилагается документ, содержащий объективные свидетельства правильности назначенного интервала. Общие подходы к регулированию ИМК приведены в [4] и в таблице 1.

**Таблица 1. Общие подходы к пересмотру ИМК**

Показатель	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4	Другие статистические подходы
Надежность	Средняя	Высокая	Средняя	Высокая	Средняя
Объем работ по применению	Низкий	Высокий	Средний	Низкий	Высокий
Сбалансированный объем работ	Средний	Средний	Плохой	Средний	Плохой
Применимость по отношению к конкретным приборам	Средняя	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая
Доступность	Среднее	Среднее	Среднее	Высокое	Среднее

Метод 1: Автоматическое или «ступенчатое» регулирование (календарный срок)  
 Метод 2: Контрольная карта (календарный срок)  
 Метод 3: Время в процессе применения  
 Метод 4: Проверка при эксплуатации или испытание по принципу «черного ящика»

В работе рассмотрены основные методы регулирования ИМК и предложена регрессионная оценка на основе истории поверок и калибровок, представленная на рисунке 1.

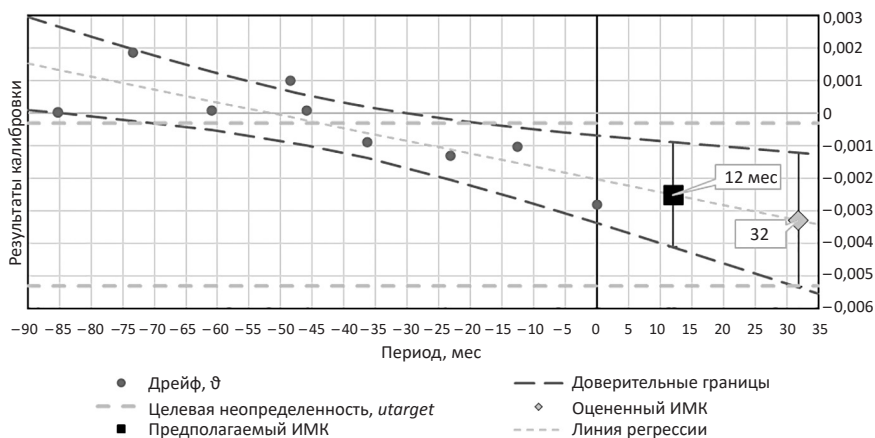


Рис. 1. График скорости дрейфа

## Литература

1. ILAC-P14:01/2013 Политика ILAC в отношении неопределенности при калибровках. <https://fsa.gov.ru/documents/9680/>.
2. ГОСТ ISO/IEC17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
3. 102-ФЗ Об обеспечении единства измерений. <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/1/items/232725>.
4. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
5. OIML D10-ILAC-G24 (E) Руководство по определению интервалов калибровки средств измерений <https://kca.gov.kg/uploads/editor/6184c786d0fce.pdf> [https://www.oiml.org/en/files/pdf\\_d/d010-e22.pdf/view](https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d010-e22.pdf/view).



# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТ ПО ПОВЕРКЕ И КАЛИБРОВКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ

В. В. Милорадов<sup>1</sup>, И. С. Пятыгин<sup>1</sup>, А. С. Павлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Свердловской области» (ФБУ «Уралтест»), Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет» (ФГАОУ ВО «УрФУ»), Екатеринбург, Российская Федерация  
E-mail: geo@uraltest.ru

## **Аннотация**

*Модернизация существующей эталонной базы, применяемой при поверке геодезических средств измерений. Повышение точности измерительных работ и увеличение производительности труда.*

**Ключевые слова:** машинное зрение, автоматизация, угловые измерения, геодезия, разработка ПО, тахеометр

Геодезические средства измерений применяются во многих сферах нашей жизни: в строительстве, составлении карт местности, разработке карьеров, археологических раскопках. Осуществление геодезической и картографической деятельности относится к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, поэтому для геодезических средств измерений установлены обязательные метрологические требования.

Авторами данной работы представлен один из способов автоматизации процесса поверки и калибровки тахеометров, за счет модернизации эталонного оборудования, с целью повышения точности измерительных работ и увеличения производительности труда.

Модернизация заключается в применении метода машинного зрения за счет использования ПЗС-камеры для решения задач по определению метрологических характеристик тахеометров.

Целью работы программы является точное определение координат перекрестия сетки нитей прибора. Работу программы можно определить следующими шагами:

- связь с камерой при помощи библиотеки OpenCV;
- обработка снимков с удалением из него шумов через фильтр размытия изображения по Гауссу;

- медианная фильтрация;
- адаптивный фильтр Гаусса;
- грубое определение центра перекрестия по маске;
- переопределение новой области обрабатываемого изображения, с симметричным изображением креста;
- точное определение центра перекрестия (по формуле поиска координат центра масс фигуры):

$$x_c = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}; \quad y_c = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + \dots + y_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n},$$

где  $x, y$  — координаты пикселя;  $m$  — интенсивность изображения в данном пикселе.

Также в работе авторами представлены результаты предварительного исследования модернизируемого эталонного оборудования с целью установления его новых метрологических характеристик, представлены способы определения метрологических характеристик модернизируемого оборудования.

## Литература

1. Документация по библиотеке компьютерного зрения OpenCV. [Электронный ресурс] “Smoothing Images” (сглаживание изображений), руководство, сгенерировано на версии 1.8.13 doxygen, дата — 20.04.2023. URL: [https://docs.opencv.org/3.4/dc/dd3/tutorial\\_gaussian\\_median\\_blur\\_bilateral\\_filter.html](https://docs.opencv.org/3.4/dc/dd3/tutorial_gaussian_median_blur_bilateral_filter.html) (дата обращения: 20.04.2023).

2. Документация по библиотеке компьютерного зрения OpenCV. [Электронный ресурс] Раздел документации «Фильтрация изображений», сгенерировано на версии 1.8.13 doxygen, дата — 19.04.2023. URL: [https://docs.opencv.org/3.4/dc/dd3/tutorial\\_gaussian\\_median\\_blur\\_bilateral\\_filter.html](https://docs.opencv.org/3.4/dc/dd3/tutorial_gaussian_median_blur_bilateral_filter.html) (дата обращения: 20.04.2023).

3. Документация по библиотеке компьютерного зрения OpenCV. [Электронный ресурс] “Image Thresholding” (пороговая обработка изображения), руководство, сгенерировано на версии 1.8.13 doxygen, дата — 19.04.2023. URL: [https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html) (дата обращения: 21.04.2023).

4. Документация по библиотеке компьютерного зрения OpenCV. [Электронный ресурс] Раздел документации «Разные преобразования изображений», сгенерировано на версии 1.8.13 doxygen, дата — 19.04.2023. URL: [https://docs.opencv.org/4.x/d7/d1b/group\\_imgproc\\_misc.html#ga72b913f352e4a1b1b397736707afcde3](https://docs.opencv.org/4.x/d7/d1b/group_imgproc_misc.html#ga72b913f352e4a1b1b397736707afcde3) (дата обращения: 21.04.2023).

5. Документация по библиотеке для работы с массивами NumPy. [Электронный ресурс] Метод `numpy.ndarray.tobytes`, Создано с использованием Sphinx 5.3.0. URL: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.ndarray.tobytes.html> (дата обращения: 01.01.2022).
6. Документация по библиотеке для работы с массивами NumPy. [Электронный ресурс] Создание массива, Создано с использованием Sphinx 5.3.0. URL: <https://numpy.org/doc/stable/user/basics.creation.html#arrays-creation> (дата обращения: 20.04.2022).
7. Документация по библиотеке для работы с массивами NumPy. [Электронный ресурс] Метод `numpy.sum`, Создано с использованием Sphinx 5.3.0. URL: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.sum.html#numpy.sum> (дата обращения: 20.04.2023).
8. Оптические цифровые измерительные системы ОПТРОТЕХ. [Электронный ресурс] Цифровой двухкоординатный автоколлиматор с разрешением 0.001 угловой секунды. URL: <https://numpy.org/doc/stable/reference/index.html#reference> (дата обращения: 10.04.2023).
9. Сайт онлайн-школы программирования «Хекслет». [Электронный ресурс] Уход от циклов и векторизованные вычисления URL: [https://ru.hexlet.io/courses/python-numpy/lessons/vectorized-calculus/theory\\_unit](https://ru.hexlet.io/courses/python-numpy/lessons/vectorized-calculus/theory_unit) (дата обращения: 21.04.2023).
10. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений (3-е изд., исправленное и дополненное): Пер. с англ. М.: Техносфера, 2012. 1104 с. Метод Оцу оптимального глобального порогового преобразования с. 860, основы обработки цветowych изображений с. 495 (дата обращения: 21.04.2023).

# ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ КАК СПОСОБ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ МЕНИСКА ЖИДКОСТИ В ВИСКОЗИМЕТРЕ СТЕКЛЯННОМ КАПИЛЛЯРНОМ

А. В. Миргородская<sup>1,2</sup>, А. А. Неклюдова<sup>1</sup>, А. А. Демьянов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»)

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1468-934X>,  
e-mail: a.v.mirgorodskaya@vniim.ru

## Аннотация

*В данной работе описана процедура и сформулирована одна из проблем измерений кинематической вязкости градуировочной жидкости (жидкости-компаратора) при помощи вискозиметра стеклянного капиллярного. По результатам проведенных исследований на спектрофотометре Cary 5000 сделан вывод о возможности использования УФ-датчика как средства детектирования мениска жидкости на уровне рисок, нанесенных на стенки вискозиметра стеклянного капиллярного.*

**Ключевые слова:** кинематическая вязкость, вискозиметры стеклянные капиллярные *Ubbelohde*, информационно-измерительная система, датчики, спектр поглощения

Капиллярный метод является наиболее точным методом определения кинематической вязкости жидкости [1, 2]. В состав первичного эталона единиц динамической и кинематической вязкости жидкости и комплексов эталонных ЭК КВх (рабочие эталоны 1-го разряда) входят вискозиметры стеклянные капиллярные *Ubbelohde* с «висячим уровнем», секундомеры, термометры, жидкостный термостат (или термостатическая ванна) и другое вспомогательное оборудование [3]. При этом определение номинального значения кинематической вязкости градуировочной жидкости (жидкости-компаратора) осуществляется следующим образом:

1. Вискозиметр из состава эталона заполняют градуировочной жидкостью (жидкостью-компаратором).

2. Вискозиметр с градуировочной жидкостью (жидкостью-компаратором) помещают в термостат и выдерживают не менее 30 минут. При помощи термометра контролируют температуру теплоносителя.

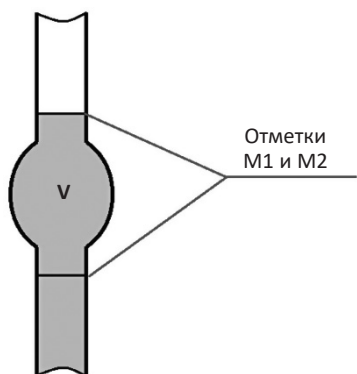


Рис. 1. Схематичное представление нанесения рисок на капилляр вискозиметра

3. По завершении термостатирования градуировочной жидкости (жидкости-компаратора) оператор, используя вспомогательное оборудование, образует в капиллярном вискозиметре так называемый «висячий уровень».

4. Оператор проводит серию из пяти — десяти измерений времени истечения определенного объема градуировочной жидкости (жидкости-компаратора) через капилляр вискозиметра путем наблюдения и запуска/остановки секундомера в момент времени пересечения мениском жидкости

рисок, нанесенных на капилляр (рис. 1).

5. Затем по формуле оператор рассчитывает значение кинематической вязкости:

$$\nu = C \cdot \tau \cdot \left( 1 - \frac{e}{\rho} \right) - \frac{B}{\tau},$$

где  $\nu$  — кинематическая вязкость исследуемой жидкости,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $C$  — постоянная вискозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ;  $\tau$  — время истечения жидкости через капилляр вискозиметра, с;  $e$  — плотность воздуха,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $\rho$  — плотность исследуемой жидкости,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $B$  — постоянная вискозиметра, зависящая от потери жидкостью кинетической энергии,  $\text{мм}^2$ .  
*Примечание:* уравнение измерений на ЭК ГЭТ 17/1-КВИ.

Однако в эпоху IV промышленной революции [4] применять оборудование, которое полностью зависит от человека, кажется немного несовременным. К тому же опыт и квалификация оператора играют ключевую роль в проводимых измерениях [5]. Если на этапах заполнения капилляра вискозиметра образцом и образования «висячего уровня» заменить человека пока невозможно, то процесс запуска/остановки таймера автоматизировать можно. Автоматические вискозиметры — это не новая разработка, из открытых источников известны анализаторы вязкости НVM 472 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ) 30086-05), вискозиметры автоматические капил-

лярные VISCOL (регистрационный номер в ФИФ 88114-23), но для измерительных задач данные средства измерений не подходят ввиду недостаточной точности.

Решить данную проблему можно, подобрав датчик, фиксирующий момент времени пересечения мениском жидкости риск, нанесенных на капилляр вискозиметра. Это позволит в дальнейшем организовать информационно-измерительную систему, которая могла бы заменить человека на этапе запуска и остановки таймера.

По результатам анализа литературы [6] можно все датчики разделить на омические, емкостные, индуктивные и оптические. Наиболее предпочтительным вариантом для дальнейшей работы являются оптические датчики. Они не требуют усложнения конструкции капилляра вискозиметра и реагируют на исследуемую жидкость. Оптический датчик способен под воздействием или инфракрасного (ИК), или ультрафиолетового (УФ), или видимого излучения подавать сигналы включения/выключения на управляющую схему.

Для подбора датчика были проведены исследования спектров поглощения градуировочной жидкости (жидкости-компаратора) и материала теплоносителя. Исследование проводили на спектрофотометре Cary 5000 (регистрационный номер в ФИФ 57147-14). Результаты измерений приведены на рисунке 2.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что в диапазоне УФ-излучения градуировочная жидкость (жидкость-компаратор) будет почти полностью поглощать излучения, а материал



Рис. 2. Сравнение спектра пропускания градуировочной жидкости (жидкости-компаратора) и материала теплоносителя

теплоносителя — нет. Таким образом, если на уровне риски, нанесенной на капилляр вискозиметра, установить УФ-излучатель, а напротив — приемник, то при пересечении мениском жидкости риски цепь замкнется и таймер начнет/закончит отсчет времени.

### Литература

1. Gokce Sevim Sariyerli, Orhan Sakarya, Umit Yuksel Akcadag. Comparison tests for the determination of the viscosity values of reference liquids by capillary viscometers and stabinger viscometer SVM 3001 // *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* Vol. 9. 2018. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2018004>.

2. Российская Федерация. Приказы. Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений вязкостей жидкостей: приказ № 2622: принят Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 05.11.2019 г.

3. Чекирда К. В., Демьянов А. А., Неклюдова А. А. и др. История создания и модернизация государственных первичных эталонов единиц динамической, кинематической вязкости жидкости и плотности // *Измерительная техника*. 2022. № 7. С. 24–29. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-7-24-29>.

4. РБК-Тренды: [сайт] URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7>.

5. Неклюдова А. А., Демьянов А. А., Сулаберидзе В. Ш., Чекирда К. В. Результаты сравнительных измерений кинематической вязкости образцов жидкостей // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение»*. 2022. № 3 (140).

6. Храмов А. В. Первичные измерительные преобразователи измерительных приборов и автоматических систем. Киев: Вища школа, 1988. 527 с. (На укр. яз.).

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОВЯЗКИХ СИСТЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Д. В. Москаленко<sup>1</sup>, А. В. Подшивалов<sup>1</sup>, А. А. Неклюдова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: 0009-0003-0944-277X, e-mail: dariamosckalenko@mail.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: 0009-0005-0472-6962, e-mail: A. A. Tsurko@vniim.ru

## **Аннотация**

*В работе рассмотрены актуальность разработки высоковязких стандартных образцов, выбор и обоснование материала для разработки таких образцов вязкости жидкости, а также приведены результаты определения основных параметров экспериментальных исследований полидиметилсилоксановых смазок, при которых возможно достижение максимально возможной точности и воспроизводимости измеренных значений ротационным методом.*

**Ключевые слова:** *реология, полидиметилсилоксановая смазка, измерительная система конус–плоскость, стандартный образец динамической вязкости, методика измерений*

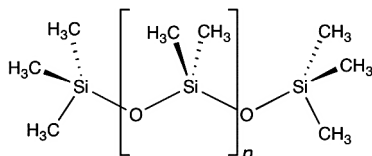
В настоящее время существуют средства измерений, имеющие диапазон показаний динамической вязкости жидкости свыше 100 Па·с, в то время как их диапазон измерений не превышает данное значение [1]. Это связано с ограничением номенклатуры стандартных образцов динамической вязкости жидкости значением 100 Па·с [2]. Поэтому разработка высоковязких стандартных образцов является актуальной задачей.

Такие образцы будут применяться в различных областях промышленности, таких как нефтепереработка, фармацевтика, химическая промышленность и другие, где точность измерений вязкости жидкости является критически важной, а дальнейшее развитие этой области приведет к созданию новых материалов и технологий.



Полидиметилсилоксановые смазки являются перспективным материалом для разработки и производства стандартных образцов динамической вязкости свыше 100 Па·с.

Полидиметилсилоксаны общей формулы



являются простейшими представителями линейных диорганосилоксановых полимеров [3]. Их особенность заключается в сравнительно низких значениях температуры стеклования и потери текучести (от минус 130 °С до минус 60 °С) и одновременно высокой термостойкости (от 200 °С до 350 °С), что делает возможным применение данного материала в качестве стандартных образцов динамической вязкости жидкости в широком диапазоне значений температуры. В зависимости от молекулярной массы полидиметилсилоксанов их вязкость может колебаться в широком диапазоне значений от 0,65 мм<sup>2</sup>/с до 210<sup>6</sup> мм<sup>2</sup>/с. [4] Рассматриваемые образцы в данной работе являются каучукоподобными системами.

Однако для разрабатываемых высоковязких стандартных образцов необходимо разработать методику их аттестации — методику измерений, имеющую особый статус и предназначенную для реализации метрологических целей в области обеспечения единства измерений вязкости жидких сред.

Разработка методики измерений требует проведения исследований для установления условий, обеспечивающих максимально возможную точность и воспроизводимость измерений. Эти исследования становятся особенно значимыми в случае применения жидкостей с ньютоновским поведением. Поэтому в данной работе были решены следующие задачи:

1. Выбран и обоснован тип измерительной системы реометра.
2. Установлены режимы течения образцов и границы скоростей сдвига, где наблюдается ньютоновское течение при различных значениях температуры.
3. Установлено оптимальное время измерения при постоянной скорости сдвига в границах ньютоновского течения для каждого зна-

чения температуры и скорости сдвига для обеспечения требуемых значений среднеквадратического отклонения измеренного значения динамической вязкости.

4. Проведено изохорное исследование стабильности перспективных материалов для разработки и производства стандартных образцов динамической вязкости свыше 100 Па·с [5].

### Литература

1. Утвержденные типы средств измерений [Электронный ресурс]: Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), 2023. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4> (дата обращения: 25.04.2023).

2. Каталог ГСО-2023. Стандартные образцы утвержденных типов, допущенные к выпуску и применению на территории Российской Федерации. Екатеринбург: Научный методический центр государственной службы стандартных образцов, 2023. 157 с.

3. Соболевский М. В., Скороходов И. И., Гриневич К. П. и др. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение. М.: Химия, 1985. 264 с.

4. Бажант В., Хваловски В., Ратоуски И. Силиконы. Кремнийорганические соединения, их получение, свойства и применение. М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1960. 710 с.

5. ГОСТ ISO Guide 35-2015. Общие и статистические принципы сертификации (аттестации). М.: Стандартинформ, 2017. 61 с.

# ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ГРАВИМЕТРИИ

М. М. Мурзабеков

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических  
и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), г. п. Менделеево,  
Московская область, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-7276-0290, e-mail: murzabekov@vniiftri.ru

## **Аннотация:**

*Проанализированы современные достижения в области создания средств измерений параметров гравитационного поля Земли. Рассмотрены текущее состояние и направления развития и создания эталонов для метрологического обеспечения этих средств измерений.*

**Ключевые слова:** *гравитационное поле Земли, уклонение отвесной линии, ускорение силы тяжести, гравитационный потенциал, эталонная база гравиметрии*

Измерения параметров гравитационного поля Земли (ГПЗ) имеют широкий круг практических применений: поиск и разведка месторождений полезных ископаемых, топо-геодезическое обеспечение территорий России, создание и совершенствование Государственной геоцентрической системы координат и др.

Для проведения эффективных исследований ГПЗ требуется обеспечить высокую точность измерений его параметров (табл. 1).

**Таблица 1. Параметры ГПЗ и требуемая погрешность**

Параметр	Требуемая погрешность измерений
Ускорение силы тяжести	Не более единиц микроГал (1 мкГал = $10^{-8}$ м/с <sup>2</sup> )
Горизонтальные и вертикальные градиенты силы тяжести	Доли Этвеша (1 Этвеш = $10^{-9}$ с <sup>-2</sup> )
Уклонение отвесной линии (УОЛ)	Менее 1°
Разность гравитационных потенциалов	Менее 1 м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>

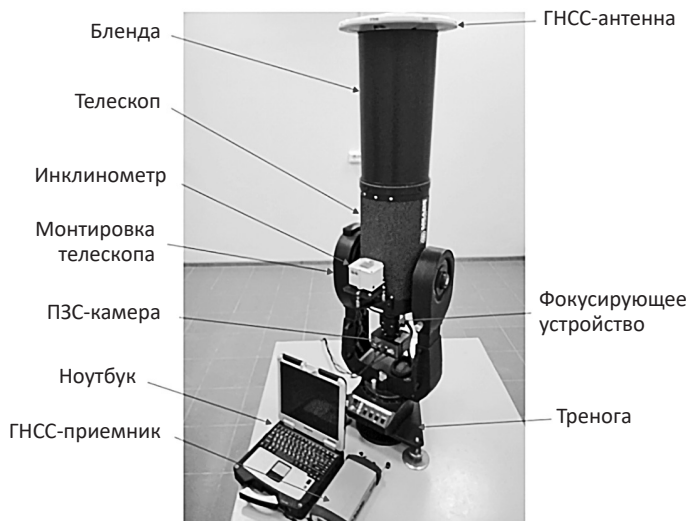


Рис. 1. Внешний вид астроизмерителя ФГУП «ВНИИФТРИ»

Для обеспечения высокой точности измерений этих параметров требуется развитие соответствующей эталонной базы гравиметрии [1].

В России утвержден Государственный первичный специальный эталон единицы ускорения в области гравиметрии ГЭТ 190-2019 [2]. Для остальных параметров ГПЗ эталонная база в России отсутствует.

Анализ современных достижений гравиметрических средств измерений показывает следующее в области:

— *измерений УОЛ*. Наивысшую точность и оперативность измерений УОЛ имеют астроизмерители. Погрешность прибора составляет  $0,1''$ – $0,3''$ , а время измерений в единичной точке — не более 1 часа. Разработкой таких приборов активно занимаются в Германии, Швейцарии, Китае, Турции, Латвии и др., а также в России [3–7]. Во ФГУП «ВНИИФТРИ» разработан астроизмеритель УОЛ, представленный на рисунке 1. Погрешность измерений составляющих УОЛ находится в пределах от  $0,07''$  до  $0,3''$ ;

— *измерений разности гравитационных потенциалов*. Физическими эффектами, непосредственно связанными с разностью гравитационных потенциалов, являются эффект гравитационного смещения частоты  $\delta f_{Gr}$  и эффект гравитационного замедления времени  $\delta f_{Gr}$ ,

которые в первом приближении линейно связаны с разностью ортометрических высот в двух точках на поверхности Земли  $h_{ort}$ :

$$\frac{\delta f_{Gr}}{f_0} = \frac{\delta \tau_{Gr}}{\tau_0} \approx \frac{gh_{ort}}{c^2},$$

где  $f_0$  — частота излучения стандарта частоты и времени (СЧВ);  $\tau_0$  — интервал наблюдения;  $g$  — ускорение свободного падения в точке измерений;  $c$  — скорость света.

Эти эффекты в настоящее время измеряются с помощью высокостабильных СЧВ. При использовании СЧВ с относительной нестабильностью  $10^{-18}$  и  $10^{-17}$  погрешность определения разности ортометрических высот пространственно разнесенных наземных точек составляет 1 см ( $0,1 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) и 10 см ( $1 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) соответственно [8];

— *измерений горизонтальных и вертикальных градиентов*. Как известно, горизонтальный гравитационный градиентометр Е-60, принцип действия которого основан на использовании крутильных весов, позволяет определять горизонтальные градиенты с погрешностью единицы Этвеш [9]. Прибор весит около 70 кг, управление прибором и снятие его показаний осуществляются вручную. В ФГУП «ВНИИФТРИ» разработан прототип гравитационного градиентометра с емкостной системой съема. В конструкции градиентометра используется автоматизированная поворотная платформа, позволяющая сократить время и полностью автоматизировать процесс измерений. Чувствительность первой версии прибора оценивается в  $8^{-10}$  Этвеш. В настоящее время проводятся работы по повышению чувствительности.

Измеритель вертикального градиента возможно создать на основе двух криогенных гравиметров, разнесенных по высоте. Погрешности криогенных гравиметров находятся на уровне 0,01–0,04 мкГал, что позволит достичь погрешности в определении вертикального градиента менее 1 Этвеш.

Таким образом, появились приборы, позволяющие измерять параметры ГПЗ на новом уровне точности. Для метрологического обеспечения их измерений требуется развитие соответствующей эталонной базы гравиметрии.

## Литература

1. Фатеев В. Ф., Щипунов А. Н. Направления развития эталонной базы гравиметрии // Измерительная техника. 2018. № 5. С. 5-9.
2. Витушкин Л. Ф., Карпешин Ф. Ф., Кривцов Е. П. и др. Государственный первичный специальный эталон ускорения для гравиметрии ГЭТ 190-2019 // Измерительная техника. 2020. № 7. С. 3-8. doi: 10.32446/0368-1025it.2020-7-3-8.
3. Albayrak M., Halicioğlu K., Özlüdemir M. et al. The use of the automated digital zenith camera system in Istanbul for the determination of astrogeodetic vertical deflection // Bulletin of Geodetic Sciences. 25(4): e2019025, 2019.
4. Hirt C., Bürki B., Somieski A., Seeber G. Modern Determination of vertical deflections using digital zenith cameras // Journal Surveying Engineering. 136(1), 2010, 1-12. doi: 10.1061/\_ASCE\_SU.1943-5428.0000009.
5. Māris A., Jānis B., Inese J. et al. Digital zenith camera for vertical deflection determination // Geodesy and Cartography. 12/2012; 38(4). doi: 10.3846/20296991.2012.755324.
6. Tian L., Guo J., Han Y. et al. Digital zenith telescope prototype of China // Chin. Sci. Bull. 59, 1978–1983 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11434-014-0256-z>.
7. Гайворонский С. В., Кузьмина Н. В., Цодокова В. В. Автоматизированный зенитный телескоп для решения астрономо-геодезических задач // Навигация по гравитационному полю Земли и ее метрологическое обеспечение. Доклады научно-технической конференции. Менделеево: Менделеево. 2017. С. 197–205.
8. Фатеев В. Ф., Жариков А. И., Сысоев В. П. и др. Об измерении разности гравитационных потенциалов Земли с помощью перевозимых квантовых часов // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 2. С. 206–209.
9. Eötvös R., Pekár D., Fekete E. Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit. Gravität // Annalen der Physik. 1922. Vol. 373. P. 11–66.

# ПРОБЛЕМЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОБООТБОРА

В. П. Невзорова, В. О. Соловьев

Акционерное общество «Центр судоремонта “Звездочка”»  
(АО «ЦС “Звездочка”»), Отдел ядерной и радиационной безопасности,  
г. Северодвинск, Российская Федерация  
E-mail: nevzorova@star.ru

## *Аннотация*

*В докладе рассматриваются проблемы практического применения методов оценивания составляющих неопределенности результата измерений, вызванных пробоотбором. Рассмотрены некоторые особенности эмпирического подхода для оценки вклада в неопределенность при отборе образцов. Приведены результаты экспериментальных работ по оценке неопределенности пробоотбора, проводимого по методике, разработанной в головной организации АО «ЦС “Звездочка”», г. Северодвинск.*

**Ключевые слова:** *неопределенность измерений, отбор проб, пробоотбор, ANOVA, оценивание неопределенности пробоотбора, эмпирический подход, модельный подход, статистическая модель, дисперсия, дисперсия пробоотбора*

АО «ЦС “Звездочка”» осуществляет деятельность в области использования атомной энергии, обороны и безопасности государства, охраны окружающей среды, а также деятельность по обеспечению безопасных условий и охраны труда. Измерения радиационных характеристик (параметров) ионизирующих излучений при осуществлении указанных видов деятельности в АО «ЦС “Звездочка”» проводит отдел ядерной и радиационной безопасности, который в соответствии с требованиями [1–5] аккредитован в Национальной системе аккредитации в качестве испытательной лаборатории (лаборатории радиационного контроля). В область аккредитации данной испытательной лаборатории входит среди прочих методика отбора образцов (проб), т. к. при осуществлении производственного радиационного контроля проводится отбор образцов (проб) объектов окружающей среды зоны наблюдения и санитарно-защитной зоны АО «ЦС “Звездочка”». В соответствии с требованиями критериев аккредитации [6–7] необходимо оценивать неопределенность результата измерений, вызванную пробоотбором.

Согласно рекомендациям [8], существует два основных метода (подхода) к оцениванию неопределенности, связанной с пробоотбором. Автором был выполнен анализ применимости указанных методов, определены основные актуальные проблемы, связанные с их реализацией в головной организации АО «ЦС “Звездочка”».

По результатам предварительного анализа в АО «ЦС “Звездочка”» были проведены экспериментальные работы с применением эмпирического подхода к оцениванию неопределенности, связанной с пробоотбором. В докладе приведены полученные результаты оценивания неопределенности пробоотбора и даны пояснения по выбору статистической модели, описывающей соотношение между измеренным и истинным значениями концентрации аналита, и по выбору уравнения для статистической оценки неопределенности пробоотбора [8, 9].

В дальнейшем, при продолжении экспериментальных работ на других объектах, расширенную неопределенность вычисляли без учета дисперсии между объектами пробоотбора. Использован следующий рекомендуемый критерий соответствия поставленной задаче: дисперсия результатов измерения не должна превышать 20% от общей дисперсии (включающей дисперсию между объектами пробоотбора).

## Литература

1. СанПиН 2.6.1.993-00. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома.
2. СП 2.6.1.2154-06. Санитарные правила. Обеспечение радиационной безопасности при комплексной утилизации атомных подводных лодок.
3. РД.5ИМЯН.106-2005. Руководство по обеспечению радиационной безопасности на объектах судостроительной промышленности.
4. ГОСТ 8.638-2013. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения.
5. Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 № 585 «Об утверждении основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности...».
6. Приказ Минэкономразвития от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».



7. ГОСТ ISO/IEC17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
8. Руководство Eurachem/CITAC. Неопределенность измерения, связанная с отбором пробы: Руководство по методам и подходам. Киев: ООО «Юрка Любченка», 2015. С. 20–21.
9. ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
«ТЕХНОСПЕЦНАЗ РОССТАНДАРТА»:  
ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ИТОГИ**

**А. А. Неклюдова<sup>1</sup>, П. К. Сергеев<sup>1</sup>, А. В. Павлова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация

ORCID ID: 0009-0005-0472-6962, e-mail: A. A. Tsurko@vniim.ru

<sup>2</sup> Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), Москва, Российская Федерация

E-mail: apavlova@rst.gov.ru

***Аннотация***

*В докладе представлены основная информация о Совете молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта», его структура и промежуточные итоги деятельности за период с сентября 2022 г. по июнь 2023 г.*

***Ключевые слова:*** *молодежь, молодежная политика, ученые и специалисты, Росстандарт, совет*

В сентябре 2022 г., в соответствии с п. 6.3 Положения о Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии (далее — Федеральное агентство) [1], утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2004 г. № 2194, создан Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта» (далее — СМУС «Техноспецназ Росстандарта», Совет).

СМУС «Техноспецназ Росстандарта» является постоянно действующим консультативно-экспертным органом при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии, созданным для эффективного осуществления молодежной политики, направленной на консолидацию усилий и раскрытие потенциала молодых ученых и специалистов Федерального агентства.

Целями функционирования СМУС «Техноспецназ Росстандарта» являются:

— воспитание и поддержка традиций Федерального агентства и обеспечение преемственности поколений;

— сплочение молодых ученых и специалистов Федерального агентства, подведомственных организаций и территориальных органов Федерального агентства с целью раскрытия их профессионального и творческого потенциала;

— оказание содействия профессиональному, карьерному росту и сохранению в Федеральном агентстве, подведомственных организациях и территориальных органах Федерального агентства уже работающих молодых ученых и специалистов;

— оказание содействия в повышении квалификации молодых ученых и специалистов;

— оказание содействия в выявлении молодых ученых и специалистов, способных к научной работе, а также молодых ученых и специалистов, обладающих лидерскими качествами.

В состав СМУС «Техноспецназ Росстандарта» входят: председатель, заместитель председателя, секретарь и члены СМУС. По состоянию на 28.04.2023 г. в состав Совета входит 31 представитель различных организаций Федерального агентства.

За время работы СМУС «Техноспецназ Росстандарта» сформирован план деятельности, в который вошли такие проекты, как:

— II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»;

— открытые мероприятия СМУС «Техноспецназ Росстандарта», проводимые на площадке Международного метрологического форума и выставки «Метрология без границ»;

— конкурс научно-технических разработок среди подведомственных организаций Федерального агентства;

— день открытых дверей Федерального агентства;

— организация научных практических школ;

— стажировки для молодых ученых и специалистов подведомственных организаций Федерального агентства;

— научно-техническое сотрудничество среди молодых ученых и специалистов подведомственных организаций Федерального агентства и др.

## Литература

1. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [Электронный ресурс]: Предмет деятельно-

сти Росстандарта, 2023. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/about/subjectactivity> (дата обращения: 26.04.2023).

2. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [Электронный ресурс]: Приказ № 2194 от 02.09.2022 «О создании Совета молодых ученых и специалистов “Техноспецназ Росстандарта”», 2023. URL: <file:///D:/downloads/img-020922154421-.pdf> (дата обращения: 26.04.2023).

# ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

С. Г. Нигматуллин<sup>1</sup>, И. А. Сладовский<sup>2</sup>, А. Г. Сладовский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ВНИИР — ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГАОУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1848-2821>,  
e-mail: [nigmat.salim@gmail.com](mailto:nigmat.salim@gmail.com)

## **Аннотация**

*Сжиженный природный газ является перспективным энергоресурсом, производство которого в последнее время растет. Для регулирования вопросов коммерческого учета сжиженного природного газа необходимы совершенствование существующих методов измерения, создание приборной базы для определения плотности СПГ в динамического режиме, а также модернизация эталонной базы для измерения плотности веществ в низких диапазонах. Показана возможность применения метода гидростатического взвешивания бесконтактным способом для создания плотности сжиженного природного газа.*

**Ключевые слова:** *сжиженный природный газ, плотность, измерение, обеспечение, плотномер*

Добычаемые и производимые в Российской Федерации энергоресурсы подлежат государственному учету. В постановлении Правительства РФ № 1847 [1] указано, что при проведении учетных операций и учете количества энергетических ресурсов допускается применять прямые методы статических измерений, прямые и косвенные методы динамических измерений, а также приведены метрологические требования к измерениям. Наряду с газообразными, жидкими и твердыми энергоносителями (газ, нефть и нефтепродукты, уголь) в пункте 6 постановления указаны нестабильный газовый конденсат, сжиженные углеводородные газы, широкая фракция легких углеводородов, которые при обычных условиях представляют собой

газожидкостные системы. В отдельную категорию можно выделить сжиженный природный газ (СПГ), к которому в последнее время обращено повышенное внимание со стороны государства и со стороны производителей [2–4]. СПГ — это природный газ, искусственно сжиженный путем охлаждения до минус 160 °С для удобства хранения или транспортировки, при изменении давления и/или температуры часть компонентов переходит в газообразное состояние.

Измерение количества с использованием косвенного метода динамических измерений предполагает определение объемного расхода продукта и его плотности. Если процедура определения объемного расхода хорошо отработана, существует большой ассортимент расходомеров различных типов, то с определением плотности СПГ возникают проблемы как в аппаратурном, так и в метрологическом плане.

При производстве СПГ величину плотности рассчитывают по ГОСТ Р 56851-2016 на основе данных о компонентном составе СПГ, который определяют хроматографическим методом по ГОСТ 31371.1. В последние годы появилось оборудование, позволяющее определять плотность сжиженных газов: плотномер ПСГ для сжиженного газа (с диапазоном измерения плотности от 460 до 640 кг/м<sup>3</sup>), измеритель плотности сжиженного газа ИПСГ-01 (с диапазоном измерения плотности от 460 до 640 кг/м<sup>3</sup>). Но конструкция приборов предполагает отбор проб продукта для последующего определения плотности. Таким образом, в настоящее время в Российской Федерации отсутствует приборное обеспечение для измерения плотности СПГ в динамике, когда необходимо получать непрерывную информацию о параметре в автоматическом режиме.

Ввиду того что вопрос измерения количества и плотности СПГ — это веяние последнего десятилетия, эталонная база измерения плотности СПГ в диапазоне от 400 до 650 кг/м<sup>3</sup> в динамическом режиме отсутствует. Одним из методов, которые могут быть положены в основу эталона плотности в диапазоне измерения плотности СПГ, может стать метод гидростатического взвешивания с применением магнитно-подвесной муфты (рис. 1).

Анализ исследований зарубежных авторов показал [5–10], что существует возможность создания плотномера с термостатируемой ячейкой, наличие которой позволит проводить измерения в широком диапазоне температур от 260 К до 473 К и давлении до 20 МПа.

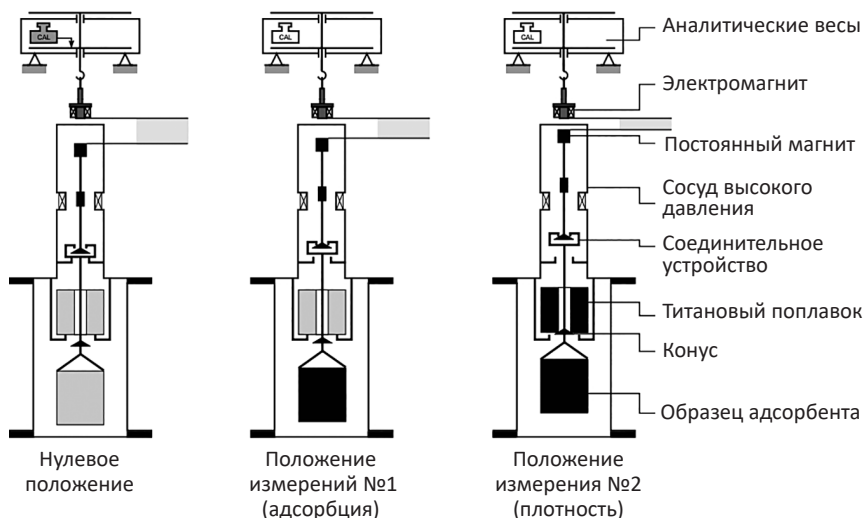


Рис. 1. Схема реализации метода гидростатического взвешивания с магнитно-подвесной муфтой

Таким образом, активное развитие рынка СПГ выдвигает новые требования для совершенствования динамических методов измерения массы этого энергоносителя и ставит ряд вызовов для совершенствования приборного и метрологического обеспечения.

## Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации 16 ноября 2020 г. № 1847 г. «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
2. Долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа в Российской Федерации: Приказ Правительства Российской Федерации от 16 марта 2021 г. № 649-р.
3. Кириллов Н. Г., Лазарев А. Н., Ярыгин Ю. Н. и др. Сжиженный природный газ: анализ мирового рынка и перспективы отечественного производства // Газохимия: Аналитика. 2019 С. 23–29.
4. Зуев А. Малотоннажный СПГ. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.cdu.ru/tek\\_russia/issue/2021/1/859/](https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2021/1/859/)
5. Kleinrahm R., Wagner W. Measurement, correlation of the equilibrium liquid, vapour densities, and the vapour pressure along the coexistence curve of methane // J. Chem. Thermodyn. 1986. N 18. P. 739–760.

6. Handel G., Kleinrahm R., Wagner W. Measurements of the (pressure, density, temperature) relation of methane in the homogeneous gas and liquid regions in the temperature range from 100 K to 260 K and at pressures up to 8 MPa // *J. Chem. Thermodyn.* 1992. N 24. P. 685–695.
7. Pieperbeck N., Kleinrahm R., Wagner W., Jaeschke M. Results of (pressure, density, temperature) measurements on methane and on nitrogen in the temperature range from 273.15 K to 323.15 K at pressures up to 12 MPa using a new apparatus for accurate gas-density measurements // *J. Chem. Thermodyn.* 1991. N 23. P. 175–194.
8. Dreisbach F., Seif R., Losch H. W., Keller J. U. Gravimetric Measurement of Adsorption Equilibria of Gas Mixture Co/H<sub>2</sub> with a Magnetic Suspension Balance // *Proc. 7th Fundamentals of Adsorption.* 2001. P. 255–262.
9. Wendland M., Fischer J. // Institut für Land, Umweltung Energietechnik, Universität für Bodenkultur, Wien, Austria personal communication. 1999.
10. Haynes W. M., Frederick N. V. Apparatus for Density and Dielectric Constant Measurements to 35 MPa on Fluids of Cryogenic Interest // *Journal of Research of the National Bureau of Standards.* 1983. Vol. 88. N 4. P. 241–252.



# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ЛИНЕЙНОГО КОМПАРАТОРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ

И. В. Новикова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), г. п. Менделеево, Московская область, Российская Федерация

## *Аннотация*

*В работе проведено исследование влияния прямолинейности линейного компаратора на погрешность измерения длины. Определено наибольшее влияние отклонения от прямолинейности компаратора с использованием предварительных расчетов и измерений на макете линейного компаратора до 60 м.*

**Ключевые слова:** *линейный компаратор, погрешность измерения длины, прямолинейность компаратора, метрологическая прослеживаемость, точность измерения*

Оценка характеристик средств измерения (СИ) длины в лабораторных условиях проводится на непрерывных линейных компараторах (далее — компараторах) [1]. При создании компаратора определяются его метрологические характеристики. Отклонение от прямолинейности компаратора вносит погрешность в измерение длины. В работе проведены предварительные расчеты влияния прямолинейности на погрешность измерения длины [2, 3], измерения прямолинейности макета компаратора до 60 м и оценка полученных результатов в соответствии с предварительными расчетами.

При предварительном расчете по формулам (1)–(3) получено наибольшее влияние отклонения от прямолинейности компаратора на измерения длины в начале компаратора. Максимально допустимая погрешность 1 мкм на дистанции 60 м получена при отклонении прямолинейности 7,75 мм, а на дистанции 5 м максимально допустимая погрешность измерения длины получена при отклонении 1,005 мм.

$$\Delta = L_{\text{изм}} - L, \quad (1)$$

где  $L$  — значение измеряемой длины, полученное лазерной интерферометрической измерительной системой;  $L_{\text{изм}}$  — измеренное значение длины с внесением значения отклонения от прямолинейности компаратора (2).

$$L_{\text{изм}} = \sqrt{L^2 - D^2}, \quad (2)$$

где  $D$  — расстояние от измеряемой точки до точки результирующего отклонения (3) [4].

$$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta x, \Delta y$  — приращения измеренных координат, полученных с Fixturlaser.

Для оценки прямолинейности макета компаратора до 60 м проведены измерения с использованием системы лазерной для измерения перемещений Fixturlaser XA Geometry методом прямых измерений [5]. В процессе измерений в лаборатории поддерживались климатические условия, соответствующие рабочим условиям применения рабочих эталонов длины: температура воздуха 20,18–20,35 °С, влажность воздуха 14,0–14,7 и давление 985,32–985,36 гПа.

Отклонения по горизонтали и вертикали макета компаратора определялись с дискретностью 10 см в диапазоне до 60 м. По результатам измерений получены значения отклонения от прямолинейности макета компаратора в диапазоне до 60 м в вертикальной и горизонтальной плоскостях до 1,15 мм и 1,12 мм соответственно. Полученная погрешность составляет до 0,08 мкм (рис. 1), что по предварительным расчетам соответствует допустимой погрешности измерения длины.

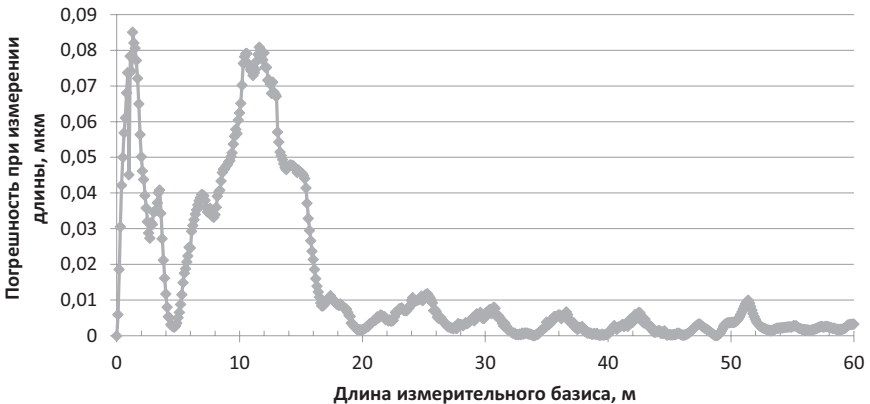


Рис. 1. Результаты погрешности измерений длины на макете компаратора по результатам отклонения от прямолинейности

По результатам исследования получены отклонения от прямолинейности макета компаратора не более 1,12 мм в горизонтальной плоскости и не более 1,15 мм в вертикальной плоскости. При оценке характеристик СИ длины на макете компаратора полученные отклонения прямолинейности вносят в погрешность измерения длины не более 0,08 мкм. Полученные значения могут оказывать влияние на результаты измерений при оценке характеристик таких СИ длины, как измерители перемещений лазерные и измерительные системы лазерные, где погрешность измерения длины составляет 0,5 мкм на 1 м.

### Литература

1. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-9}$  до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. № 2840.
2. Новикова И. В., Соколов Д. А. Экспериментальное исследование соосной и ортогональной методик сравнения лазерных измерительных интерферометрических систем // Альманах современной метрологии. 2021. № 4(28). С. 244.
3. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
4. Большаков В. Д., Деймлих Ф., Голубев А. Н., Васильев В. П. Радиогодезические и электрооптические измерения: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 290 с.
5. Дойников А. С. Лекции по метрологии. Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2018. С. 67.

# УСТАНОВКА ПОВЕРОЧНАЯ РАСХОДОМЕРНАЯ «СПРУТ-150», ПРИМЕНЕНИЕ В ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ СУРГУТ»

Д. Д. Орешкина

Общество с ограниченной ответственность «Газпром трансгаз Сургут»  
(ООО «Газпром трансгаз Сургут»), г. Сургут, Российская Федерация  
E-mail: ddemonessa@yandex.ru

## Аннотация

*Установка поверочная расходомерная «Спрут-150» является рабочим эталоном единицы величины, применяется в ООО «Газпром трансгаз Сургут» для поверки и калибровки преобразователей расхода, расходомеров и счетчиков жидкости. Представленная работа включает в себя описание порядка эксплуатации установки, характеристик и сведений о специфике процедур ее обслуживания.*

**Ключевые слова:** аттестация, поверка, калибровка, рабочий эталон, Спрут-150, расход

Установка поверочная расходомерная «Спрут-150» применяется для поверки и калибровки преобразователей расхода расходомеров и счетчиков жидкости методом прямого сличения [1]. На рисунке 1 представлен общий вид установки «Спрут-150».



Рис. 1. Установка «Спрут-150»

Установка состоит из следующих узлов [2]:

- обратная емкость — хранение оборотной воды;
  - насосный узел — создает расход при поверке рабочих СИ, заполняет установку водой;
  - рабочий стол — установка в контур испытываемых приборов;
  - БКПР — это 12 параллельно включенных измерительных линий.
- Измерение объема, прошедшее через испытываемые приборы за отмеренный интервал;
- измерительная система — согласованное измерение объема (расхода) воды с использованием БКПР и выходных сигналов испытываемых приборов;
  - система управления — управление частотой вращения двигателей насосов, переключения клапанов с пневматическим управлением линией;
  - персональный компьютер с ПО — управление процессом измерения, обработки результатов измерений, печати протоколов.

В таблице 1 представлены основные метрологические и технические характеристики эталона [3, 4, 5].

**Таблица 1. Основные метрологические и технические характеристики «Спрут-150»**

Наименование характеристики	Значение
Диапазон воспроизводимого объемного расхода жидкости при использовании расходомеров, м <sup>3</sup> /ч	От 0,03 до 200
Доверительные границы суммарной погрешности единиц объемного расхода жидкости при использовании расходомеров, %	± 0,15
Диапазон воспроизводимого объема жидкости в потоке при использовании расходомеров, м <sup>3</sup>	От 0,005 до 200
Доверительные границы суммарной погрешности единиц объема жидкости в потоке при использовании расходомеров, %	± 0,15
Измеряемая среда	Вода питьевая по СанПиН 2.1.4.1074-01
Условия эксплуатации: — температура окружающей среды, °С — относительная влажность, % — атмосферное давление, кПа	От +10 до +30 От 30 до 80 От 84 до 106,7
Количество одновременно поверяемых средств измерений, шт.	От 1 до 6
Номинальный диаметр поверяемых (калибруемых) средств измерений	От DN10 до DN150

В соответствии с Положением об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 23.09.2020 № 734, в 2021 г. установка «Спрут-150» была утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в качестве рабочего эталона единицы объема жидкости в потоке 2 разряда в диапазоне значений от 0,005 до 200 м<sup>3</sup>, единицы объемного расхода жидкости 2 разряда в диапазоне значений от 0,03 до 200 м<sup>3</sup>/ч [6].

При первичной и периодической аттестации эталон единицы величины проходит все обязательные этапы, такие как внешний осмотр, соответствия программного обеспечения, проверка герметичности, опробование и исследование метрологических характеристик [7, 8].

Эталон предназначен для воспроизведения, хранения и передачи единицы объемного расходов жидкости, единицы объема жидкости в потоке в соответствии с частью 1 Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 г. № 2356 [9].

## Литература

1. Описание типа СИ 19442-13 «Установки поверочные расходомерные «Спрут»».
2. Установки поверочные расходомерные «Спрут». Руководство по эксплуатации ИВКА.438130.004 РЭ. М., 2013. 37 с.
3. Установки поверочные расходомерные «Спрут». Паспорт ИВКА.438130.004 ПС. М., 2015. 4 с.
4. Рабочий эталон единицы объема жидкости в потоке 2 разряда в диапазоне значений от 0,005 до 200 м<sup>3</sup>, единицы объемного расхода жидкости 2 разряда в диапазоне значений от 0,03 до 200 м<sup>3</sup>/ч. Правила содержания и применения. ПРС-3.2.ВЧШ.0274.2021 (утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 марта 2021 г. № 204).
5. ГОСТ Р 8.608-2004 ГСИ. Установки для поверки средств измерения расхода и объема воды сличением с преобразователями (счетчиками) расхода и (или) объема воды. Основные метрологические и технические требования.

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2020 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».

7. Рабочий эталон единицы объема жидкости в потоке 2 разряда в диапазоне значений от 0,005 до 200 м<sup>3</sup>, единицы объемного расхода жидкости 2 разряда в диапазоне значений от 0,03 до 200 м<sup>3</sup>/ч. Методика аттестации. МА 2-5901-2020. Казань, 2020.

8. Рабочий эталон единицы объема жидкости в потоке 2 разряда в диапазоне значений от 0,005 до 200 м<sup>3</sup>, единицы объемного расхода жидкости 2 разряда в диапазоне значений от 0,03 до 200 м<sup>3</sup>/ч. Методика первичной аттестации. МПА 1-5901-2020. Казань, 2020.

9. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 г. № 2356 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости».

# УЛУЧШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. О. Отроков

ООО «Газпром трансгаз Москва» «Инженерно-технический центр»,  
г. Липецк, Российская Федерация  
E-mail: otrokov48@gmail.com

## **Аннотация**

*В данной статье рассматривается применение цифровых технологий в ООО «Газпром трансгаз Москва» (далее — Общество) для оптимизации метрологического контроля. Цель — определить пути улучшения процесса поверки средств измерений. Методология включает анализ процессов и разработку приложения «ПиКСИ Search» и программы для ПК «ПиКСИ DataMatching». Результаты показывают сокращение времени, снижение ошибок и повышение надежности контроля при использовании мобильного приложения и программы для ПК.*

**Ключевые слова:** метрологический контроль, цифровые технологии, поверка средств измерений, мобильное приложение, программа для ПК

Метрологический контроль в современных условиях требует новых подходов, обеспечивающих повышение эффективности и надежности процессов. В ООО «Газпром трансгаз Москва» активно внедряются инновационные решения, направленные на решение этих задач.

При проведении поверки (калибровки) средств измерений на месте установки нашим специалистам метрологической службы необходимо проверять соответствие предоставленных средств измерений утвержденному графику поверки (калибровки) на текущий год согласно внутренним нормативным документам. Традиционный метод поиска информации о средствах измерения на бумажном носителе занимает много времени и подвержен ошибкам из-за человеческого фактора. Такие ошибки могут привести к нарушению установленных стандартов организации. Кроме того, такой подход усложняет процесс поверки и увеличивает время, затрачиваемое на выполнение задачи.

После проведения поверки сотрудник должен предоставить сведения о поверке в ФГИС «Аршин» (далее — Аршин). Кроме того, при передаче сведений в Аршин необходимо предоставить сведения и в ФГИС Росаккредитацию (далее — РА). Но из-за требований РА



к форме передачи необходимо обрабатывать данные из уже переданных сведений в Аршин для формирования файла передачи, соответствующего требованиям РА. Это дополнительно усложняет и замедляет процесс работы. Для решения данных проблем были разработаны мобильное приложение и программа для ПК.

Мобильное приложение «ПиКСИ Search» значительно упрощает процесс поиска средств измерения в графике поверки, предусматривая различные алгоритмы поиска для снижения вероятности ошибок и предоставляя наглядный доступ к информации о средствах измерения и истории проведенных поверок.

Поскольку наши графики поверки (калибровки) печатаются на бумажных носителях, мы оценили среднее время поиска информации по заводскому номеру на разном количестве листов и с различными условиями поиска заводских номеров. На основе полученных результатов был составлен график, демонстрирующий преимущества использования приложения, на графике (рис. 1) представлено время, затрачиваемое на поиск информации на бумажных носителях и в приложении.

Программа для ПК «ПиКСИ DataMatching» обрабатывает и сопоставляет данные из различных источников, связанных с передачей сведений о поверке в РА, что упрощает процесс передачи информации и сокращает время, затраченное на этот процесс.

В рамках представления инновационных решений для улучшения эффективности метрологического контроля на примере Общества были разработаны мобильное приложение «ПиКСИ Search» и про-

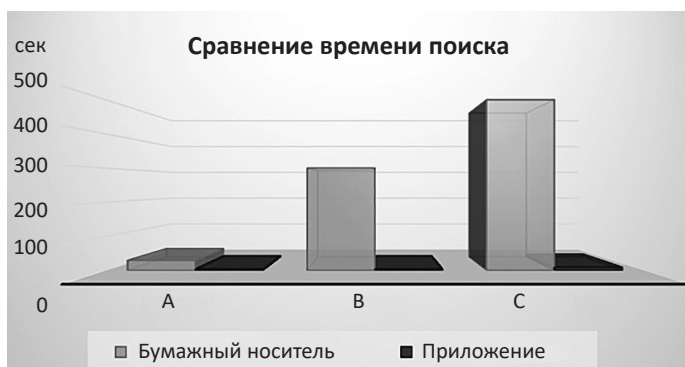


Рис. 1. График сравнения времени

граммы «ПиКСИ DataMatching». Эти инструменты, находящиеся на стадии внедрения, позволят существенно упростить и оптимизировать процессы, связанные с поверкой средств измерений, и могут стать полезными для других организаций, работающих в данной сфере. Внедрение таких инноваций является актуальным и важным направлением для развития метрологического контроля в современных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. ФГИС «Аршин» <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>.
3. Data Mining: Concepts and Techniques by J. Han, M. Kamber, J. Pei (2011). 73 p.
4. Smith J. The Impact of Mobile Applications on Efficiency and the Transition from Paper-Based Systems // Journal of Digital Innovation. 2022. P. 45-62.

# РАЗРАБОТКА КАЛИБРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ И ТОКОВЫХ СИГНАЛОВ

О. В. Паздников

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Тюменской и Курганской областях, Ханты-Мансийском автономном округе-Югре, Ямало-Ненецком автономном округе» (ФБУ «Тюменский ЦСМ»), г. Тюмень, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-8471-577X, e-mail: trustno\_1@list.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрен способ технической реализации узла воспроизведения силы постоянного тока для практического применения при разработке универсального калибратора. Описан принцип действия узла формирователя импульсных сигналов. Произведен выбор оптимального варианта, с учетом требований нормативных документов на средства измерений данного типа.*

**Ключевые слова:** *воспроизведение силы постоянного тока, воспроизведение импульсных сигналов, аналого-цифровое преобразование, цифро-аналоговое преобразование, цифровая обработка сигналов, разработка средств измерений*

Для выполнения работ по поверке на месте эксплуатации автоматизированных измерительных систем, узлов учета энергоресурсов и другого промышленного оборудования широко применяются портативные калибраторы стандартных сигналов [1]. Ввиду сокращения ассортимента продукции иностранного производства перед нашим производственным подразделением была поставлена задача создания многоканального портативного калибратора с аналогичным функционалом и метрологическими характеристиками [2, 3].

Технически прибор должен состоять из узла 4-канального калибратора тока, осуществляющего воспроизведение силы постоянного тока в диапазоне от 4 до 20 мА с некоторым «запасом» по краям диапазона и абсолютной погрешностью не более  $\pm 3$  мкА, что соответствует уровню эталона 1 разряда по Государственной поверочной схеме силы постоянного электрического тока [4]. Также прибор должен осуществлять формирование непрерывного импульсного сигнала (меандра) или пачки импульсов с частотой следования от 0,1 Гц до 20 кГц и относительной погрешностью не хуже  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ .

Ввиду дефицита компонентов иностранного производства на рынке концепция разработки прибора предполагает использование элементов общего назначения, имеющих в продаже. Поиск оптимального схемотехнического решения производился с учетом этого фактора.

Принцип действия разработанного узла источника тока основан на воспроизведении напряжения постоянного тока с помощью двух ЦАП (цифро-аналоговых преобразователей) низкой разрядности (12 бит), сложения этих сигналов аналоговым сумматором и последующей подачи этого сигнала на преобразователь напряжение-ток на операционном усилителе [6]. Для установки требуемого значения силы тока на выходе с высокой точностью применяется измерение напряжения на прецизионном токовом шунте посредством 24-битного дельта-сигма АЦП (аналого-цифрового преобразователя) с подачей этого сигнала обратной связи в МК (микроконтроллер) для корректировки величины управляющего сигнала ЦАП. Наглядно принцип действия данного узла (на примере одного канала) демонстрируется блок-схемой, изображенной на рисунке 1.

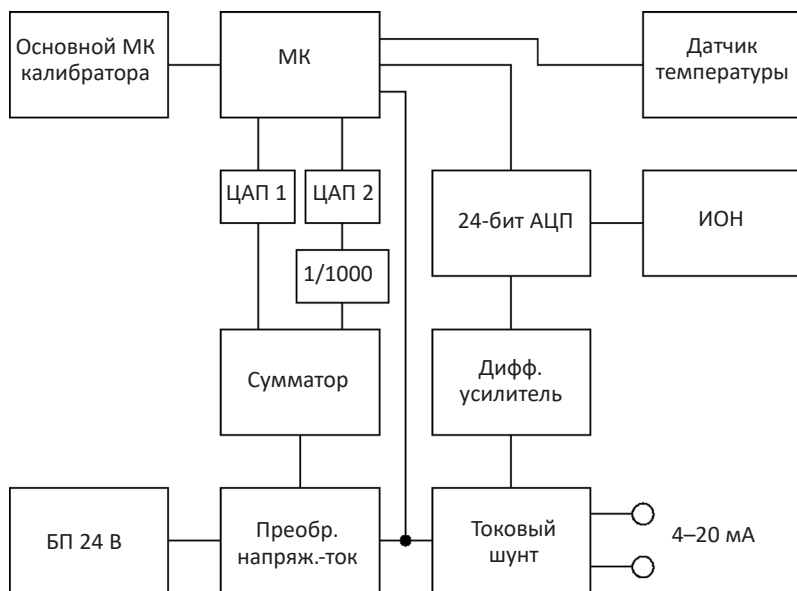


Рис. 1. Блок-схема узла калибратора тока

Испытания разработанного модуля выявили ряд систематических погрешностей, в ходе доработки аппаратной и программной части удалось минимизировать данные составляющие погрешности [7], в итоге требуемая точность воспроизведения силы тока ( $\pm 3$  мкА) достигнута.

Для формирования импульсного сигнала с высокой точностью в заданном диапазоне частот используется генератор с фазовой автоподстройкой частоты [8]. Для снижения частоты на его выходе генератора и возможности формирования «пачки» импульсов осуществляется деление частоты с помощью аппаратного таймера-счетчика МК. В качестве опорного генератора выступает термостатированный кварцевый генератор.

Таким образом, создан прототип устройства из компонентов, доступных на рынке. В настоящее время осуществляются испытания изделия, определение метрологических характеристик и доработка программного обеспечения.

## Литература

1. Сергеев А. Г., Терегеря В. В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. М.: Юрайт, 2014. 838 с.
2. Устройства для поверки вторичной измерительной аппаратуры узлов учета нефти и нефтепродуктов «УПВА-Т». Описание типа средства измерений № 74892-19.
2. Устройства поверки вторичной аппаратуры «УПВА-Эталон». Описание типа средства измерений № 70045-17.
4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01 октября 2018 г. № 2091 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы постоянного тока в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-16}$  до 100 А».
5. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega: Руководство пользователя. Справочное издание. М.: Додэка-XXI, 2007. 592 с.
6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. М.: Мир, 1982. 512 с.
7. Айфичер Э. С., Джервис Б. У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. М.: Вильямс, 2004. 992 с.
8. Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М.: ЁЁ Медиа, 2012. 448 с.

# ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ЦИФРОВОГО ПРОТОКОЛА (на примере вискозиметров стеклянных капиллярных)

Л. А. Первицкая<sup>1</sup>, Н. П. Фот<sup>1</sup>, А. А. Неклюдова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Оренбургский государственный Университет (ОГУ), Оренбург, Российская Федерация  
E-mail: fotnp@mail.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: A.A.Tsurko@vniim.ru

## Аннотация

*В работе рассмотрен подход к формированию цифрового протокола поверки с машиночитаемым содержанием. На основе рассчитанных значений, вносимых в протокол поверки вискозиметров, а также необходимых при поверке справочных данных создано программное обеспечение с применением объектно-реляционных систем управления базами данных (ОРСУБД), позволяющих формировать, хранить и управлять документоориентированной или слабоструктурированной информацией.*

**Ключевые слова:** вискозиметр, цифровой протокол, базы данных, цифровизация, программа, PostgreSQL, PYTHON

В соответствии со Стратегией обеспечения единства измерений до 2030 года [2], важным аспектом является использование механизмов информатизации и удаленного доступа для снижения затрат времени и средств на оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Так, при обработке результатов измерений, полученных при поверке, необходимо произвести ряд расчетов, в частности, при поверке вискозиметров капиллярных — это расчет постоянных  $B$  и  $C$ , а также относительного отклонения значения постоянной поверяемого вискозиметра от значения постоянной этого же вискозиметра, указанного в предыдущем свидетельстве о поверке. Расчет постоянной  $C$  базируется на результатах сличений при помощи градуировочной жидкости (компаратора) с вискозиметрами из состава эталонного комплекса ЭК ГЭТ 17/1-КВИ, входящего в Государственный первичный эталон единиц динамической и кинематической вязкости

жидкости, и является трудозатратным процессом. Процесс формирования протокола поверки требует обращения к информации из разных источников: исходных данных, как правило заносимых для удобства в электронную таблицу Excel, справочных данных, к электронной форме протокола первичной и (или) периодической поверки вискозиметра стеклянного капиллярного эталонного [3, 4], а также к информации, представленной в Федеральном информационном фонде.

В связи с вышеперечисленным, актуальным представляется создание информационной системы с применением объектно-реляционных систем управления базами данных (ОРСУБД), позволяющим формировать, хранить и управлять документоориентированной или слабоструктурированной информацией. В качестве исходных данных выступили результаты измерений поверки вискозиметра стеклянного капиллярного эталонного, а также справочные данные [3, 4] и форма протокола первичной и периодической поверки [1].

С целью формирования цифрового протокола были применены ОРСУБД PostgreSQL (PSQL) [5–6], которая наиболее адаптивна к решению задач по обработке сложных запросов и поддержке массивных баз данных, и высокоуровневый интерпретируемый язык программирования Python, имеющий связь с PSQL. Для работы с выбранной ОРСУБД использован модуль расширения Python psycopg2, соответствующего критериям распространенности, поддержки и многопоточности [7, 8].

Программа подразумевает обращение к разным информационным системам — «первичная поверка» и «периодическая поверка», где часть информации вводится с клавиатуры самим пользователем, а часть выбирается из соответствующей базы данных: температура окружающего воздуха, относительная влажность воздуха, атмосферное давление воздуха, кинематическая вязкость, серийный номер вискозиметра (при периодической поверке). Кроме того, интерфейс программы подразумевает возможность вывода коэффициентов (длина капилляра, вместимость измерительного резервуара, время истечения жидкости), расчета показателей (постоянных  $B$  и  $C$ ) и сохранение протокола в файле расширения .word.

Формирование цифрового протокола на основе применения ОРСУБД станет основой для автоматизированного сбора статистических данных о поверке и дальнейшего создания единого цифрово-

го метрологического пространства с целью эффективного управления процессом метрологической надежности средств измерений.

### Литература

1. МИ 3650-2022. Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация по оформлению заявок, заявлений и прилагаемых к ним документов при утверждении типа средств измерений и внесении изменений в сведения о них, содержащиеся в федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. М., 2022. [Электронный ресурс] <https://disk.yandex.ru/i/FH5kx2ivSdXw0Q> (25.04.2022).

2. Распоряжение Правительства РФ № 737-р «Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года». [Электронный ресурс] <https://disk.yandex.ru/i/j80MYERgeDV2XQ> (25.04.2023).

3. МИ 3630-2021. Демьянов А. А., Неклюдова А. А., Лесенная И. В. и др. Государственная система обеспечения единства измерений. Вискозиметры стеклянные капиллярные эталонные. Методика поверки. [Электронный ресурс]. СПб., 2020. 26 с.

4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. «Описание типа средства измерений. Вискозиметры стеклянные капиллярные эталонные». [Электронный ресурс]. СПб., 2021. 3 с.

5. Вдович С. А., Панова Н. Ф. Выбор программного средства при обучении технологии баз данных // Тенденции развития науки и образования. [Электронный ресурс]. 2021. № 70-1. С. 46–49.

6. Домбровская Г., Новиков Б., Бейликова А. Оптимизация запросов в PostgreSQL. [Электронный ресурс] Издательство: ДМК Пресс, 2022. 280 с.

7. Usman Malik. Чтение и запись файлов MS Word на Python с помощью модуля Python-Docx. 17.04.2021. [Электронный ресурс] <https://pythobyte.com/reading-and-writing-ms-word-files-in-python-via-python-docx-module-10cd4474/>.

8. Учебник «PostgreSQL — интерфейс Python». 4.04.2019. [Электронный ресурс] <https://coderlessons.com/tutorials/bazy-dannykh/vyuchit-postgresql/postgresql-interfeis-python/>.



# АТТЕСТАЦИЯ ЭТАЛОНОВ ИЛИ ИСПЫТАНИЯ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ЕДИНИЧНОГО ЭКЗЕМПЛЯРА — ДВА ПОРЯДКА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СТАТУСА ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

А. А. Пименова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2016-9607>, e-mail: [a.a.pimenova@vniim.ru](mailto:a.a.pimenova@vniim.ru)

## *Аннотация*

*На данный момент существуют два порядка для установления статуса технического средства, планируемого к применению в сфере обеспечения единства измерений, — это аттестация эталона единицы величины или испытания в целях утверждения единичного экземпляра. Автором были рассмотрены оба порядка для определения преимуществ и отличий процедур, а также оценены временные и экономические затраты.*

**Ключевые слова:** *средство измерений, эталон единицы величины, аттестация эталона единицы величины, испытания в целях утверждения типа, обеспечение единства измерений*

Одной из основных задач сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений является установление порядка передачи единиц величин эталонам единиц величин и применяемым в качестве эталонов единиц величин средствам измерений (СИ), а также оценка их соответствия обязательным требованиям.

В соответствии с действующей нормативной документацией для установления статуса технического средства, планируемого к применению в сфере обеспечения единства измерений в качестве эталона, предусмотрены два порядка: аттестация в качестве эталона единицы величины или испытания в целях утверждения типа единичного экземпляра средства измерений.

Порядок проведения испытаний в целях утверждения типа регламентируется Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.08.2020 № 2905 [1]. Проведение

аттестации эталонов единиц величин регламентируется Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 11.02.2020 № 456 [2].

Средства измерений, ранее прошедшие метрологическую аттестацию до 1 декабря 2001 г., подлежат поверке по методикам поверки, установленным при проведении метрологической аттестации [3], однако не могут применяться в качестве эталонов единиц величин, так как методиками не предусмотрена проверка соответствия обязательным метрологическим требованиям [4]. Таким образом, для этих средств измерений актуален вопрос выбора порядка для установления статуса, для дальнейшего применения в сфере обеспечения единства измерений в качестве эталона.

Испытания в целях утверждения типа единичного экземпляра являются предпочтительными, если по каким-либо причинам серийно изготовленное средство измерений не подпадает под утвержденный тип. Это может быть связано с модернизацией средства измерений, ошибками при оформлении материалов испытаний и др. Но основная причина и наиболее распространенная — это отсутствие заинтересованности заявителя или изготовителя средства измерений в испытаниях высокоточных модификаций, так как в таком случае необходимо предоставлять образцы наивысшей точности, что значительно увеличивает затраты на испытания в целях утверждения типа.

Процедура аттестации эталона единицы величины является оптимальной в случае необходимости разработки локальной поверочной схемы (ЛПС), которую согласуют с государственным научным метрологическим институтом или государственным региональным центром метрологии, осуществляющим аттестацию применяемого в качестве исходного эталона по данной локальной поверочной схемы.

При сравнении порядка проведения и основных документов при аттестации эталона единицы величины и испытаниях в целях утверждения типа можно сделать вывод об их схожести. Основным различием является результат проведения процедуры: по завершению процедуры первичной аттестации эталон может сразу быть применен по назначению, тогда как после испытаний для применения СИ в сфере государственного регулирования необходимо провести процедуру его поверки. Порядок проведения и основные документы процедур аттестации и испытаний приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Порядок проведения и основные документы**

Аттестация эталона единицы величины	Испытания в целях утверждения типа единичного экземпляра средства измерений
Заявка, заключение договора	Заявка, заключение договора
Паспорт эталона, правила содержания и применения	Паспорт или формуляр, руководство по эксплуатации
Методика первичной аттестации: — исследование эталона — определение интервала между аттестациями — оценка соответствия эталона обязательным требованиям — опробование методики периодической аттестации	Программа испытаний: — исследования СИ — определение интервала между поверками — проверка соответствия обязательным метрологическим и техническим требованиям — опробование методики поверки
Протокол исследований	Акт испытаний с протоколами испытаний
Свидетельство об аттестации эталона	Описание типа
Приказ об утверждении эталона	Приказ об утверждении типа СИ
Размещение сведений в Федеральном информационном фонде	Размещение сведений в Федеральном информационном фонде об утвержденном типе
—	Заявка, заключение договора и поверка средства измерений

Из анализа процедур испытаний в целях утверждения типа и аттестации эталонов единиц величин можно сделать вывод, что оба порядка, без учета специфики, равно применимы для подтверждения метрологических характеристик средств измерений, узаконивания их применения в качестве эталонов в области обеспечения единства измерений, а окончательное решение по выбору порядка принимает заказчик.

### Литература

1. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.08.2020 № 2905 № «Об утверждении Порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, Порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, Порядка выдачи свидетельств об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, установления и изменения срока действия указанных свидетельств

и интервала между поверками средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения».

2. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 11.02.2020 № 456 «Об утверждении требований к содержанию и построению государственных поверочных схем и локальных поверочных схем, в том числе к их разработке, утверждению и изменению, требований к оформлению материалов первичной аттестации и периодической аттестации эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, формы свидетельства об аттестации эталона единицы величины, требований к оформлению правил содержания и применения эталона единицы величины, формы извещения о непригодности эталона единицы величины к его применению».

3. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 23.09.2010 № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».

5. МИ 3650-2022 «Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация по оформлению заявок, заявлений и прилагаемых к ним документов при утверждении типа средств измерений и внесении изменений в сведения о них, содержащиеся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений».

6. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

7. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.08.2020 № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений».

8. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17.08.2020 № 1404 «О внесении изменений в Административный регламент по предоставлению Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной услуги по утверждению типа стандартных образцов или типа средств измерений, утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 ноября 2018 г. № 2346».

# ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО РАСШИРЕНИЮ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФГИС «АРШИН» ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

А. А. Попов

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Иркутской области» (ФБУ «Иркутский ЦСМ»), г. Иркутск, Российская Федерация  
E-mail: bfmetrolog@csm.irkutsk.ru

## **Аннотация**

*В статье рассмотрена необходимость уточнения интервалов между поверками для определенных модификаций средств измерений и указания методик поверки в ФГИС «Аршин» согласно описанию типа.*

**Ключевые слова:** метрология, описание типа, методика поверки, программное обеспечение, интервал между поверками

Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений ФГИС «Аршин» является одним из примеров того, как современные технологии помогают в совершенствовании метрологии. Доступность в любое время и в любом месте с помощью персонального компьютера или мобильного устройства с интернет-соединением и достоверность предоставляемой информации — важные факторы эффективного развития обеспечения единства измерений в эпоху цифровизации.

Поверка средств измерений — одна из форм государственного регулирования в области обеспечения единства измерений [1]. Результатом поверки средств измерений является передача сведений о поверке в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [2, 3].

Возможность передачи результатов поверки в ФГИС «Аршин», не требующей ввода данных вручную и без использования личного кабинета, — преимущество внедрения Единой Метрологической Платформы (ЕМП). ЕМП — это решение полной автоматизации метрологической деятельности на базе 1С [4].

Процесс взаимодействия с ЕМП в случае с проведением процедуры поверки выглядит следующим образом:

- 1) принятие заявки от клиента;
- 2) выставление счета;

- 3) оплата клиентом счета;
- 4) прием средства измерения;
- 5) выполнение поверки;
- 6) выдача средства измерения;
- 7) подписание актов.

На этапе выполнения поверки поверитель пользуется базой номенклатур средств измерений, созданной на основании описаний типа этих средств измерений, импортированных в ЕМП из Федерального информационного фонда (рис. 1).

Запись Федерального информационного фонда, как и запись в ЕМП, содержат следующие данные: номер в реестре, наименование и тип СИ, страна и предприятие-изготовитель, срок действия свидетельства об утверждении типа, интервал между поверками (МПИ). Стоит заметить, что данные не исчерпывающие и не включают в себя сведений о МПИ для определенных модификаций средств измерений и сведений о методике поверки.

☆ 65054-16 (Государственный реестр средств измерений) 🔗 ⓘ □ ✕

Основное Методики поверки История изменений

Архивная

Номер госреестра:  [Описание](#) [Методика](#)

Наименование СИ:

Изготовитель:

Заводской номер:

Срок свидетельства:   Поверка партии Статус СИ:

МПИ:  Сведения о типе:

Наличие периодической поверки Интервал лет:  Интервал месяцев:

Hash:

**Типы СИ**

Типы СИ из классификатора:

N	Тип СИ
1	SWN

Рис. 1. Пример импортированной записи типа средства измерения

Формирование номенклатуры средства измерения в ЕМП связано с заполнением графы, состоящей из наименования и обозначения документов, содержащих методики поверки и/или сами методики поверки, а также истории их изменения (номера приказов Росстандарта, которыми установлены или изменены методики поверки, и даты их подписания). На практике внесение в программу ЕМП наименование методик поверки носит субъективный характер и зависит от поверителя, заполняющего данную графу, что приводит к отсутствию порядка или к недостаточности вводимой информации.

Срок действия поверки, указываемый относительно даты поверки с учетом длительности установленного интервала между поверками, является одним из обязательных сведений о результатах поверки средств измерений. В случаях, когда в одном описании типа (например, счетчики горячей и холодной воды) МПИ зависит от модификации прибора, выделение отдельных модификаций в ФГИС «Аршин» позволит избежать ошибок при указании интервала между поверками.

Таким образом, указание МПИ для модификаций средств измерений и методик поверки согласно описанию типа в ФГИС «Аршин» и дальнейший импорт полученного результата в ЕМП потенциально повысят корректность оформления результатов поверки.

## Литература

1. Российская Федерация. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений». Федеральный закон № 102-ФЗ принят Государственной Думой 11 июня 2008 г.: одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 г.
2. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке». Приказ от 31 июля 2020 № 2510.
3. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений». Приказ от 28 августа 2020 № 2906.
4. Единая метрологическая платформа. Бизнес & метрология сайт. URL: <https://emprst.ru/> (дата обращения 27.04.2023).

**ИМИТАЦИОННАЯ ПОВЕРКА  
ВИХРЕВОГО РАСХОДОМЕРА «ЭМИС-ВИХРЬ»  
МОДУЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ  
ЯМБУРГСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Д. А. Романов**

ООО «Газпром добыча Ямбург» филиал «Управление автоматизации и метрологического обеспечения», служба метрологии, п. Ямбург, Российская Федерация  
E-mail: da.romanov@yamburg.gazprom.ru

***Аннотация***

*В работе будет рассматриваться предложение по внедрению имитационного метода поверки вихревого расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ» на месте его эксплуатации в целях экономии времени, ресурсов, финансовых затрат.*

***Ключевые слова:*** поверка, имитационный метод, вихревой расходомер, методика поверки, средство измерений, модульная компрессорная установка

Большинство методик поверки (далее МП) на современные средства измерения (далее СИ) расхода жидкости и газа предполагает два метода проведения поверки: проливной или имитационный. Имитационный метод заключается в имитации сигнала от первичного преобразователя в измерительный тракт расходомера.

Имитационная поверка СИ расхода жидкости и газа существенно ускоряет и упрощает процесс поверки. В отличие от проливного метода, при имитационной поверке не требуется полного отключения системы, что означает отсутствие простоев оборудования и значительно сокращает время на проведение поверки.

Новизна имитационной поверки заключается в возможности проводить ее на месте установки датчика расхода «ЭМИС-ВИХРЬ» [1–3]. Это делает метод более безопасным и экономически выгодным. Особенно удобно применять этот метод для расходомеров, установленных в модульных компрессорных установках (далее — МКУ), ввиду того что эксплуатация МКУ ведется круглосуточно в течение года с очень коротким сроком останковки на планово-предупредительный ремонт (далее — ППР). При этом демонтаж датчика расхода не всегда удобен и требует дополнительных мероприятий для обеспечения



безопасности персонала, так как для этого необходимо выполнять разгерметизацию технологического оборудования МКУ [4]. Исходя из вышесказанного, самым оптимальным вариантом поверки расходомера является поверка на месте эксплуатации оборудования с использованием имитационного метода.

Для проведения имитационной поверки в соответствии с МП 208-008-2022 [5] к расходомеру, непосредственно установленному на трубопроводе, требуется подключение частотомера, ноутбука с программным обеспечением и другого дополнительного оборудования.

Имитационная поверка расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ» на месте эксплуатации без его демонтажа с МКУ позволяет существенно сократить затраты на проведение поверки.

### **Литература**

1. Преобразователи расхода вихревые «ЭМИС-ВИХРЬ 200 (ЭВ-200)». Руководство по эксплуатации.
2. ГОСТ Р 8.740-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. «Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и количество газа. Методика измерений с помощью турбинных, ротационных и вихревых расходомеров и счетчиков».
3. ГОСТ 30319.1-2015. Межгосударственный стандарт. «Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения».
4. СТО Газпром 5.37-2011. Обеспечение единства измерений. Единые технические требования на оборудование узлов измерения расхода и количества природного газа, применяемых в ОАО «Газпром».
5. МП 208-008-2022. «Расходомеры-счетчики вихревые “ЭМИС-ВИХРЬ 200”». Методика поверки».

# ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДНК ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

А. Л. Рунов, М. С. Вонский, Н. В. Иванникова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID 0000-0001-9496-4414, e-mail: a.l.runov@vniim.ru

## *Аннотация*

*Современная лабораторная диагностика, основанная на генетическом анализе, требует выполнения точных прослеживаемых измерений количественных характеристик ДНК. В настоящее время в России производится ограниченное число наименований стандартных образцов, пригодных к применению для измерений в области ДНК-анализа. Разработка новых подходов к разработке СО ДНК позволит обеспечить прослеживаемость измерений в лабораторной диагностике к национальным эталонам РФ.*

***Ключевые слова:** стандартный образец, концентрация копий, цифровая ПЦР, метрологическая прослеживаемость, вариация числа копий гена*

Измерения в области генетического анализа являются неотъемлемой частью современной клинической лабораторной диагностики [1]. Анализ нуклеиновых кислот подразумевает как исследование качественного свойства — последовательности нуклеотидов, составляющих цепочку ДНК/РНК, так и измерение содержания специфических фрагментов нуклеиновых кислот, абсолютное или относительное. Точность данных измерений часто является критическим фактором при постановке диагноза и назначении адекватной терапии [2].

Определение последовательности нуклеиновых кислот (секвенирование) необходимо для выявления мутаций, генетических отклонений. Данный метод исследования качественного свойства — последовательности — может быть охарактеризован количественно, с помощью определения вероятности и частоты ошибок прочтения [3]. В мировой практике используются стандартные образцы ДНК, охарактеризованные по последовательности нуклеотидов, для

присвоения метрологических характеристик существующим устройствам для секвенирования [4].

Измерения таких характеристик нуклеиновых кислот, как число копий, концентрация копий и отношения числа копий, производится в подавляющем большинстве случаев с использованием методов на основе полимеразной цепной реакции (ПЦР) [5]. В рутинной практике используется ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ) — метод, позволяющий измерить содержание специфического фрагмента ДНК в исследуемой пробе относительно образца сравнения [6]. Обычно в качестве таких образцов выступают калибраторы, предоставляемые производителем тест-систем. В связи с отсутствием в России государственного эталона, к которому могли бы проследиваться образцы нуклеиновых кислот, подобные калибраторы или прослеживаются к эталонам зарубежных государств, или вообще не обеспечивают метрологической прослеживаемости приписанных им значений к государственным эталонам. Это приводит к тому, что результаты измерений, выполненных в разных лабораториях с использованием разных наборов, могут быть несопоставимы между собой.

Широкий круг задач, решаемых с помощью измерений ДНК, требует создания большого числа стандартных образцов, аттестованных как по последовательности нуклеотидов, так и по содержанию специфических фрагментов ДНК [7, 8]. В настоящее время мы проводим работы по созданию Государственного первичного эталона единицы числа копий последовательности ДНК, в состав которого входит в том числе генетический анализатор, позволяющий определять последовательность ДНК. Создание ГПЭ позволит установить прослеживаемость измерений, выполняемых в лабораторной диагностике с использованием аттестованных методик измерений ДНК и стандартных образцов концентрации копий последовательностей ДНК.

## Литература

1. Heilek G. Nucleic Acids — The Use of Nucleic Acid Testing in Molecular Diagnostics // InTech. 2016. doi: 10.5772/61487.
2. Pavšič J., Devonshire A. S., Parkes H. et al. Standardization of Nucleic Acid Tests for Clinical Measurements of Bacteria and Viruses // J. Clin. Microbiol. 2015 Jul; 53(7). P. 2008–2014. doi: 10.1128/JCM.02136-14.

3. Guo Y., Ye F., Sheng Q. et al. Three-stage quality control strategies for DNA re-sequencing data // *Brief Bioinform.* 2014 Nov; 15(6). P. 879–889. doi: 10.1093/bib/bbt069.
4. Zook J., Catoe D., McDaniel J. et al. Extensive sequencing of seven human genomes to characterize benchmark reference materials // *Sci Data* 3, 160025 (2016). doi: 10.1038/sdata.2016.25.
5. Garibyan L., Avashia N. Polymerase chain reaction // *J. Invest Dermatol.* 2013 Mar; 133(3). P. 1–4. doi: 10.1038/jid.2013.1.
6. Larionov A., Krause A., Miller W. A standard curve based method for relative real time PCR data processing // *BMC Bioinformatics* 6, 62 (2005). doi: 10.1186/1471-2105-6-62.
7. Jing R., Wang H., Ju S., Cui M. Reference materials for molecular diagnostics: Current achievements and future strategies // *Clinical Biochemistry.* Vol. 56 (2018). P. 11–17. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2018.04.015.
8. Вонский М. С., Рунов А. Л., Горячая Т. С. и др. Молекулярная диагностика онкологических заболеваний: перспективы разработки стандартного образца содержания гена HER2 // *Эталоны. Стандартные образцы.* 2023. № 19(2). С. 5–17. doi: 10.20915/2077-1177-2023-19-2-5-17.

# СПОСОБ ОБОГРЕВА ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В. А. Седов, инженер-химик 1 категории<sup>1</sup>, аспирант<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0003-3897-8779, e-mail: airbox200@gmail.com

## *Аннотация*

*Разработан способ неэлектрического обогрева природного газа при редуцировании, позволяющий скомпенсировать охлаждение среды, и устройство для его осуществления. Группа изобретений направлена на повышение достоверности испытаний природного газа при прямом отборе проб природного газа, ее применение обеспечивает повышение фазовой стабильности пробы за счет использования тепла от реакции гидролиза. Разработка востребована по причине отсутствия аналогов, выполненных в мобильном исполнении.*

**Ключевые слова:** *обогрев, отбор проб, пробоотборное оборудование, природный газ, эффект Джоуля–Томсона*

До настоящего момента для отечественной газовой промышленности проблема нейтрализации конденсационных процессов, вызываемых эффектом Джоуля–Томсона, оставалась нерешенной [1–3]. Для решения этой проблемы в рамках работы были разработаны «Способ обогрева природного газа при редуцировании и устройство для его осуществления». Особенно остро необходимость нейтрализации конденсационных процессов проявляет себя при проведении прямого отбора проб [4] для дальнейших испытаний природного газа по показателю «Температура точки росы (ТТР)». Тенденция к обязательному обеспечению обогрева природного газа при редуцировании в целях сохранения представительности пробы прослеживается в выпускаемых и разрабатываемых в последнее десятилетие стандартах по контролю качества природного газа [5–7]. Так, в ГОСТ 20060-2021 «Газ природный. Определение температуры точки росы по воде (ТТРв)» при давлении исследуемого газа ниже его давления в точке отбора пробы необходимо обогреваемое редуцирование газа. В то же время на отечественном рынке отсутствуют готовые мобильные решения

для редуцирования природного газа, включающие обогреваемую газовую линию и редуктор. Таким образом, редуцирование давления газа для измерения ТТРв становится актуальным техническим вопросом.

Целью работы стало создание системы, обеспечивающей нагрев природного газа перед редуцированием и самого регулятора давления при отборе проб природного газа в анализатор точки росы. На данный момент идет опытная эксплуатация нескольких моделей устройства. На основе материалов работы ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» был получен патент на изобретение № 2756829 «Способ обогрева природного газа при редуцировании и устройство для его осуществления».

Принцип работы разработанной системы заключается в следующем:

1. В медный стакан (реактор) засыпается смесь реагентов [8] и заливается вода, после чего начинается химическая реакция с выделением тепла. Температура реактора контролируется с помощью биметаллического термометра.

2. Снаружи к реактору плотно прижимается регулятор давления, который позволяет редуцировать выходное давление газа. Регулятор подогревается за счет теплоотдачи от медной стенки реактора.

3. Газ перед попаданием в редуктор и после выхода из него проходит по спиральным теплообменникам (змеевикам из нержавеющей стали), находящимся в обогреваемой зоне реактора.

4. Редуцированный и дополнительно подогретый газ подается непосредственно в анализатор ТТР «Hygrovision», который устанавливается рядом с системой редуцирования.

5. На выходе предусмотрен отсекаемый вентилем манометр, который также обогревается теплом реактора.

Общий вид устройства представлен на рисунке 1.

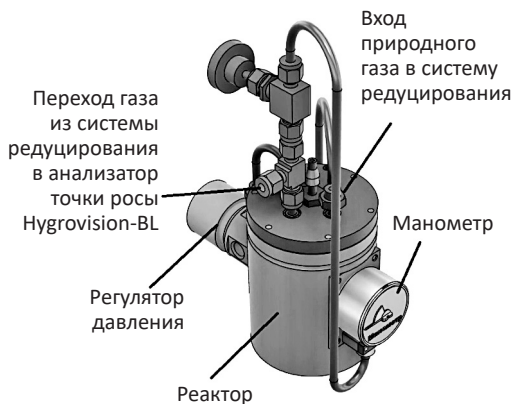


Рис. 1. Обогреваемый редуктор для определения ТТРв газа непосредственно при контрактном давлении

В заключение можно отметить, что востребованность подобных систем и экономический эффект от внедрения каждого экземпляра устройства, превышающий миллион рублей, дают огромный стимул для тиражирования разработки на объектах ПАО Газпром.

### Литература

1. Истомин В. А., Квон В. Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах сбора и промышленной обработки газа и нефти. М.: ВНИИЭгазпромм 1990. 214 с.

2. Москалев И. Н., Битюков В. С., Филоненко А. С. и др. Влагометрия природного газа: Состояние проблемы. М.: ИРЦ Газпром, 1999. 36 с.

3. Мурын В. И., Клишин Г. С., Бахметьев П. И. Метрологическое обеспечение измерения влажности природного газа. М.: ИРЦ Газпром, 1998. 23 с.

4. ГОСТ 31370-2008. Газ природный. Руководство по отбору проб. М.: Стандартиформ, 2009. 42 с.

5. СТО Газпром 5.53-2015. Газ горючий природный. Определение температуры точки росы по воде. Организация системы отбора проб при высоком содержании тяжелых углеводородов. СПб.: Газпром экспо, 2017. 25 с.

6. СТО Газпром 5.52-2015. Газ горючий природный. Измерение температуры точки росы по углеводородам при давлениях ниже давления в газопроводе. СПб.: Газпром экспо, 2017. 18 с.

7. ГОСТ 20060-2021. Газ природный. Определение температуры точки росы по воде. М.: Стандартиформ, 2021. 16 с.

8. Патент RU2330868С2. Порошковая смесь для осуществления экзотермической реакции / Петунин Д. В., Дружков А. В.; Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная компания «Средства охраны труда» (ООО НПК «СОТА»). № 2006129036/04; опубл. 10.08.08, Бюл. № 22. 11 с.

9. Патент RU2756829С1. Способ обогрева природного газа при редуцировании и устройство для его осуществления / Карусевич А. В., Седов В. А., Чихичина Е. П.; ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород». № 2021106724; заявл. 15.03.21; опубл. 06.10.21, Бюл. № 28. 14 с.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЕЙТРОННОМ ДИФРАКТОМЕТРЕ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ Д-7А

Е. А. Кузнецова<sup>1</sup>, М. А. Сёмкин<sup>1,2</sup>, И. Ф. Бергер<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета (ИЕНиМ УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения РАН (ИФМ УрО РАН), Екатеринбург, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0003-4155-2998, e-mail: semkin@imp.uran.ru

## *Аннотация*

*В работе рассмотрены особенности метрологического обеспечения измерений на нейтронном дифрактометре высокого разрешения Д-7а, входящего в состав Нейтронного материаловедческого комплекса ИФМ УрО РАН. Приведено описание разрешающей способности установки Д-7а, даны оценки составляющих погрешности результата измерений, ее методической составляющей и результатов обработки полнопрофильным методом Ритвельда экспериментальных данных в пакете программ FullProf Suite.*

**Ключевые слова:** *диоксид церия, информационные данные, кристаллическая структура, метрологическое обеспечение, нейтронография, порошковый дифрактометр, стандартный образец, функция разрешения*

Метрологическое обеспечение является неотъемлемой частью наукоемких измерений [1]. Например, дифракционные измерения включают набор прецизионного оборудования, комплексных методик, стандартных образцов свойств веществ и материалов, специальных требований и контроля условий их выполнения. В нашей работы мы постараемся дать описание основных проблем метрологического обеспечения рентгено- и нейтрон-дифракционных экспериментов, включая краткие рекомендации и пути их решения, приведем описание функции разрешающей способности дифрактометра Д-7а и оценки составляющих погрешности результата измерений и обработки (расчета) данных. Установка Д-7а входит в состав Нейтронного материаловедческого комплекса ИФМ УрО РАН [2] и размещается на одном из горизонтальных экспериментальных каналов Исследовательского водо-водяного реактора (ИВВ-2М реактор) в г. Заречный.



Нейтронный дифрактометр высокого разрешения Д-7а предназначен для измерений параметров кристаллической и магнитной структур, фазового состава поликристаллических веществ и материалов. Отметим, что нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов, а не с электронными оболочками, как рентгеновские лучи [3], сечения рассеяния нейтронов на изотопах могут существенно отличаться [4], что позволяет легко различать соседние элементы, что является большим преимуществом перед методом рентгеновского рассеяния. Также наличие магнитного момента у нейтронов позволяет изучать магнитную структуру материалов. Комплексный подход к контролю выполнения рентгено- и нейтрон-дифракционных экспериментов и заключается в точном определении уровня измерительных возможностей установок, чувствительности метода и т. п.

Юстировка установки Д-7а (уточнение рабочей длины волны нейтронов и оценка разрешающей способности дифрактометра) выполнена с применением стандартного образца предприятия (СОП) параметров кристаллической структуры диоксида церия [5]. Обработка экспериментальной нейтронограммы  $\text{CeO}_2$  выполнена полнопрофильным методом Ритвельда в пакете программ FullProf Suite [6]. Кристаллическая структура  $\text{CeO}_2$  описывается в рамках гранецентрированной кубической пространственной группы  $Fm\bar{3}m$ , ионы  $\text{Ce}^{4+}$  занимают позицию  $4a$  с координатами: (0, 0, 0); ионы  $\text{O}^{2-}$  —  $8c$ : (1/4, 1/4, 1/4); аттестованное значение параметра элементарной ячейки СОП составляет величину  $a_{\text{СОП}} = (0,54129 \pm 0,00025)$  нм, которая в пределах погрешности измерений совпадает с известными в литературе: по базе данных кристаллических структур американских минералогов  $a_{\text{CSD}} = (0,54110 \pm 0,00005)$  нм [7] и/или для стандартного референтного материала (SRM) Национального института стандартов и технологий (NIST) —  $a_{\text{SRM}} = (0,5415260 \pm 0,0000005)$  нм [8].

На рисунке 1 (сверху) приведена нейтронограмма стандартного образца  $\text{CeO}_2$ , полученная при комнатной температуре в интервале углов рассеяния ( $2\Theta$ ) от  $25,0^\circ$  до  $110,0^\circ$  и с шагом  $0,1^\circ$ , факторы расхождения при обработке методом Ритвельда данных: описания профиля  $R_f = 0,6\%$ , положения рефлексов  $R_{\text{Br}} = 1,1\%$  и суммарный фактор  $\chi^2 = 5,9\%$ .

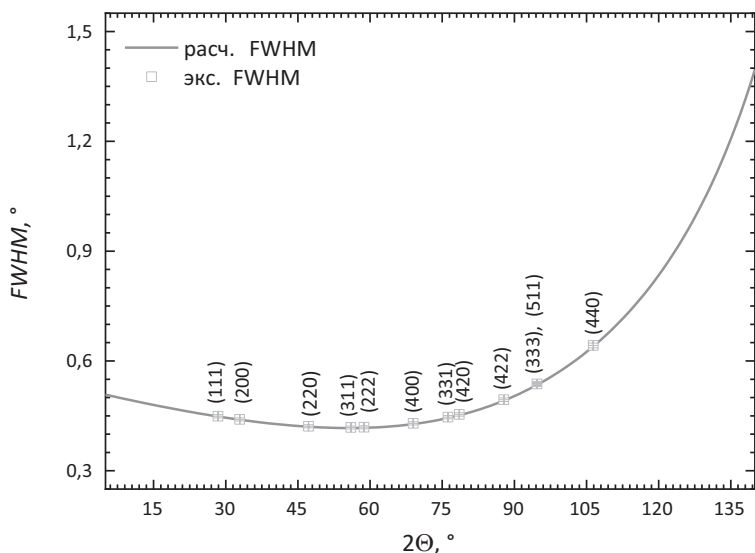
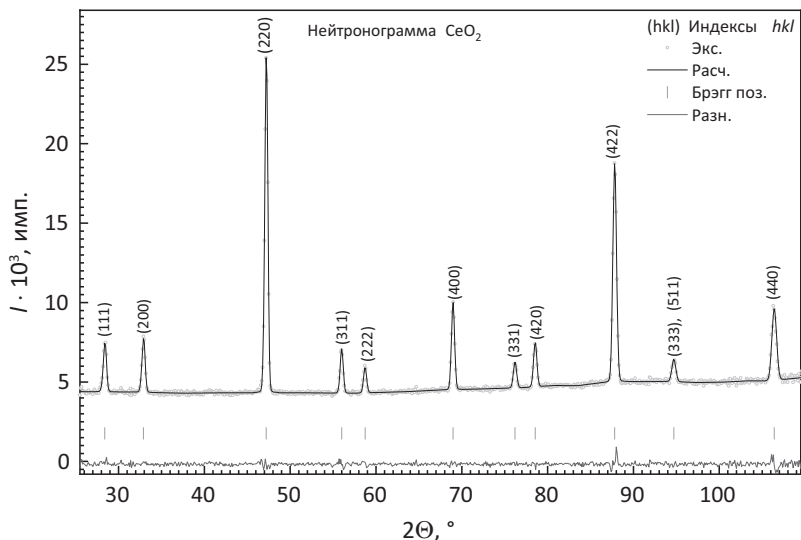


Рис. 1. Сверху: нейтронограмма расчетная в программе FullProf Suite (сплошная линия) и экспериментальная измеренная на дифрактометре Д-7а (точки) стандартного образца  $\text{CeO}_2$ , разностная кривая (линия внизу), положение брэгговских рефлексов (вертикальные штрихи) и в скобках их индексы. Снизу: зависимость экспериментальная (точки) и расчетная (линия) полуширины рефлексов, оцененная по нейтронограмме стандартного образца  $\text{CeO}_2$  в зависимости от угла  $2\Theta$  (функция разрешения Д-7а)

В результате расчетов уточнены значение рабочей длины волны нейтронов и полуширинные параметры функции разрешающей способности (функции Каглиоти) установки Д-7а:

$$\lambda_{\text{Д-7а}} = (0,1532 \pm 0,0020) \text{ нм}; U_{\text{Д-7а}} = (0,36 \pm 0,04)^{\circ 2}; \\ V_{\text{Д-7а}} = -(0,38 \pm 0,05)^{\circ 2}; W_{\text{Д-7а}} = (0,274 \pm 0,017)^{\circ 2}.$$

Функция Каглиоти описывается следующей аналитической формулой:

$$FWHM^2 = U \cdot \text{tg}(\Theta)^2 + V \cdot \text{tg}(\Theta) + W, \quad (1)$$

где величина  $FWHM$  и представляет собой ширину рефлексов, измеренную на половине высоты пика дифрактограммы. На рисунке 1 (снизу) приведена полученная зависимость функции Каглиоти нейтронного дифрактометра высокого разрешения Д-7а, что формирует один из базисов его метрологических характеристик. Полученные аналитические данные функции разрешения хорошо согласуются со значениями величины полуширины брэгговских рефлексов экспериментальной нейтронограммы  $\text{CeO}_2$ . Видно, что наилучшее разрешение установки  $FWHM \leq 0,5^\circ$  сохраняется до углов  $2\Theta$  меньше  $100,0^\circ$ , что соответствует классификации дифрактометров высокого разрешения.

*Результаты исследований выполнены в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «ПОТОК», № 122021000031-8).*

## Литература

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (Российская газета, № 140, 02.07.2008) «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями на 11 июня 2021 г.) (редакция, действующая с 28 декабря 2021 г.).
2. Нейтронный материаловедческий комплекс Института физики металлов УрО РАН на реакторе ИВВ-2М (НМК ИФМ) // Институт физики металлов: сайт. URL: <https://www.imp.uran.ru/?q=ru/content/neutronnyu-materialovedcheskiy-kompleks-instituta-fiziki-metallov-uro-ran> (дата обращения: 28.04.2023).
3. Пирогов А. Н., Сёмкин М. А. Структурная и магнитная нейтронография: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. 171 с., ил.
4. Dawidowski J., Granada J. R., Santisteban J. R. et al. Neutron Scattering Lengths and Cross Sections // Neutron Scattering — Fundamentals. 2013. P. 471–528. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-398374-9.09989-7>.
5. Кузнецова Е. А., Бергер И. Ф., Пирогов А. Н., Сёмкин М. А. Стандартный образец параметров кристаллической структуры диоксида

церия // XXXIII Российская молодежная научная конференция с международным участием «Проблемы теоретической и экспериментальной химии» (Екатеринбург, 24–27 апреля 2023): тезисы докладов. Екатеринбург, 2023. С. 259.

6. FullProf Suite // Institut Laue-Langevin: сайт. URL: <https://www.ill.eu/sites/fullprof/> (дата обращения: 28.04.2023).

7. Downs R. T., Hall-Wallace M. The American Mineralogist Crystal Structure Database // American Mineralogist. 2003. Vol. 88. P. 247–250.

8. SRM674b; X-Ray Powder Diffraction Intensity Set (Quantitative Powder Diffraction Standard; National Institute of Standards and Technology; U. S. Materials Measurement Science Division: Gaithersburg, MD (2017).

# РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ОКАЗЫВАЕМЫХ УСЛУГ (ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ)

В. В. Сеница

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. Б. А. Дубовикова в Саратовской области» (ФБУ «Саратовский ЦСМ им. Б. А. Дубовикова»), г. Саратов, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0003-1105-7937, e-mail: siniviki@mail.ru

## Аннотация

*Стандартизация в сфере услуг населению является составной частью системы стандартизации в Российской Федерации и эффективным инструментом организации и становления сферы услуг и регулирования рынка в этой области.*

**Ключевые слова:** стандартизация, управление качеством, оказание услуг, выполнение работ

В современном мире сфера оказания услуг стала занимать лидирующие места в экономической и общественной жизни. Сегодня в России доля занятых в сфере услуг уже превышает треть всех занятых в экономике, и тенденция на дальнейший рост ощутима. Это связано с развитием технологий, модернизацией производства и наступлением эры глобальной экономической модели. В настоящее время традиционные виды услуг органично дополняются новыми [1].

Стандартизация в сфере услуг населению является составной частью системы стандартизации в Российской Федерации и эффективным инструментом организации и становления сферы услуг и регулирования рынка в этой области. Необходимо отметить, что она имеет специфические особенности, требующие особых подходов при нормировании [2].

Важным аспектом при осуществлении услуг служит качество предоставляемых услуг. Формирование культуры обслуживания происходит в несколько этапов и включает в себя ряд характерных признаков и показателей:

- безопасность осуществления услуг;
- экологическая безопасность;
- комфортность помещения, где происходит процесс обслуживания клиента;
- этика общения с потребителем и др. [3].

Целями стандартизации являются создание у потребителей ориентиров для определения качества услуг с целью их сознательного выбора, способствование максимальному удовлетворению потребностей населения в услугах и повышение доступности услуг для широкого круга потребителей, повышение качества оказания и конкурентоспособности услуг [2, 4].

Данные цели на сегодняшний день достигаются путем реализации следующих основных задач:

- внедрения передовых технологий в сфере услуг;
- повышения уровня безопасности жизни и здоровья населения;
- предупреждения действий, вводящих потребителей в заблуждение;
- унификации документов и формирования единого технического языка путем установления терминов и определений основных понятий, применяемых в сфере услуг населению [5].

Документы по стандартизации в сфере услуг населению, в том числе национальные и предварительные стандарты, применяют в соответствии с [5] на добровольной основе [2].

Применение документов по стандартизации является обязательным для исполнителя услуг в случае, если:

- исполнитель услуг (сервисная организация или предприятие) на добровольных началах публично заявляет о соответствии услуги национальному стандарту, использует обозначение стандарта и знак соответствия национальному стандарту и/или заявляет об этом в рекламных материалах;
- федеральные органы исполнительной власти в нормативных правовых актах приводят ссылки на конкретные стандарты добровольного применения или на отдельные разделы стандартов;
- оказываемая услуга или продукция, изготовленная по национальному стандарту добровольного применения, поставляется по контракту для государственных нужд согласно [6];
- исполнитель услуг по собственной инициативе прошел процедуру сертификации оказываемых услуг в системе добровольной сертификации на соответствие требованиям национальных стандартов в сфере услуг населению [2].

Роль стандартов в свете Федерального закона «О техническом регулировании» не ограничивается одним только формированием доказательной базы соблюдения требований технических регламен-

тов [7]. Приоритетной целью стандартизации, как и ранее, является повышение конкурентоспособности организаций, а следовательно, качества предоставляемых услуг, работ, продукции [8].

### Литература

1. Пастухов А. Л. Ускорение развития сферы услуг как необходимое условие модернизации экономики // ТТПС. 2012. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uskorenie-razvitiya-sfery-uslug-kak-neobhodimoe-uslovie-modernizatsii-ekonomiki>.

2. ГОСТ Р 59363-2021. Услуги населению. Стандартизация в сфере услуг населению. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2021.

3. Закон РФ от 07.02.1992 № 2300-1 (ред. от 05.12.2022) «О защите прав потребителей»

4. Кудрявцева Е. П. Ориентация на удовлетворение потребностей потребителей как связующее звено функций маркетинга и международных стандартов управления качеством iso серии 9000:2008 // *Ars Administrandi*. 2010. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/orientatsiya-na-udovletvorenie-potrebnostey-potrebiteley-kak-svyazuyushee-zveno-funktsiy-marketinga-i-mezhdunarodnyh-standartov>.

5. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 30.12.2020) «О стандартизации в Российской Федерации».

6. Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

7. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ (последняя редакция).

8. Жёлтышева И. Н., Паткова А. Е., Большакова Е. Н. Роль стандартизации в современных условиях // *Материалы V Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»* URL: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013007579>.

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕРМОПАРОЙ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Г. С. Слепынский

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: sgs@vniim.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы применения дифференциальных термопар в качестве датчиков температуры для измерений температуры воздуха в испытательном оборудовании. Проведено экспериментальное определение температуры дифференциальной термопарой в широком диапазоне температур. Проведена оценка результатов измерений температуры. Подчеркнуты преимущества и актуальность применения дифференциальных термопар в качестве датчиков температуры в сравнении с существующими на рынке датчиками.*

**Ключевые слова:** *дифференциальная термопара, испытательное оборудование, температура воздуха, испытания продукции, многоканальные измерители температуры*

В настоящее время для проверки технических характеристик (ТХ) испытательного оборудования (ИО) применяются термометры сопротивления и термопары. Как правило, термометры сопротивления применяют для измерения температуры в ИО в диапазоне от  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а термопары — от  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. Исходя из опыта проведения работ по аттестации ИО [1], одной из актуальных задач является разработка комплекта средств измерений (СИ) (датчики температуры + вторичный измеритель) для измерения температуры воздуха в широком диапазоне с требуемой точностью и применением одного комплекта датчиков температуры. Решение данной задачи позволит существенно сэкономить при выборе СИ для аттестации ИО, особенно крупногабаритного ИО, так как на сегодняшний день для проверки ТХ и аттестации ИО в диапазоне от  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2] применяются дорогостоящие многоканальные измерители температуры в комплекте с термометрами сопротивления и термопарами.



Для решения вышеуказанной задачи возможно применение в качестве датчиков температуры дифференциальных термопар (ДТ).

Для эксперимента по измерению температуры ДТ использовались жидкостные термостаты, эталонные термометры (ЭТ), милливольтметр. Также была изготовлена ДТ типа «хромель-копель». Выбор данного типа термопары обусловлен их высокой чувствительностью (80 мкВ) при невысоких температурах [3], а также низкой стоимостью.

Целью эксперимента являлось определение разности показаний температуры в термостатах  $\Delta(t_1 - t_2)$  при помощи ДТ и 2 ЭТ с последующим сравнением показаний. Принцип действия ДТ основан на зависимости величины термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) от разницы температур спаев. Если один из спаев ДТ поместить в объем, находящийся при определенной фиксированной температуре, а второй — в объем, температуру которого надо определить, то по величине измеренной ТЭДС можно определить неизвестную температуру [4].

В результате эксперимента было установлено, что отклонение показаний между дифференциальной термопарой и эталонными датчиками температуры составляет не более 0,3 °С в диапазоне температур от -55 °С до +100 °С. В таблице 1 представлены результаты измерений температуры в термостатах. В таблице 2 приведена оценка ожидаемой погрешности измерений температуры.

**Таблица 1. Результаты измерений разности температуры жидкости в термостатах**

Серия измерений	$t$ , °С	$t_1$ , °С	$t_1$ , мВ	$t_2$ , °С	$t_2$ , мВ	ДТ, мВ	$\Delta(t_1 - t_2)$ , мВ	ДТ- $\Delta(t_1 - t_2)$ , мВ	ДТ- $\Delta(t_1 - t_2)$ , °С
1	-55	-55,9	-3,337	-56,50	3,370	-0,045	-0,033	-0,012	-0,19
2	+20	19,50	1,254	50,04	3,309	2,055	-2,047	0,008	0,13
3	+40	11,30	0,723	38,40	2,515	1,786	-1,792	0,006	0,10
4	+50	19,46	1,254	50,04	3,309	2,039	-2,055	0,016	0,26
5	+100	100,00	6,862	96,27	6,589	0,267	0,273	-0,006	-0,10

**Таблица 2. Ожидаемая погрешность измерений температуры**

Бюджет погрешности	
СКО	0,06 К
Эталонный термометр	0,02 К
Нестабильность термостата	0,01 К
Неравномерность в термостате	0,01 К
Неоднородность термоэлектродов	0,05 К
Электроизмерительный прибор	0,15 К
<b><math>\Sigma\Delta</math></b>	<b>0,2 К</b>

Анализ полученных результатов свидетельствует о совпадении показаний ЭТ и ДТ в пределах  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  с ожидаемой погрешностью измерений  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это подтверждает возможность применения ДТ для измерений температуры воздуха в ИО в диапазоне от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , допустимое отклонение в котором составляет не более  $\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2]. Дальнейшие работы предполагают расширение диапазона исследований ДТ при измерениях температур от  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Литература

1. ГОСТ Р 8.568-2017. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. М.: Стандартиформ, 2018. 11 с.
2. ГОСТ Р 53618-2009 (МЭК 60068-3-5:2001). Требования к характеристикам камер для испытаний технических изделий на стойкость к внешним воздействующим факторам. Методы аттестации камер (без загрузки) для испытаний на стойкость к воздействию температуры. М.: Стандартиформ, 2011. 21 с.
3. ГОСТ Р 8.585-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. М.: Стандартиформ, 2010. 77 с.
4. Слепынский Г. С., Фуксов В. М. Применение дифференциальных термопар для измерений температуры воздуха в испытательном оборудовании // Мир измерений. 2022. С 58–61.

## МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ ПРИ ГЕНЕРАЛЬНОМ ДИРЕКТОРЕ ФГУП «ВНИИМ ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА» — ИСТОРИЯ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А. Ю. Смирнова, А. А. Неклюдова, П. К. Сергеев,  
А. И. Анцукова, А. А. Тумилович, А. А. Пименова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: mscon@vniim.ru

### **Аннотация**

*В работе рассмотрены история, структура, основные направления деятельности Молодежного совета при генеральном директоре ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» и ее результаты.*

**Ключевые слова:** *культура, молодежь, молодежный совет, молодежная политика*

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (далее — ВНИИМ, Предприятие) сегодня — один из крупнейших мировых центров научной и практической метрологии, головная организация страны по фундаментальным исследованиям в метрологии, Главный центр государственных эталонов России. Руководство ВНИИМ четко следует молодежной политике в области науки как подсистеме кадровой политики, которая регулирует непрерывное пополнение научной сферы молодыми специалистами, создает благоприятные условия раскрытия их творческого потенциала, профессиональной самореализации и роста научной квалификации.

Первое упоминание об активной деятельности Совета молодых специалистов ВНИИМ (далее — Совет) следует относить к 1960-м годам, так как после вступления в должность директора Валентина Осиповича Арутюнова начался приток молодых специалистов разного профиля. В период с 1963 по 1965 г. возглавлял Совет Илья Наумович Долицкий. При нем во ВНИИМ зародились первые экскурсии по эталонам, лекции по общим вопросам метрологии, организация молодежных конференций и предметных дискуссий.

Возобновление активной работы Совета началось в 2017 г., когда под председательством руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии был создан новый экспер-

тно-совещательный орган ведомственной системы, в состав которого вошли представители подведомственных организаций, в том числе ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

В это же время был создан Совет молодых ученых и специалистов при директоре ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», основной задачей которого являлось содействие профессиональному росту молодых ученых и специалистов и закреплению их в науке и на Предприятии.

В 2020 г. произошла реорганизация Совета в связи с объединением метрологических институтов — присоединением к ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» двух филиалов: УНИИМ (Екатеринбург) и ВНИИР (Казань). В состав Совета, который приобрел обновленное название «Молодежный совет при генеральном директоре ФГУП “ВНИИМ им. Д. И. Менделеева”» (далее — МС ВНИИМ), вошли также и рабочие группы филиалов. Каждая рабочая группа создана на основании приказа, имеет руководителя и работает на основании положения о ней, которое было создано в развитие Положения о МС ВНИИМ. В состав МС ВНИИМ на сегодняшний день входят около 30% от общего количества человек, работающих на Предприятии.

В 2022 г. представители МС ВНИИМ вошли в состав Совета молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта».

Координационный Совет молодежных организаций федеральных органов исполнительной власти, Комитет по молодежной политике Санкт-Петербурга, Совет работающей молодежи Санкт-Петербурга, Союз молодых инженеров России, Метрологический образовательный кластер — далеко не весь перечень молодежных организаций, с кем активно взаимодействует МС ВНИИМ.

Основной целью деятельности МС ВНИИМ является выработка основных направлений молодежной политики ВНИИМ, поддержание научной преемственности и содействие развитию научных направлений.

МС ВНИИМ впервые в 2021 г. стал идеологом и организатором молодежной конференции «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» [1]. Сегодня «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» — это мощная платформа для обмена профессиональным опытом между молодыми учеными и специалистами сферы обеспечения единства измерений, которая поддержана Росстандартом как мероприятие системы во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 25.04.2022 № 231 «Об объявлении в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий» [2].

Представители МС ВНИИМ являются активными участниками конкурсов Росмолодежи, премий Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся научные результаты в области науки и техники, принимают участие в организации и проведении Международного форума по стандартизации, мероприятиях Союза молодых инженеров России и пр.

Уже традиционными мероприятиями, которые организывают представители МС ВНИИМ, стали: конкурс «Лучший молодой метролог ВНИИМ», Киберспортивный чемпионат для работников ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», научно-практические семинары и тренинги в рамках ежегодных выездов МС ВНИИМ.

В 2021 г. МС ВНИИМ стал победителем конкурса на лучшую организацию работы с молодежью на предприятиях и в организациях Санкт-Петербурга в номинации «Деятельность советов молодых ученых и специалистов». Конкурс проводился в шестой раз Региональной общественной организацией «Совет работающей молодежи Санкт-Петербурга» при поддержке Комитета по молодежной политике и взаимодействию с общественными организациями Правительства Санкт-Петербурга [3].

Молодежный совет ВНИИМ — это место, где собирается самая активная, творческая и целеустремленная молодежь. Молодые ученые и специалисты являются движущей силой перемен, и именно им доверена задача раскрыть свой собственный потенциал и дать новый импульс развитию технологического и научного мира.

## Литература

1. II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» [Электронный ресурс] // ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». URL: <https://mscon.vniim.ru/conf.html/> (дата обращения: 26.04.2023).
2. Федеральное агенство по техническому регулированию и метрологии [Электронный ресурс] // Росстандарт. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/> (дата обращения: 26.04.2023).
3. Молодежный совет ВНИИМ им. Д. И. Менделеева [Электронный ресурс] // ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». URL: <https://vk.com/mcvniim/> (дата обращения: 26.04.2023).

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АТТЕСТАЦИИ ЭТАЛОНОВ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ И РАЗНОСТИ ДАВЛЕНИЙ

В. И. Соловьев

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ»), г. Самара, Российская Федерация  
E-mail: Solovyov.vyacheslaw@yandex.ru

## *Аннотация*

*В статье рассматриваются вопросы, возникающие при невозможности поверки средств измерений и дальнейшей их аттестации.*

**Ключевые слова:** *избыточное давление, разность давлений, поверка, аттестация, датчик давления, калибратор давления пневматический*

В ФБУ «СамЦСМ» поверяется множество различных средств измерений (далее — СИ) давлений, применяемых в качестве эталонов. Поверку некоторых средств измерений провести не представляется возможным в связи с тем, что в информационном фонде ФГИС «Аршин» отсутствует описание типа либо методика поверки на тот или иной прибор. Завод-изготовитель также не может предоставить необходимые документы, так как завода уже, как правило, не существует, а у испытательной лаборатории отсутствует запрашиваемая информация.

В качестве первого примера описанной выше ситуации рассмотрим датчики избыточного давления «Воздух» под номером Госреестра № 10610-86 и 10610-00.

После того как средство измерения поступает в лабораторию на поверку, проводится его идентификация и поиск описания типа и методики поверки в Федеральном информационном фонде ФГИС «Аршин».

Для датчиков избыточного давления «Воздух» под номерами Госреестра № 10610-86 и № 10610-00 искомая информация в ФГИС «Аршин» отсутствует.

При обращении к локальной информационно-аналитической системе «Госреестр» СамЦСМ для датчика избыточного давления «Воздух» № 10610-86 в описании типа обнаруживается первое несоответствие номера Госреестра (указан № 10610-85). Второе несоответ-

ствие связано с методическими указаниями: в описании типа указана методика МИ 603-84, которая отсутствует в любых официальных источниках. По описанным выше причинам поверка задатчиков избыточного давления № 10610-86 невозможна, в связи с чем в качестве альтернативного варианта предлагается проведение аттестации [2].

Что касается задатчика избыточного давления «Воздух» № 10610-00, то в описании типа на данный прибор указана методика МИ 604-93, которая также отсутствует во всех официальных источниках. В информационно-аналитической системе «Госреестр» СамЦСМ имеется методика МИ 604-96 [7]. Для возможности проведения поверки по методике МИ 604-96 было отправлено обращение в ВНИИМС по данному вопросу. В ответ на обращение ВНИИМС подтвердил, что взамен рекомендации МИ 604-93 действует документ МИ 604-96. Следовательно, поверка задатчика избыточного давления «Воздух» № 10610-00 должна осуществляться по МИ 604-96 (рис. 1).

Подобная ситуация возникает при поверке калибраторов давления пневматических Метран-504 и Метран-505, для которых в информационно-аналитической системе указаны номера Госреестра № 31057-09 и № 42701-09.

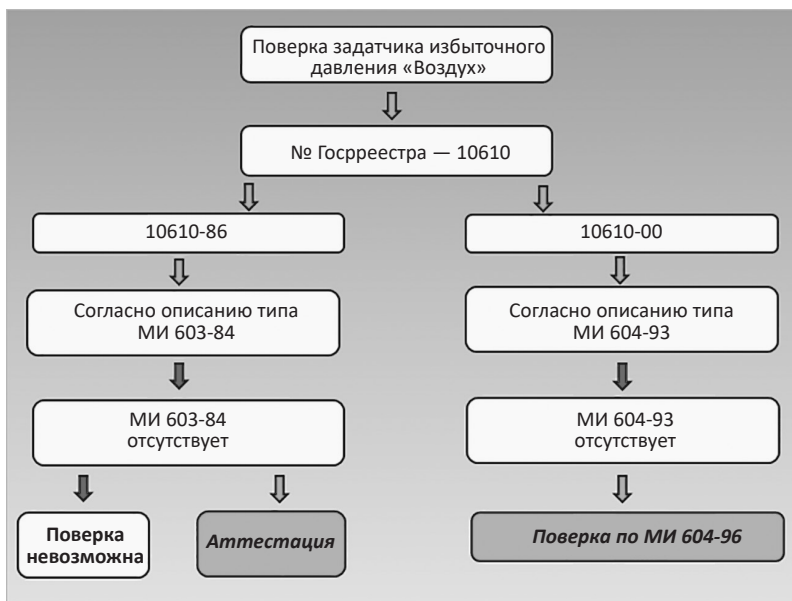


Рис. 1. Поверка задатчиков избыточного давления «Воздух»

Проблема возникает при поверке тех приборов, у которых, согласно паспортам, выпуск прибора датируется ранее, чем дата приказа об утверждении описания типа. Следовательно, поверять такие приборы также невозможно, но возможно провести аттестацию (рис. 2).

Процедура аттестации состоит из нескольких этапов [2, 6]:

1) Разработка методики аттестации на основании Приказа Минпромторга РФ от 11 февраля 2020 г. № 456 (первичная + периодическая).

2) Опробование методики аттестации (исследование метрологических характеристик эталона).

3) Оформление результатов аттестации эталона (оформление протокола аттестации).

Однако в ходе аттестации средств измерений в качестве эталонов могут возникнуть некоторые вопросы. Так, например, могут поменяться государственные поверочные схемы, из-за чего периодическая аттестация становится невозможной и приходится проводить первичную аттестацию эталона [1, 5]. Следующий вопрос касается определения межаттестационного интервала, т. к. в Приказе Минпромторга

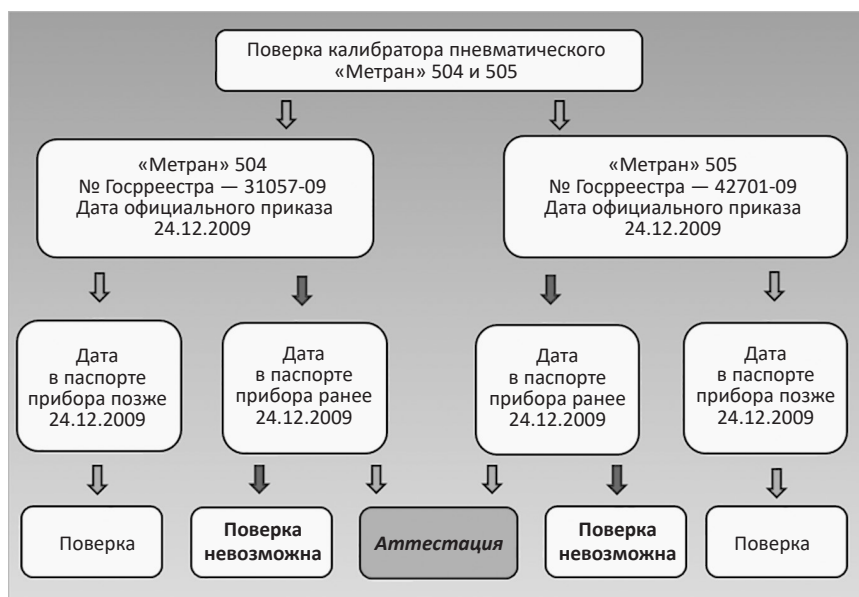


Рис. 2. Поверка калибратора пневматического «Метран»



от 11 февраля 2020 г. № 456 отсутствуют точные рекомендации по его установлению [2, 6].

В соответствии с Приказом Минпромторга РФ от 11 февраля 2020 г. № 456 в протокол аттестации эталона должна быть включена информация о прослеживаемости аттестуемого эталона к государственному первичному эталону [4, 5, 8].

Таким образом, сделан вывод о том, что если имеются недочеты в описаниях типа и методиках поверки и, как следствие, провести поверку СИ не представляется возможным, то в таком случае незаменима единственная возможная процедура — аттестация эталона.

## Литература

1. Приказ Росстандарта № 1339 от 29 июня 2018 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа». Приложение А.

2. Приказ Росстандарта № 456 от 11 февраля 2020 г. «Об утверждении требований к содержанию и построению государственных поверочных схем и локальных поверочных схем, в том числе к их разработке, утверждению и изменению, требований к оформлению материалов первичной аттестации и периодической аттестации эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, формы свидетельства об аттестации эталона единицы величины, требований к оформлению правил содержания и применения эталона единицы величины, формы извещения о непригодности эталона единицы величины к его применению».

3. Приказ Росстандарта № 1502 от 2 июля 2021 г. «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками средств измерений».

4. Приказ Росстандарта № 1904 от 31 августа 2021 г. «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений разности давлений до  $1 \times 10$  в ст. 5 Па».

5. Приказ Росстандарта № 2653 от 20 октября 2022 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа». Приложение А.

6. РМГ 74-2004. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.

7. МИ 604-96 ГСИ Задачкики давления типа «воздух».

8. ГОСТ 8.061-80. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Поверочные схемы. Содержание и построение.

# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ GD-СПЕКТРОМЕТРА ПО ВОДОРОДУ

А. А. Спиридонова<sup>1,2</sup>, В. Н. Кудияров<sup>1</sup>, Р. С. Лаптев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ), г. Томск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области» (ФБУ «Томский ЦСМ»), г. Томск, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-5679-4861, e-mail: aliona925@mail.ru

## **Аннотация**

*Для исследования распределения водорода в сплаве Zr-1Nb (сплав Э110) широко используется метод оптической эмиссионной спектроскопии в тлеющем разряде. Для качественного анализа необходимы стандартные образцы с известным содержанием водорода. В данной работе описывается приготовление стандартных образцов Zr + H с последующей градуировкой спектрометра эмиссионного тлеющего разряда с использованием полученных образцов.*

**Ключевые слова:** циркониевый сплав, водород, стандартный образец, калибровка, спектрометр эмиссионный тлеющего разряда

Циркониевые сплавы широко используются в качестве основного материала для оболочек твэлов в активных зонах тепловых реакторах [1]. Во время эксплуатации материал оболочки твэла постепенно разрушается под воздействием водорода [2, 3]. Проникновение и накопление водорода может вызвать образование хрупких гидридов, замедленное гидридное растрескивание и локальную пластичность, что приводит к разрушению материала [4–7]. Растворение водорода в металле характеризуется его неравномерным распределением от поверхности в глубину [8]. Поэтому очень важно проводить элементный анализ структуры материала и поверхностных слоев.

Как один из методов элементного анализа все большее значение в настоящее время приобретают тлеющие разряды в сочетании с оптико-эмиссионной спектроскопией [9–11]. Основными преимуществами оптической эмиссионной спектроскопии в тлеющем разряде (GDOES) являются возможность определения водорода и высокая скорость анализа. К сожалению, GDOES имеет ряд недостатков,

таких как серьезные требования к геометрической форме, размеру и электропроводимости образцов. В настоящее время отсутствуют стандартные образцы с высокими концентрациями водорода в циркониевом сплаве. В данной работе впервые выполнен метод создания стандартных образцов Zr-1Nb + H.

Для исследований были выбраны образцы сплава Zr-1Nb (сплав Э110) [12]. Гидрирование и гомогенизирующий отжиг проводили на автоматизированном комплексе Automated Complex Gas Reaction Controller по методу Сиверта [13]. Температура гидрирования и гомогенизирующего отжига составила  $T_h = 600$  °С, давление  $P_h = 0,66$  атм. Абсолютные концентрации водорода определяли плавлением в атмосфере инертного газа, объемным методом и рассчитывали по изменению массы.

Таким образом, в результате данной работы получен набор стандартных образцов Zr-1Nb + H, содержание водорода в которых находится в пределах 0,034–0,51 масс.% (табл. 1). Значения концентрации водорода, определенные весовым и объемным методом, хорошо коррелируют, но величина, определенная весовым методом, несколько выше из-за особенностей процедуры гидрирования. Поэтому для градуировки принималось значение концентрации, определяемое изменением веса.

**Таблица 1. Результаты определения концентрации водорода**

Образец	1	2	3	4	5	6	7
Концентрация водорода, масс.%	0,034 ± 0,002	0,069 ± 0,001	0,072 ± 0,001	0,129 ± 0,001	0,282 ± 0,001	0,302 ± 0,001	0,515 ± 0,001

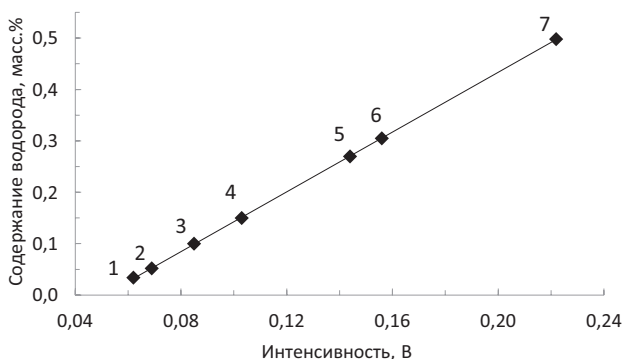


Рис. 1. Градуировочная кривая по водороду

Для градуировки использовался спектрометр эмиссионный тлеющего разряда GD Profiler2. В качестве оптимальных параметров анализа были выбраны мощность 35 Вт и давление 650 Па. Значение скорости напыления составило 4,67 мкм/мин.

Полученное содержание водорода имеет изменение концентрации от 0,034 до 0,498 масс.%. Эти значения практически совпадают с заявленными (табл. 1). Все точки лежат на прямой линии, последовательность образцов от наименьшей концентрации водорода (образец 1) к наибольшей (образец 7) соблюдается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» в рамках научного проекта № FSWW-2023-0005.

### Литература

1. Puls M. P. The effect of hydrogen and hydrides on the integrity of zirconium alloy components: delayed hydride cracking // Springer Science & Business Media. 2012.
2. Mardon J. P., Lesbros A., Bernaudat C., Waeckel N. Recent data on M5 (TM) alloy under RIA and LOCA conditions // In Proceedings of International Meeting on LWR Fuel Performance. 2004. P. 507–515.
3. Old S. J., Jang C., Kim J. H., Jeong Y. H. Microstructure and hydride embrittlement of zirconium model alloys containing niobium and tin // Materials Science and Engineering. 2011. Vol. 528(10). P. 3771–3776.
4. Olsson P. A. T., Kese K., Holston A. M. A. On the role of hydrogen filled vacancies on the embrittlement of zirconium: An ab initio investigation // Journal of Nuclear Materials. 2015. Vol. 467. P. 311–319.
5. Northwood D. O., Kosasih U. Hydrides and delayed hydrogen cracking in zirconium and its alloys // International Metals Reviews. 1983. Vol. 28(1). P. 92–121.
6. Myers S. M., Baskes M. I., Birnbaum H. K. et al. Hydrogen interactions with defects in crystalline solids // Reviews of Modern Physics. 1992. Vol. 64(2). P. 559–617.
7. Varvenne C., Mackain O., Proville L., Clouet E. Hydrogen and vacancy clustering in zirconium // Acta Materialia. 2016. Vol. 102. P. 56–69.
8. Lider A. M., Pushilina N. S., Kudiarov V. N., Kroening M. Investigation of hydrogen distribution from the surface to the depth in technically pure titanium alloy with the help of glow discharge optical emission spectroscopy // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 302. P. 92–96.
9. Sánchez P., Fernández B., Menéndez A. et al. Quantitative depth profile analysis of metallic coatings by pulsed radiofrequency glow discharge optical emission spectrometry // Analytica chimica acta. 2011. Vol. 684(1). P. 47–53.

10. Nelis Th., Payling R. Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy: A Practical Guide // RSC Analytical Spectroscopy Monographs. Cambridge (UK), 2003.
11. Marcus R. K., Broekaer J. A. C. Glow Discharge Plasmas in Analytical Spectroscopy // John Wiley & Sons Ltd., England, 2003.
12. Chepetsky Mechanical Plant, information about manufactured products,  $\Theta$ 110 alloy ingots: <http://www.chmz.net/en/product/zr/slitki/>.
13. Kudiiarov V. N., Lider A. M., Harchenko S. Y. Hydrogen accumulation in technically pure titanium alloy at saturation from gas atmosphere // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 880. P. 68–73.

# АНАЛИЗ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АККРЕДИТОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СЛИЧИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Д. В. Спутнова

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Пензенской области» (ФБУ «Пензенский ЦСМ»), г. Пенза, Российская Федерация  
E-mail: d.bublejj91@mail.ru

## *Аннотация*

*В работе проведен анализ калибровочных возможностей аккредитованных лиц для проведения между ними межлабораторных сличений в целях соответствия требованиям критериев аккредитации.*

***Ключевые слова:** калибровка, критерии аккредитации, межлабораторные сличительные испытания, область аккредитации*

В соответствии с приказом Минэкономразвития России № 24 от 23 января 2023 г. «О внесении изменений в приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 707...» п. 1.1.32 Пункт 38 дополнить абзацами следующего содержания:

«Юридические лица и индивидуальные предприниматели, выполняющие работы и (или) оказывающие услуги по калибровке средств измерений, должны выполнять требования следующих документов по стандартизации: ...Р 1323565.1.038-2021 Оценка соответствия. Политика ИЛАК в отношении участия деятельности по проверке квалификации». В данной рекомендации в разделе 2 дается определение термину «проверка квалификации» как оценивание характеристики функционирования участника по заранее установленным критериям посредством межлабораторных сличений (МСИ).

В связи с вышеизложенным калибровочные лаборатории должны принимать участие в МСИ по каждой позиции своей области аккредитации (ОА).

Цель — провести анализ ОА по калибровке, а также провайдеров МСИ, аккредитованных в национальной системе аккредитации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, для участия с ними в МСИ.

За основу сравнения была взята ОА ФБУ «Пензенский ЦСМ». По каждой позиции с указанием диапазона и расширенной неопределенности проанализированы калибровочные возможности аккредитованных организаций.

В результате анализа были получены следующие выводы:

- не по всем позициям ОА по калибровке ФБУ «Пензенский ЦСМ» есть аккредитованные юридические лица и (или) индивидуальные предприниматели для проведения с ними МСИ;
- провайдеры МСИ не имеют требуемой ОА.

### **Литература**

1. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 23.01.2023 № 24 «О внесении изменений в приказы Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 707, от 16 августа 2021 г. № 496, от 29 октября 2021 г. № 657 и о признании утратившим силу приказа Министерства экономического развития Российской Федерации от 29 октября 2014 г. № 684», 2023.
2. ГОСТ ISO/IEC17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

# ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРКИ АКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

А. С. Степанов

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Тюменской и Курганской областях, Ханты-Мансийском автономном округе-Югре, Ямало-Ненецком автономном округе» (ФБУ «Тюменский ЦСМ»), г. Тюмень, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0001-9501-7195, e-mail: stepanovsanya45@mail.ru

## **Аннотация:**

*Создана звукопоглощающая камера в камере, разделенная между собой демпфирующим материалом для затухания внешних шумов и колебаний. Определены фоновый шум внутри камеры и затухание сигналов в диапазоне частот 31,5–8000 Гц.*

**Ключевые слова:** акустика, заглушенная камера, поверка акустических средств измерений, шум, затухание

ФБУ «Тюменский ЦСМ» осуществляет поверку акустических средств измерений, таких как: шумомеры, аудиометры, тимпаномеры и акустические калибраторы. Поверители акустических средств измерений сталкиваются с проблемой повышенного шумового порога в кабинетах, что оказывает влияние на процесс и сроки поверки [1, 2]. Поэтому на базе центра создана «тихая комната» из звукопоглощающих материалов, которые «отрабатывают» высокочастотную и среднечастотную часть спектра. Стены из пирамидального поролон исключают многократные отражения звуковых волн от стен и поглощают так называемое «порхающее эхо» (флаттер) [3, 4]. Для борьбы с низкочастотной частью спектра в комнате установлена звукопоглощающая кабина с уровнем внешних шумов менее 20 дБ (см. рис. 1).

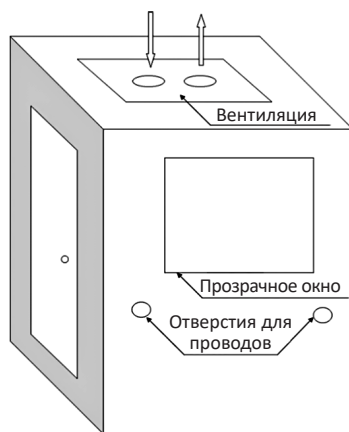


Рис. 1. Шумоизоляционная камера для поверки акустических средств измерений



Основным несущим материалом являются МДФ панели, обтянутые звукоизоляционной мембраной «TechnoSonus». Кабина состоит из двух частей («кабина в кабине»), разделенных между собой термозвукоизоляцией (демпфирующий материал, передающий минимум вибрации между кабинами). Внутренние стены кабины обшиты акустическим поролоном. Для удобного наблюдения показаний на боковой стенке установлен однокамерный стеклопакет, исключающий присутствие поверителя вблизи поверяемого СИ, что обеспечивает более качественную поверку [5]. Шумоизоляционная камера позволяет проводить непрерывный процесс поверки акустических средств измерений благодаря высокому уровню затухания и поглощения шумов/звуков вне камеры [6, 7].

**Таблица 1. Затухание сигнала в шумоизоляционной камере**

<b>F, Гц</b>	<b>Уровень звука в камере, дБ</b>	<b>Уровень звука вне камеры, дБ</b>	<b>Затухание, дБ</b>
31,5	Фон	54,5	Фон
63	70,2	104,9	34,7
125	81,1	107,4	26,3
250	71,1	106,8	35,7
500	50,5	106,5	56
1000	29,2	100,2	71
2000	33,4	104,8	71,4
4000	34,8	96	61,2
6000	19,6	94,2	74,6
8000	12,7	84,2	71,5

В диапазоне частот 31,5–8000 Гц в камере происходит ослабление сигнала свыше 70 дБ (см. табл. 1), что покрывает основной поток шумомеров и аудиометров, работающих в данном диапазоне частот [8]. Данная конструкция кабины и организация рабочего места поверителя полностью меняют давно укоренившееся выражение, что «акустики работают по ночам».

## Литература

1. Вакулин А. А. Методы измерений, испытаний и контроля: учебное пособие. Тюмень, 2010. С. 10–25.
2. ГОСТ ISO 9612-2016. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Межгосударственный стандарт, 2016. С. 7–15.
3. ГОСТ 31274-2004 (ИСО 3741:1999). Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер (ИСО 3741:1999 «Акустика. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер», MOD). Межгосударственный стандарт, 2015. С. 3–9.
4. Научно-популярная библиотека. Физика звука. URL: [https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/435858/Fizika\\_zvuka](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/435858/Fizika_zvuka) (дата обращения: 13.03.2023).
5. Акустические кабины IzoRoom. URL: <https://ru.izoroom.com/> (дата обращения: 17.04.2023).
6. ГОСТ 31326-2006 (ИСО 15667:2000) Шум. Руководство по снижению шума кожухами и кабинами. Межгосударственный стандарт, 2007. С. 2–11.
7. ГОСТ 31295.2-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Межгосударственный стандарт, 2007. С. 8–16.
8. ГОСТ 17187-2010. Шумомеры. Часть 1. Технические требования. Межгосударственный стандарт, 2012. С. 2–5.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ»

Е. М. Степанов

ООО «Газпром трансгаз Казань», Казань, Российская Федерация  
E-mail: stepanov.evgeniy.m@gmail.com

### **Аннотация**

*В тезисе представлены организационная структура Совета молодых ученых и специалистов (СМУиС) ООО «Газпром трансгаз Казань», основные направления деятельности, а также цели и задачи СМУиС.*

**Ключевые слова:** *молодой специалист, корпоративная цель, развитие, взаимодействие, организация*

Совет молодых ученых и специалистов (СМУиС) ООО «Газпром трансгаз Казань» (далее — Общество) был создан 3 октября 2006 г. С августа 2021 г. председателем СМУиС избран инженер 1 категории технического отдела Степанов Евгений Михайлович.

По состоянию на 31.12.2022 г. количество молодых работников на предприятии составляет 31,3% (3326 человек).

СМУиС является добровольным представительным коллегиальным органом, который состоит из молодых специалистов и молодых работников ООО «Газпром трансгаз Казань», Профсоюзной организации и филиала ООО «Газпром информ» в возрасте до 35 лет включительно.

СМУиС представляет молодых специалистов и молодых работников, объединившихся на основе общности интересов и целей в соответствии с корпоративными целями и задачами ПАО «Газпром» и ООО «Газпром трансгаз Казань».

СМУиС не является юридическим лицом и не подлежит государственной регистрации.

Организационная структура СМУиС:

- председатель СМУиС;
- заместитель председателя СМУиС;
- секретарь;
- члены совета, в том числе:
  - руководитель группы по научно-практической деятельности;
  - руководитель группы по социальному развитию и спортивным мероприятиям;

- руководитель группы по организационным и техническим вопросам;
- официальные представители СМУиС в обособленных структурных подразделениях;
- молодые работники до 35 лет включительно.

#### Цели СМУиС:

— содействие профессиональному росту молодых работников, а также организация взаимодействия молодых работников, направленная на их профессиональное развитие, реализацию их научных идей и внедрение таких идей на производстве;

— повышение трудовой активности, формирование общественного сознания, адаптация, обеспечение социальной защищенности молодых работников Общества;

— привлечение молодых работников к активному участию в общественной, научной и рационализаторской деятельности Общества;

— содействие в подготовке высококвалифицированного кадрового резерва;

— повышение эффективности производственной деятельности Общества посредством внедрения технико-технологических, социально-экономических и управленческих инноваций;

— развитие творческой активности, интеллектуального и управленческого потенциала, содействие культурному росту молодых работников;

— развитие спортивно-массовой работы путем пропаганды здорового образа жизни и привлечения молодых работников к участию в спортивных мероприятиях;

— развитие деловых связей среди молодых работников Общества, ПАО «Газпром» и его дочерних обществ и организаций.

#### Задачи СМУиС:

— содействие профессиональному росту молодых работников, а также организация взаимодействия молодых работников, направленные на их профессиональное развитие, реализацию их научных идей и внедрение таких идей на производстве;

— ведение целенаправленной деятельности по отбору и привлечению к научной работе молодежи в Обществе;

— организация конференций молодых работников Общества, адаптационных семинаров молодых специалистов, конкурсов профессионального мастерства, конкурсов молодых рационализаторов и т. д.;

- представление интересов молодых ученых и специалистов в технических советах, аттестационных комиссиях Общества;
- представление на рассмотрение руководству Общества предложений молодых работников, связанных с повышением эффективности деятельности ООО «Газпром трансгаз Казань»;
- организация творческих связей и форм содружества молодых ученых и специалистов внутри Общества;
- взаимодействие с Советами молодых ученых и специалистов других дочерних обществ и организаций ПАО «Газпром».

### **Литература**

1. Приказ ОАО «Газпром» от 9 июня № 310 «О работе со студентами молодых специалистов в ОАО «Газпром», его дочерних обществах и организациях».

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОРРЕКТИРОВКИ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗОНДОВ

А. В. Стрельников, М. В. Беднова, М. О. Уранбаев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: 0009-0002-6500-9797, e-mail: a.v.strelnikov@vniim.ru

## **Аннотация**

*Для повышения качества метрологического обеспечения и достоверности получаемой измерительной информации о параметрах морской воды разработан проект методики корректировки градуировочных зависимостей измерительных каналов температуры и удельной электрической проводимости морской воды гидрологических зондов. Разработана программа на базе MS Excel для автоматизации расчета градуировочных коэффициентов с помощью метода наименьших квадратов.*

**Ключевые слова:** *гидрологические зонды, морская вода, градуировочная зависимость, градуировочные коэффициенты*

Современное изучение Мирового океана требует высокотехнологичного и современного измерительного оборудования, нуждающегося в свою очередь в метрологическом обеспечении. Для контроля физико-химических параметров вод Мирового океана применяются гидрологические зонды. Большинство из них произведены за рубежом, что в современных условиях делает крайне затруднительным проведение необходимого сервисного и технического обслуживания. Несмотря на высокое качество и надежность зондов, их основной проблемой является нестабильность градуировочных зависимостей измерительных каналов (ИК).

Для повышения качества метрологического обеспечения и достоверности получаемой измерительной информации предлагается разработать документ, регламентирующий порядок проведения корректировки градуировочных зависимостей ИК удельной электрической проводимости и температуры гидрологических зондов.

Гидрологический зонд — это многопараметрическое средство измерений, конструктивно он представляет собой прочный погружаемый корпус, в который вмонтированы датчики.

Несмотря на многообразие конструкторских решений, большинство зондов имеют схожие метрологические характеристики и предназначены для измерения следующих параметров морской воды: удельная электрическая проводимость (УЭП), температура и гидростатическое давление (СТД-зонды).

Для проведения градуировки ИК температуры предлагается использовать следующее оборудование: преобразователь сигналов ТС и ТП «Теркон» в комплекте с термометром сопротивления эталонным ЭТС-100; точка плавления галлия и тройная точка воды.

Для ИК УЭП предлагается использовать кондуктометрические поверочные установки КПУ-1-0,06Э и КПУ-1-0,06Р с проточными ячейками.

Для поддержания необходимой температуры при градуировке ИК используется суховоздушный шкаф 5-М 120/1000.

Преобразование измерительной информации, представляющей собой в основном аналоговые величины, такие как частота, сила тока и сопротивление, в величины УЭП и температуры осуществляется с применением различных видов градуировочных характеристик с использованием коэффициентов (полиномов), установленных заводом-изготовителем при выпуске из производства.

Для расчета новых градуировочных коэффициентов был использован метод наименьших квадратов в программе MS Excel.

Процесс корректировки градуировочных зависимостей представляет собой следующий порядок действий:

- 1) подготовка необходимого оборудования;
- 2) снятие цифровых сигналов с зонда и значений температуры и УЭП;
- 3) обработка результатов и расчет новых коэффициентов.

Результаты градуировки представлены на рисунках 1 и 2.

Если проанализировать получившиеся графики, можно заметить, что метрологические характеристики зонда после градуировки улучшились. Таким образом, результаты измерений стали более достоверными.

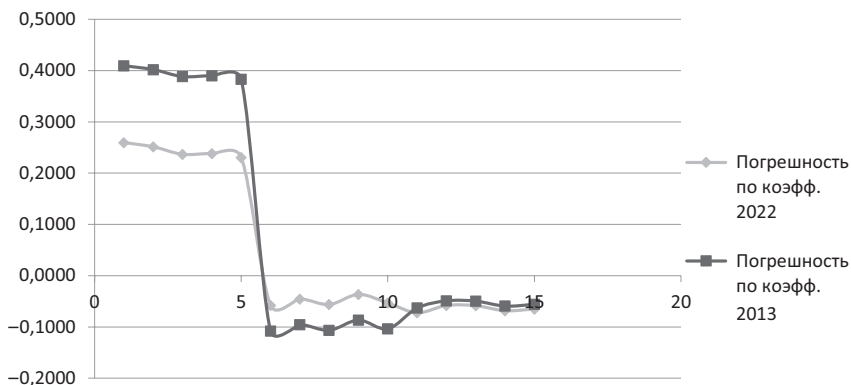


Рис. 1. Значения абсолютной погрешности измерений температуры до градуировки (темным серым) и после (светлым серым)

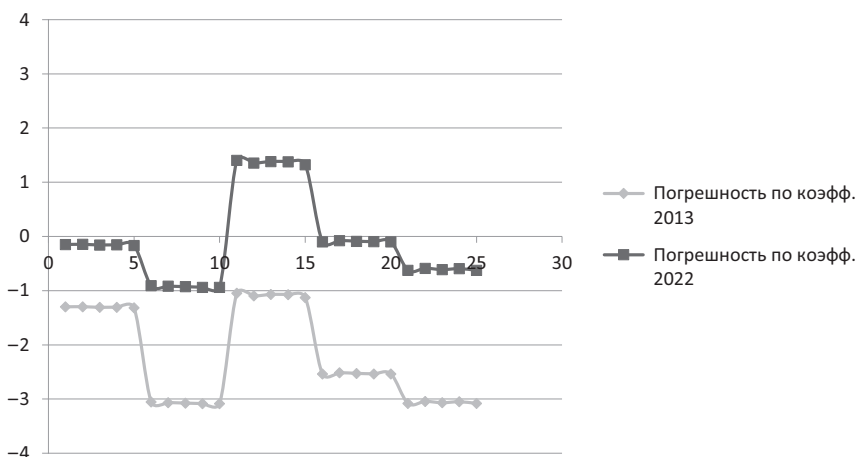


Рис. 2. Значения относительной погрешности измерений УЭП до градуировки (темным серым) и после (светлым серым)

## Литература

1. Рамазин А. Н. Некоторые научно-методические аспекты метрологического обеспечения измерений электропроводности и температуры морской воды с помощью СТД-зондов // Труды ВНИРО. Техника для рыбохозяйственных исследований. Т. 159. М., 2016. С. 167–182.



2. Рамазин А. Н., Буланов В. В., Левашов Д. Е., Тишкова Т. В. Калибровка СТД-зондов — метрологическое обеспечение измерений основных параметров среды обитания промысловых объектов // Материалы XIII Международной конференции по промысловой океанологии. Калининград: АтлантНИРО, 2005. С. 235–238.

3. Рамазин А. Н. Определение солености Каспийского моря с помощью СТД-зондов // Вопросы промысловой океанологии. 2009. Вып. 6. № 2. С. 196–211.

4. Зайцева Ю. Б., Левашов Д. Е., Рамазин А. Н. Методика по проведению калибровки средств измерений основных параметров морской воды, используемых в настоящее время в практике океанологических исследований Мирового океана. М., 2010.

5. Государственная поверочная схема для средств измерений удельной электрической проводимости жидкостей, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2771 от 27.12.2018 г. <https://docs.cntd.ru/document/573893103?marker>.

6. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3253 от 23.12.2022 г. <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/22PFF.html>.

7. Тищенко П. Я., Стунжас П. А., Павлова Г. Ю. и др. Алгоритм расчета минерализации речных и солености эстуарных вод из данных электропроводности // Океанология. 2019. Т. 59. № 4. С. 591–599.

8. Рамазин А. Н., Лазарюк А. Ю. Результаты исследования метрологических характеристик профилографа YSI CastAway-CTD // Труды ВНИРО. Техника для рыбохозяйственных исследований. 2021. Т. 184. С. 125–139.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ПОКАЗАНИЙ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В. В. Сычев, М. С. Иванов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: v.v.sychev@vniim.ru

## *Аннотация*

*В данной работе рассматривается возможность автоматизации процесса обработки регистрируемых значений на цифровом индикаторе средств измерений силы на основе алгоритма, способного определять результат измерений по устоявшимся значениям в массиве данных. Алгоритм, реализующий возможность автоматизации процесса обработки, необходим для освобождения рабочей силы оператора и для более корректного определения результата измерений из массива наблюдаемых значений.*

**Ключевые слова:** измерения силы, автоматизация, результаты измерений, обработка данных, алгоритм

При решении задачи аттестации силовоспроизводящих машин в качестве эталонов силы происходит процесс передачи единицы величины от эталона в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений силы [1]. Этот процесс подразумевает использование динамометра-компаратора в качестве средства передачи величины.

Определение результата измерений непосредственно оператором, выполняющим измерения, является задачей, которая занимает много рабочего времени. Кроме того, при сильных колебаниях показаний увеличивается субъективная часть погрешности, связанная с оператором [2].

Целью работы является разработка алгоритма, выполняющего задачу определения результатов измерений по предварительно записанным данным (рис. 1).

Показания и измерения, которые исследуются в данной работе, получены с помощью динамометров-компараторов, входящих в со-

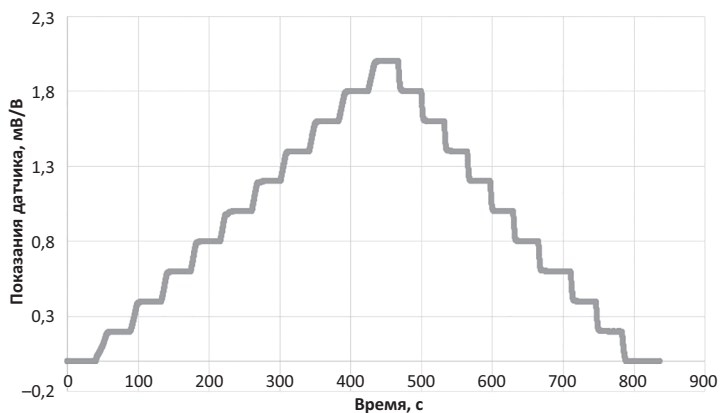


Рис. 1. Массив показаний силоизмерительного датчика, записанных в процессе аттестации силовоспроизводящей машины

став первичного эталона силы. Динамометр-компаратор работает на основе тензометра — резистивного элемента, электрическое сопротивление которого вследствие механической деформации изменяет свое значение [3].

Принцип работы алгоритма, рассмотренного в данной работе, заключается в поиске в массиве областей (рис. 2), которые соответствуют точкам нагружения. Предполагается, что на точке нагружения

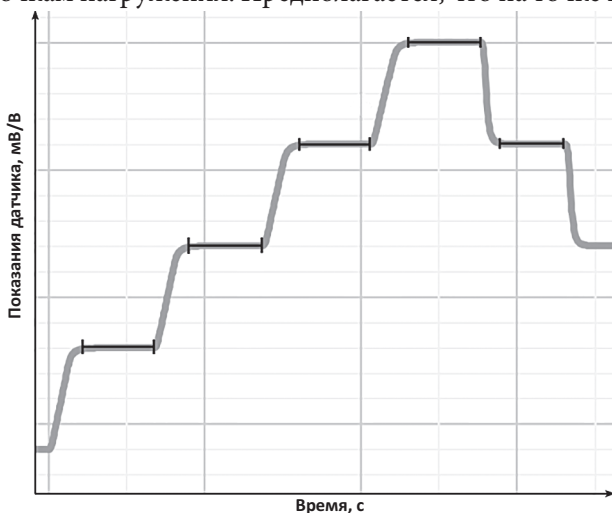


Рис. 2. Области точечной диаграммы, соответствующие контролируемым точкам нагружения

значения изменяются в некотором диапазоне, среднее значение которого обеспечивает оценку истинного значения величины [4].

Ограничение, необходимое для выявления данных областей, выражается в трех критериях:  $b_1$ ,  $b_2$  по формуле (3) и  $b_3$  по формуле (4).

Критерий  $b_1$  необходим для определения областей диаграммы, в которых разность  $\Delta_i$  по формуле (1) удовлетворяет неравенству (2).

$$\Delta_i = X_{i+1} + X_i, \quad (1)$$

$$\Delta_i \leq b_i, \quad (2)$$

где  $i$  — порядковый индекс записанного наблюдаемого значения;  $X_i$  —  $i$ -е наблюдаемое значение.

Критерий  $b_1$  следует установить равным  $2 \cdot S_{\Pi}$ , где  $S_{\Pi}$  — это среднеквадратическое отклонение показаний силоизмерительного датчика на точке нагружения как мера неопределенности среднего значения [5].

Критерий  $b_2$  необходим для разделения определенных на предыдущем этапе областей друг от друга (рис. 2).

$$b_2 = 2 \cdot b_1. \quad (3)$$

Критерий  $b_3$  требуется для определения тех устоявшихся значений, которые соответствуют точкам нагружения.

$$b_3 = v \cdot t_{\Pi}, \quad (4)$$

где  $v$  — частота опроса индикатора на запись;  $t_{\Pi}$  — половина времени нагружения.

Следующим этапом обработки является проверка и исключение выбросов из ряда устоявшихся значений. В данной работе не может быть применен классический для поиска исключений среди результатов измерений критерий Граббса [6], так как количество выбросов неизвестно. Для определения выбросов был применен критерий Роснера [7]. Определенные по данному критерию выбросы исключаются из ряда устоявшихся значений [8].

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что среднеквадратическое отклонение ряда измерений, выполненных оператором, выше в полтора-два раза, чем среднеквадратическое отклонение ряда измерений, выполненных с помощью алгоритма обработки показаний.

## Литература

1. Государственная поверочная схема для средств измерений силы, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2498 от 22 октября 2019 г., 2 с.
2. Ершова И. Г. Погрешности измерений и их оценка // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. 2012. № 1. 136 с.
3. Костиков К., Чуван И. Тензометрические датчики силы // Компоненты и Технологии. 2010. № 102. 16 с.
4. Введение к «Руководству по выражению неопределенности измерения» и сопутствующим документам. Оценивание данных измерений / Пер. с англ. под науч. ред. д. т. н., проф. В. А. Слаева, д. т. н. А. Г. Чуванкиной. СПб.: «Профессионал», 2011. 3 с.
5. ГОСТ 34100.3-2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
6. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 545 с.
7. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 557 с.
8. Резниченко С. В., Лихошерстова А. С. Наиболее общие подходы к метрологической обработке результатов многократных измерений // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 2. 166 с.

# ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ ОБРАЗЦОВ АКТИВНОСТИ УРАНА-235, ИМИТИРУЮЩИХ ОБЪЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Н. В. Сычева, Е. В. Комарова, Е. В. Широкова,  
С. С. Широков, М. А. Илюхина, В. Б. Горшков

Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара» (АО «ВНИИНМ»), Москва, Российская Федерация  
E-mail: NVySycheva@bochvar.ru

## *Аннотация*

*Были изготовлены образцы активности урана-235, имитирующие объекты окружающей среды, а также элементы оборудования, трубопроводов спецвентиляции и спецканализации. Описаны особенности проведения аттестации стандартных образцов с учетом требований обеспечения единства измерений в области использования атомной энергии.*

***Ключевые слова:** аттестация стандартных образцов, контроль качества измерений, стандартные образцы, аттестованные объекты, однородность, распределение, гамма-спектрометрия, уран-235, активность урана-235, внутренний оперативный контроль*

Разработка и аттестация стандартных образцов (аттестованных объектов) является неотъемлемой составляющей метрологического обеспечения измерений [1], в том числе в случае проведения радиационного мониторинга окружающей среды и реализации проектов по выводу из эксплуатации ядерно опасных объектов.

При этом разработка стандартных образцов (СО) или аттестованных объектов (АО) подразумевает создание воспроизводимой технологии их изготовления с учетом специфики реальных измеряемых объектов (радионуклидный состав, морфология, геометрия) [2], а также проведение в рамках аттестационных измерений исследований стабильности СО или АО [3, 4] и оценки характеристики их однородности [4].

Использование ОСГИ, ОРР или насыпных мер в рамках контроля качества измерений не позволяет в полной мере сделать вывод о достоверности получаемой измерительной информации, поскольку такие типы СО, как правило, не позволяют максимально достоверно воспроизвести характеристики реальных объектов измерений.

Для решения данного вопроса были изготовлены урансодержащие рабочие тела на основе графита и на основе пальмитиновой кислоты. В качестве урансодержащего материала был использован порошок диоксид урана с обогащением по урану-235, равным 4,4% (массовая доля урана общего — 87,75%).

Рабочие тела (далее — РТ) на основе графита были приготовлены при варьировании соотношений диоксида урана и графита, указанных в таблице 1.

Характеристика однородности рабочего тела на основе графита была определена с использованием гамма-спектрометра CANBERRA с полупроводниковым детектором в соответствии с разделом 5 ГОСТ 8.531 [4] по алгоритму для дисперсных материалов.

Характеристика однородности СО (АО) определяется материалом его рабочего тела, а также его технологией изготовления. Чем более однороден материал рабочего тела СО (АО), тем лучше его качество и меньше значение погрешности аттестованного значения [3].

Результаты оценки характеристики однородности, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о получении АО хорошего качества: характеристика однородности РТ АО не превышает 7,5% при условии погрешности гамма-спектрометрического метода.

**Таблица 1. Значение характеристики однородности рабочих тел на основе графита**

№ рабочего тела	Соотношение диоксида урана и графита в РТ	Характеристика однородности, $S_{\text{H}}$ , отн. ед.
1	1 : 6,5	0,04036
2	1 : 2	0,07324
3	1 : 1,5	0,04076
4	1 : 16	0,04823

Также было проведено исследование стабильности контролируемого параметра «активность урана-235» в РТ № 1 (минимальное значение  $S_{\text{H}}$ ) и в РТ № 2 (максимальное значение  $S_{\text{H}}$ ) с учетом положений РД 95 10365 [5], которое показало, что технология изготовления обеспечивает получение стабильных графитовых образцов.

Изготовленные рабочие тела были помещены в заготовки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т в различные типы геометрии: сегмент,

большой полуцилиндр, малый полуцилиндр (имитация трубопроводов канализации и вентиляции) и капсула (имитация поверхности защищенного оборудования и его элементов).

РТ на основе пальмитиновой кислоты были изготовлены при варьировании соотношений реагентов (урансодержащий материал, гидроксид натрия, пальмитиновая кислота). На этапе затвердевания рабочего тела на основе пальмитиновой кислоты технологически имеется возможность помещать его в форму геометрии различных типов, тем самым производя имитацию объектов окружающей среды и отложений ядерных материалов в защищенном оборудовании.

Оценка характеристики однородности в соответствии с разделом 5 ГОСТ 8.531 [4] по алгоритму для дисперсных материалов свидетельствует о хорошем качестве изготовленных РТ, поскольку ее значение не превышает 4%. Оценка стабильности контролируемого параметра «активность урана-235» в РТ с учетом положений РД 95 10365 [5] указывает на получение стабильных РТ в рамках предложенного способа изготовления. Однако в случае РТ на основе пальмитиновой кислоты также требуется проводить контроль стабильности их лигатурной массы из-за возможного испарения свободной воды. Оценка стабильности лигатурной массы РТ с учетом положений РД 95 10365 [5] показала, что нестабильность РТ наблюдается в случае внесения большого количества аликвоты гидроксида натрия, однако РТ стабилизируется при его выдержке в условиях комнатной температуры в течение длительного времени (более 20 месяцев). Подбор оптимальной аликвоты гидроксида натрия позволяет получать стабильные РТ при меньшем времени сушки (около 2 месяцев).

РТ на основе пальмитиновой кислоты были помещены в герметично закрывающиеся полипропиленовые цилиндрические емкости или капсулы.

Аттестация образцов была проведена с использованием метода контролируемого изготовления в соответствии с СТК-71 [3], в результате которой установлены метрологические характеристики линейки АО на основе графита с массой урана-235 в диапазоне от 0,075 до 0,9 г включ. с относительной погрешностью не более 5% (для РТ № 1), а также АО на основе пальмитиновой кислоты с массой урана-235 в диапазоне от 1 до 57 мг включ. с относительной погрешностью не более 4%. В дальнейшем планируется утвердить тип ГСО изготовленных АО с помощью межлабораторных сличительных испытаний (МСИ).



Изготовленные АО прошли успешную апробацию при аттестации методик измерений, при выполнении контрольных измерений в рамках проведения внутреннего оперативного контроля качества измерений, а также при выборочном контроле качества измерений в рамках проведения оценки состояния измерений в соответствии с СТО 95 12074 [6].

### Литература

1. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 31.10.2013 № 1/10-НПА «Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии».
2. ОСТ 95 10430-2003. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок проведения аттестации методик выполнения измерений. М.: ФГУП «ВНИИНМ», 2003. 22 с.
3. СТК-71-2017. Аттестованные объекты. Классификация и алгоритмы их аттестации. М.: АО «ВНИИНМ», 2017. 81 с.
4. ГОСТ 8.531-2002. ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности. М.: ФГУП УНИИМ, 2002. 11 с.
5. РД 95 10365-89. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок проведения и содержание метрологической аттестации стандартных образцов состава и свойств веществ. М.: Группа Т82. 27 с.
6. СТО 95 12074-2021. «Оценка состояния измерений. Общие требования».

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ

А. И. Титаренко

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром добыча Надым»  
(ООО «Газпром добыча Надым»), г. Надым, Российская Федерация  
E-mail: Titarenko.AIv@nadym-dobycha.gazprom.ru

## Аннотация

*В статье рассмотрены вопросы развития автоматизации и цифровизации деятельности по обеспечению единства измерений в метрологической службе, с учетом опыта внедрения и применения автоматизированной информационной системы в метрологической службе, аккредитованной на право поверки средств измерений, с целью повышения качества выпускаемой продукции, оказываемых работ и услуг, исключения ошибок при оформлении результатов поверки.*

**Ключевые слова:** автоматизация, цифровизация, информационные системы, средство измерений, поверка, аккредитация, метрологическое обеспечение

Развивающаяся автоматизация и цифровизация промышленной деятельности не могли не затронуть и такую столь важную сферу, как метрологическое обеспечение, которое является необходимой составляющей почти в каждой отрасли. Переход в цифровую информационную среду обязывает к внедрению современных технологий в этой сфере на производстве.

Для юридических лиц, аккредитованных в национальной системе аккредитации [1], выполняющих работы и (или) оказывающих услуги по обеспечению единства измерений, повышение результативности работы специалистов по метрологическому обеспечению за счет повышения качества внесения данных и оптимизации процессов метрологического учета на производстве является основным фактором, от которого зависит эффективность деятельности аккредитованных лиц.

С целью реализации вышеуказанного фактора в ООО «Газпром добыча Надым» внедрены базовые модули автоматизированной информационной системы (далее — АИС), которые позволили реализовать ряд функций:

— учет наличия, движения и анализ технического состояния эталонов, средств измерений (далее — СИ) и испытательного оборудования;

— планирование поверочно-калибровочных работ;

— организация обмена информацией по метрологическому обеспечению на всех уровнях метрологической службы;

— формирование и ведение корпоративных реестров — реестров СИ с возможностью синхронизации с Государственным реестром СИ, реестров нормативно-технической документации, реестров подразделений, кадрового состава, производственных помещений;

— формирование отчетных документов в соответствии с требованиями, установленными нормативными документами ПАО Газпром и российским законодательством.

При анализе опыта эксплуатации АИС, в рамках работ по планированию метрологического обеспечения, была выявлена необходимость разработки дополнительного модуля планирования. Данный функционал позволил выполнять автоматическое формирование графиков поверки/калибровки СИ с учетом межповерочных/межкалибровочных интервалов СИ, а также формировать заявки на выполнение работ из утвержденных графиков. При формировании заявок учитывается и экономический показатель выполнения работ — трудоемкость, что позволяет оценивать выполнение плановых показателей без проведения дополнительных расчетов, так как данные показатели отражены по каждой единице СИ в АИС.

Создание единой общедоступной информационной базы данных позволяет осуществить цифровизацию документооборота, а в перспективе позволит уменьшить трудозатраты путем сокращения бумажных носителей, уменьшения времени на обработку данных. При этом появляется возможность более быстрого доступа к актуальным данным о СИ, их техническим и метрологическим характеристикам, что позволяет отслеживать и своевременно предоставлять их в поверку [2].

Современные цифровые технологии предоставляют различные инструменты и новые возможности для разработки и внедрения системы менеджмента качества и ее процессов с учетом требований, предъявляемых к аккредитованным лицам [3].

Отслеживание взаимодействия пользователей при формировании графиков и заявок позволяет выполнять требования критериев ак-

кредитации в части требований стремления к получению обратной связи от заказчиков, ее анализ и применение для улучшения системы менеджмента качества и обслуживания заказчиков.

При постоянном увеличении объемов отчетности, включая сведения об используемых помещениях, эталонах, вспомогательном и испытательном оборудовании, об изменениях состава работников аккредитованных лиц и о компетентности этих работников [4], направляемых в Федеральную службу по аккредитации, применение цифровых технологий позволит сократить трудозатраты и обеспечить своевременное ведение и передачу необходимой информации.

Неоспоримым преимуществом автоматизации является прозрачность и прослеживаемость процессов поверки, калибровки СИ от момента получения заявки до момента передачи сведений в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [5]. При анализе требований Руководства пользователя внешнего портала [6], а также с учетом изменений в законодательной базе совместно с разработчиком АИС предпринят ряд мероприятий по совершенствованию системы и доработке новых инструментов. Так, с целью соблюдения требований Приказа Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 [6] в АИС реализована возможность формирования загрузочного файла на основании данных о выполненных работах и информации о СИ, а также на основании сведений, имеющихся в базе АИС о СИ, поверенных в качестве эталона единицы величины [8].

Таким образом, автоматизация и цифровизация деятельности по обеспечению единства измерений в метрологической службе позволяют сократить сроки оформления документов, снизить загруженность работников, исключить потерю данных, минимизировать риски, связанные с человеческим фактором, наличием опечаток в документе, риски [9], связанные с нарушением установленных сроков выполнения работ.

## Литература

1. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».
2. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
3. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккре-

дитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».

4. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 24 октября 2020 г. № 704 «Об утверждении положения о составе сведений о результатах деятельности аккредитованных лиц, об изменениях состава их работников и о компетентности этих работников, об изменениях технической оснащенности, представляемых аккредитованными лицами в Федеральную службу по аккредитации, порядке и сроках представления аккредитованными лицами таких сведений в Федеральную службу по аккредитации».

5. Меньшиков А. Д. Автоматизация поверки, калибровки — повышение производительности // Главный метролог. 2021. № 4/121/2021. С. 26–31.

6. Руководство пользователя внешнего портала / ФГИС «Аршин» <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>.

7. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

8. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28 августа 2020 г. № 2906.

9. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. М.: Стандартиформ, 2020. 14 с.

# ПРАВИЛА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРИЕМКЕ ПРОДУКЦИИ И КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ПРИЕМКИ

А. А. Томшина, В. В. Лесин

АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара» (ВНИИНМ),  
Москва, Российская Федерация  
E-mail: AATomshina@bochvar.ru

## **Аннотация**

*В данной работе рассмотрены понятия погрешность приемки и норма точности, приведены порядок расчета погрешности приемки и примеры оценки данной погрешности в зависимости от плана и метода контроля параметров. Показано, что расчет погрешности приемки не всегда однозначен, однако важен при приемке продукции для принятия решения о согласовании/несогласовании норм точности.*

**Ключевые слова:** метрология, погрешность, точность, приемка, нормы точности, измерения, приемочные значения, атомная энергетика

При приемке продукции и контроле параметров технологических процессов часто возникают спорные и неоднозначные ситуации, в том числе связанные с некорректными формами записи норм параметров, норм точности и результатов измерений в конструкторской, технической и рабочей документации, а также с решением вопросов, связанных с согласованием или несогласованием норм точности и округлением результатов измерений.

Правила принятия решений при приемке продукции и контроле параметров технологических процессов в области использования атомной энергии приведены в ГОСТ Р 8.933. Однако в реальных условиях «на практике» возникает множество нестандартных случаев, не описанных в данном стандарте и требующих более детального и вдумчивого рассмотрения, а часто и дополнительных расчетов и вычислений.

Что такое нормы точности, где регламентированы, зачем нужны и как рассчитать?

В общем случае норма точности ( $\Delta_r$ ) — это максимально допустимое значение погрешности приемки (в частности, погрешность измерений или контроля параметра, погрешность методики измерений и др.), которое обеспечивает требуемую (установленную в нормативной документации) точность.

В разрабатываемой нормативной и технической документации, регламентирующей требования к параметрам и/или характеристикам объектов измерений, испытаний и контроля и содержащей числовые значения норм (допусков) этих параметров, должны быть приведены также требуемые показатели точности измерений (нормы точности) или достоверности контроля этих параметров или введены приемочные значения. Если в нормативной и/или технической документации нормы точности (предельно допустимые значения погрешности) не указаны, то «по умолчанию» (в соответствии с ГОСТ Р 8.933) считается:

$$\Delta_r = 0,6 \cdot r, \text{ но не более } 0,12 \cdot D, \quad (1)$$

где  $r$  — цена последнего разряда в записи нормы контролируемого параметра;  $D$  — разность между верхней и нижней границами поля двустороннего допуска или значение границы одностороннего допуска.

При измерениях для оценки соответствия характеристик продукции и параметров технологических процессов установленным требованиям характеристики погрешности результатов измерений не должны превышать установленных норм точности, т. е.:

$$\Delta_k \leq \Delta_r, \quad (2)$$

где  $\Delta_k$  — погрешность приемки (в частности, погрешность измерений / контроля / методики измерений);  $\Delta_r$  — установленная норма точности.

В случае превышения норм точности должны быть введены приемочные значения, гарантирующие выполнение установленных требований.

В таблице 1 приведены примеры расчета норм точности, заданных «по умолчанию» в соответствии с ГОСТ Р 8.933.

Таким образом, чтобы оценить согласование норм точности (2), необходимо в первую очередь знать либо оценить погрешность приемки. На этом этапе часто и возникают сложности.

В общем случае понятие погрешности приемки связано с характером неоднородности контролируемого параметра, целями контроля, особенностями методики измерений (МИ), применяемой для контроля продукции, и выбранным планом контроля партии продукции.

**Таблица 1. Примеры расчета норм точности, заданных «по умолчанию»**

Значения норм параметров	$D$	$0,12 \cdot D$	$0,6 \cdot r$	Значения норм точности, $\Delta_r$
От 10,2 до 10,8	0,6	0,072	0,06	$\pm 0,06$
От 10,2 до 10,6	0,4	0,048	0,06	$\pm 0,05$
От 10,2 до 10,3	0,1	0,012	0,06	$\pm 0,012$
Не более 0,1	0,1	0,012	0,06	$\pm 0,012$
Не более 2	2	0,24	0,6	$\pm 0,24$
Не более 10	10	1,2	0,6	$\pm 0,6$
Не более 10,0	10	1,2	0,06	$\pm 0,06$
Не менее 100	100	12	0,6	$\pm 0,6$
Не менее $1,0 \cdot 10^2$	100	12	6	$\pm 6$
Не менее $1 \cdot 10^2$	100	12	60	$\pm 12$

В случаях сплошного контроля единиц продукции и/или параметров технологических процессов по однозначному параметру вместо термина «погрешность приемки» целесообразно и корректно использовать термины «погрешность измерений», «погрешность СИ» (при прямых измерениях), «погрешность методики (метода) измерений», «погрешность контроля». Данное допущение возможно, т. к. для однозначного (единственного) параметра отсутствует понятие неоднородности единицы продукции. Однозначный параметр описывается единственным значением, которое полностью характеризует свойство (состав) отдельной единицы продукции. Например, масса металлической заготовки, плотность топливной таблетки, измеряемая гидростатическим методом.

В случае распределенного (неоднородного/неоднозначного) параметра характерно измерение только части единицы продукции. Для распределенного параметра неоднородность единицы продукции влияет на погрешность приемки и существует понятие представительности пробы и/или выборки проб или представительности контроля единицы штучной продукции. МИ распределенного параметра должна включать схему контроля единицы штучной продукции или схему отбора проб.



Примеры:

1) Плотность топливной таблетки, измеряемая гамма-абсорбционным методом. Поскольку гамма-излучение проходит только через часть таблетки, неравноплотность таблетки влияет на погрешность приемки.

2) Полная удельная поверхность порошка диоксида урана. Поскольку для измерений отбирается ограниченное количество проб, неоднородность порошка влияет на погрешность приемки.

3) Толщина стенки трубы, диаметр твэла. Поскольку эти параметры измеряются в конечном количестве точек.

4) Характеристики механических свойств образцов, отобранных от металлических труб.

В случае выборочного контроля имеет смысл понятие представительности выборки единиц продукции, в нормативной документации на продукцию должен быть описан план контроля, включающий схему отбора единиц, образцов или проб.

Как обозначено выше, фактическое значение погрешности приемки  $\Delta_k$  согласовано с установленной нормой точности  $\Delta_r$ , если выполняется условие (2).

Погрешность приемки  $\Delta_k$  в общем случае может быть представлена в виде:

$$\Delta_k = \varepsilon_{\text{и}} * \Theta * \varepsilon_{\text{н}} = \varepsilon_{\text{и}} * \Theta * \varepsilon_{\text{не}} * \varepsilon_{\text{нп}}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{\text{и}}$  — случайная составляющая погрешности измерений без учета влияния неоднородности продукции;  $\Theta$  — неисключенная систематическая составляющая погрешности измерений;  $\varepsilon_{\text{н}}$  — погрешность от неоднородности контролируемого параметра (характеристики) в партии продукции, влияющая на результаты приемки продукции, которая в общем случае может быть разделена на две составляющие:  $\varepsilon_{\text{не}}$  — погрешность от неоднородности отдельных единиц продукции;  $\varepsilon_{\text{нп}}$  — погрешность от неоднородности единиц продукции по отношению друг к другу; \* — символ «суммирования» погрешностей («сложения» распределений случайных величин).

Здесь необходимо добавить некоторые уточнения и дополнения:

1) В методиках количественного химического анализа погрешность от неоднородности контролируемого параметра  $\varepsilon_{\text{н}}$  также часто называют погрешностью пробоотбора.

2) При определении фактического значения погрешности приемки  $\Delta_k$  используют значения характеристик погрешности аттестованной

МИ или характеристик погрешности СИ, применяемых при измерениях и/или контроле, и, в случае необходимости, значения погрешностей от неоднородности  $\epsilon_n$ ,  $\epsilon_{не}$ ,  $\epsilon_{нп}$ , полученные в результате экспериментальных исследований неоднородности продукции.

3) При расчете фактического значения погрешности приемки необходимо учитывать область применения МИ, поскольку значения погрешностей от неоднородности могут быть включены в погрешность МИ.

Таким образом, показано, что для принятия решений при приемке продукции и контроле параметров технологических процессов важным и ключевым понятием является погрешность приемки, к оценке которой стоит относиться очень внимательно, в том числе чтобы однозначно установить, согласованы ли требуемые нормы точности и нет ли необходимости в дополнительных измерениях и контроле.

### Литература

1. Федеральный закон от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

2. Приказ № 1/10-НПА от 31 октября 2013 г. «Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии».

3. ГОСТ Р 2.105-2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

4. ГОСТ Р 8.933-2017. Установление и применение норм точности измерений и приемочных значений в области использования атомной энергии.

5. В. А. Борисов, В. Б. Горшков, В. П. Игнатов и др. Метрологическое обеспечение производства: Учебное пособие. Обнинск: НОУ ДПО «ЦИПК», 2010. 384 с.

# ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИК КАЛИБРОВОК. АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ПОДХОДА

А. А. Тумилович

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-2111-2488, e-mail: a.a.koroleva@vniim.ru

## **Аннотация**

*В данной статье анализируются процедуры подтверждения соответствия методик измерения установленным требованиям. Особое внимание уделяется процедуре валидации методик калибровки, поскольку она не регламентирована, но обязательна в соответствии с ГОСТ ИСО/МЭК 17025 [1]. В статье дана классификация методик по различным признакам, представлена связь валидации методик калибровок с оценением неопределенности измерений и приведены предложения по упрощению процедуры аттестации методик измерений.*

**Ключевые слова:** валидация, аттестация, методика калибровки, референтные методики, подтверждение соответствия, неопределенность измерений

**Введение.** С целью обеспечения единства измерений метрологические, испытательные и калибровочные лаборатории должны обеспечивать прослеживаемость от результатов измерений к государственным эталонам единиц величин [2] или к первичным референтным методикам измерений. Цель достигается через реализацию цепи метрологической прослеживаемости результатов измерений, в которой участвуют эталоны разных уровней, средства измерений и, соответственно, методики передачи единицы величины (поверки, калибровки, референтные, первичные референтные) и методики измерений (МИ) [3].

**Классификация методик измерений.** Каждая из перечисленных методик измерений предназначена для решения определенных задач, однако их можно классифицировать по различным признакам [4]:

- применение МИ в сфере государственного регулирования;
- роль в цепи метрологической прослеживаемости;
- подход к выражению точности;
- метод оценивания показателей точности;
- процедура подтверждения соответствия.

Исходя из опыта, наиболее удобной для анализа МИ является классификация методик по признаку, находятся ли МИ в сфере государственного регулирования или нет.

**Валидация методик измерений.** Под валидацией методики понимается процедура подтверждения посредством лабораторного эксперимента с представлением объективного доказательства того, что требования методики исследований (испытаний) и измерений выполняются для ее применения по назначению [5]. Целью проведения валидации методики является подтверждение пригодности использования методики для получения достоверных результатов измерения [6]. В Российской Федерации и странах СНГ для подтверждения соответствия методики измерения поставленным целям зачастую проводят их аттестацию — обязательную или добровольную. Аттестация заключается в исследовании и подтверждении соответствия методик измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям [7]. Другими словами, ключевым этапом аттестации является оценивание метрологических характеристик, что также является сутью валидации методик. На рисунке 1 проиллюстрированы порядок аттестации методики выполнения измерений (МВИ) в соответствии с Приказом № 4091 [8] и место валидации в это процессе. Благодаря этому возможно упрощение процесса аттестации



Рис. 1. Порядок аттестации методики выполнения измерений

методик: если методика валидирована, но есть необходимость в ее аттестации, предлагается не проводить заново долгий, кропотливый процесс подтверждения соответствия методики измерения требованиям. Достаточно предоставить протокол и отчет о валидации методики измерения с комплектом необходимых документов в соответствующую организацию для аттестации методики.

**Валидация методик калибровки.** Проблема валидации методик калибровки заключается в том, что данный процесс не урегулирован нормативными документами. Основываясь на опыте валидации методик калибровок, можно выделить процесс оценивания неопределенности как основной. Связь между оцениванием неопределенности измерения и этапами проверки методики калибровки в процессе валидации представлена в таблице 1.

**Выводы.** Имея опыт разработки и утверждения методик калибровок, можно заключить, что по своему назначению они могут быть отнесены к референтным методикам, так как участвуют в качестве промежуточных звеньев цепи метрологической прослеживаемости.

**Таблица 2. Этапы оценивания неопределенности измерения**

Этапы проверки методики калибровки	Этапы оценивания неопределенности
Измеряемые величины / определяемые метрологические характеристики	Формирование уравнения измерения, определение входных и выходных величин
Источники неопределенности и соответствующая количественная информация о неопределенности	Определение входных величин. Переход к стандартной неопределенности. Выбор абсолютной или относительной формы записи неопределенности
Планирование измерений для достижения целевой неопределенности	Выбор числа повторных измерений при оценивании по типу А (анализ соотношения вкладов по типу А и В). Составление бюджета неопределенности. Выбор коэффициента охвата $k$ , в зависимости от закона распределения и соотношения вкладов неопределенности
Форма представления результатов калибровки и проверка соответствия	Процедура проверки соответствия результата калибровки установленным требованиям, с учетом неопределенности

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что процедуры валидации и аттестации идентичны в части проведения анализа соответствия методик измерений установленным требованиям и подтверждения их пригодности к применению по назначению. Является целесообразным разработать общие требования к программам аттестации и валидации методик измерений, поскольку это позволит использовать результаты валидации при аттестации методик измерений, не проводя повторные исследования.

### Литература

1. ГОСТ ISO/IEC17025-2019. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М.: Стандартиформ, 2019. 9 с.
2. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) Об обеспечении единства измерений. «Собрание законодательства РФ», № 26, ст. 3021, 30.06.2008. 9 с.
3. Tumilovich A., Chunovkina A. Approach to validation of calibration procedures based on a process for estimating of measurement uncertainty // Proceedings of IX international competition of COOMET “The best young metrologist 2021”. 21–22 April 2021, online. 3 p.
4. Тумилович А. А., Чуновкина А. Г. О классификации методик измерений и формах подтверждения их соответствия установленным требованиям // Судометрика 2022: сб. конф. Восьмая всероссийская научно-техническая конференция «Измерения и испытания в судостроении и смежных отраслях», СПб., 25–27 октября 2022 г. С. 17–23.
5. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартиформ, 2018.
6. Нежиховский Г. Р. Валидация аналитических методик: пер. с англ. яз. 2-го изд. под ред. Г. Р. Нежиховского. СПб.: ЦОП «Профессия», 2016 г. С. 29.
7. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. М.: Стандартиформ, 2019. С. 2.
8. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. Приказ 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, 2015 г.

# ЕДИНАЯ МЕТОДИКА ПОВЕРКИ КОЛОНОК ТОПЛИВОРАЗДАТОЧНЫХ

Р. Р. Тухватуллин

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ВНИИР — ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Казань, Российская Федерация  
E-mail: rustam\_vniir@bk.ru

## **Аннотация**

*Требования законодательства в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, а также рост цен на энергоресурсы подталкивает к необходимости повышения достоверности метрологического обеспечения колонок топливораздаточных при измерениях нефтепродуктов. Существующие методики поверки данных средств измерений имеют ряд недостатков, влияющих на погрешность метода передачи единицы величины. Необходимость актуализации методов поверки колонок топливораздаточных определяет требование разработки единого рекомендованного метода их поверки.*

**Ключевые слова:** *колонок топливораздаточные, методика поверки, учет нефтепродуктов, точность, бензин, дизельное топливо*

В связи с высокой стоимостью нефтепродуктов (бензина и дизельного топлива), продаваемых на автозаправочных станциях, вопрос достоверности проводимых измерений с применением колонок топливораздаточных (далее — ТРК) является актуальным и востребованным. Одним из путей повышения достоверности измерений с применением ТРК является разработка метода поверки, учитывающего недостатки существующих методик поверки и регламентирующего необходимость проверки защиты от несанкционированного доступа к ТРК.

В Российской Федерации с 1990 г. зарегистрировано около 331 типа серийно изготавливаемых ТРК. Из них 325 типов ТРК поверяется по МИ 1864-88 [1], 62 типа ТРК — по МИ 2729-2002 [2], 46 типов ТРК — по МИ 2504-98 [3], 10 типов ТРК по МИ 2895-2004 [4], 1 тип ТРК по МИ 1864-2020 [5] и 5 типов ТРК имеют частные методики поверки.

При этом большинство вышеуказанных методик поверки имеют значимые недостатки, среди которых можно выделить:

- наличие в ряде методик поверки неучтенных методических погрешностей, например, связанных с отсутствием приведения параметров нефтепродуктов к одним условиям и с применением корректирующих коэффициентов, не соответствующих актуальным рекомендованным значениям;

- отсутствие процедур проверки защиты от несанкционированного доступа, в частности требований к проверке соответствия программного обеспечения, проверке установленной пломбировки и применяемых в ТРК метрологических корректирующих коэффициентов;

- отсутствие рекомендаций к теплоизоляции типовых мерников, применяемых при поверке ТРК, которая позволяет существенно уменьшить источник неопределенности, связанный с изменением температуры нефтепродуктов;

- применение средств поверки, использование которых в существующем виде ведет к появлению неучтенных источников неопределенности при передаче единицы величины;

- отсутствие соответствия требований к оформлению результатов поверки ряда методик поверки действующему Порядку проведения поверки средств измерений [6].

Для решения вышеизложенной задачи ВНИИР — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» проводит разработку проекта национального стандарта, определяющего рекомендованный метод поверки ТРК, в соответствии с рекомендациями, изложенными в [7], и решением технического комитета 024 [8].

В процессе экспериментальных исследований при разработке национального стандарта выявлены неучтенные ранее в существующих методиках поверки ТРК источники неопределенности, величины которых могут быть сопоставимы с пределами допускаемой погрешности ТРК, и пути определения оптимального метода поверки ТРК. Также проводится работа по имплементации накопленного опыта специалистами Государственных региональных центров метрологии и эксплуатирующих организаций ТРК с целью улучшения требований к проводимым операциям поверки ТРК.



## Литература

1. МИ 1864-88. «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Колонки топливораздаточные. Методика поверки».
2. МИ 2729-2002. «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Колонки топливораздаточные. Методика первичной поверки».
3. МИ 2504-98. «Государственная система обеспечения единства измерений. Колонки топливораздаточные. Методика поверки с использованием мерников типа М2р-СШ».
4. МИ 2895-2004. «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Колонки топливораздаточные. Методика периодической поверки мерниками со специальными шкалами».
5. МИ 1864-2020. «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Колонки топливораздаточные. Методика поверки».
6. Приказ Минпромторга России № 2510 от 31 июля 2020 г. «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
7. Протокол совещания по вопросу актуализации документов, связанных с организацией поверки топливораздаточных колонок, и повышения эффективности организации государственного контроля (надзора) на объектах нефтепродуктообеспечения. Председательствовал руководитель проекта Департамента нефтегазовой промышленности ФГБУ «РЭА» Минэнерго России А. Е. Савинов от 2 июня 2022 г. № 09-82-пр.
8. Протокол совместного заседания № 34 технического комитета по стандартизации ТК 024 «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)», межгосударственного технического комитета по стандартизации МТК 553 «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)» и подкомитета ПК 206.3 «Эталоны и поверочные схемы в области измерений параметров расхода, уровня, вместимости, объема веществ» от 2 сентября 2022 г.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА

Н. А. Фирсанов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Санкт-Петербург, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-9959>, e-mail: [n.a.firsanov@vniim.ru](mailto:n.a.firsanov@vniim.ru)

## *Аннотация*

*На данный момент основным документом, регламентирующим процедуру определения межповерочного интервала (МПИ) средства измерений (СИ), является РМГ 74-2004 [1]. Автором был опробован алгоритм расчета, содержащийся в РМГ 74-2004, и по результатам разработаны предложения по совершенствованию данного алгоритма.*

**Ключевые слова:** *средство измерений, межповерочный интервал, метрологическая надежность, метрологическая характеристика, статистика, уравнение регрессии*

Одной из основных задач повышения качества метрологического обслуживания и обеспечения единства измерений является корректное определение интервалов между поверками и интервалов между калибровками [2]. Определение МПИ необходимо для оптимизации экономических издержек на содержание СИ [3].

Научно-исследовательским отделом эталонов в области измерений давления был проведен эксперимент по определению МПИ [4] для одного из типов тензорезистивных преобразователей давления [5].

Для оценки возможностей определения МПИ была написана программа испытаний и проведены экспериментальные испытания с целью определения МПИ [6]. Обработка результатов испытаний была проведена согласно РМГ 74-2004. По результатам обработки разработаны предложения по совершенствованию действующих методов расчета.

Испытания заключаются в исследовании процесса изменения МХ с течением времени. По полученным результатам изменения МХ выборки СИ в зависимости от времени работы СИ строится уравнение регрессии. По РМГ 74-2004 полученное уравнение регрессии

служит для дальнейшего определения вероятности метрологической исправности СИ, однако само уравнение регрессии не подвергается статистической обработке.

В работе рассмотрены возможности планирования испытаний и обработки полученных результатов при помощи стандартных статистических методов [7]. Предложена проверка выборки на однородность дисперсий по критерию Кохрена для обоснования возможности применения к выборке регрессионного анализа. Предложена проверка уравнения регрессии на адекватность экспериментальным данным по критерию Фишера. Предложено использование уравнения регрессии для составления прогноза с учетом ошибки прогноза [8]. Для планирования испытаний предложен выбор объема испытаний исходя из необходимости получения с заданной точностью уравнения регрессии. Результаты предложенной обработки представлены в таблицах 1–3.

Рекомендуемый межповерочный интервал, определенный по экспериментальным данным при использовании предложенных алгоритмов обработки, составил 6 лет, что сопоставимо с результатами, полученными при обработке по РМГ 74-2004. Разработанный алгоритм сильнее подкреплён теоретически и предлагается как предпочтительный.

**Таблица 1. Результаты проверки однородности выборки на каждом контрольном промежутке**

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_{10}$
$\max_{1 \leq j \leq N} S_j^2(t_i) \cdot 10^{-4}$	0,39	0,41	0,47	0,59	0,59	0,46	0,35	0,36	0,49	0,49
$\sum_{j=1}^N S_j^2(t_i) \cdot 10^{-4}$	1,26	1,10	1,34	1,50	1,68	1,65	1,16	1,14	0,96	0,96
$G_{\max}(t_i)$	0,309	0,370	0,348	0,394	0,350	0,279	0,298	0,319	0,512	0,512
$< G_{\max}(t_i)$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Примечания: 1) $G_{N,v,p} = G_{N,n-1, 1-\alpha} = 0,602$ , где: $N = 8$ , $n = 14$ , $1 - \alpha = 0,95$ ; 2) Дисперсии $S_j^2(t_i)$ и выборку СИ можно считать однородными										

**Таблица 2. Результаты определения коэффициентов линейной регрессии**

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_{10}$
$\overline{X}(t_i)$	-0,0026	-0,0015	-0,0029	-0,0014	-0,0026	-0,0016	-0,0027	-0,0015	-0,0027	-0,0027
$t$ , ДН	0	14	28	42	56	70	84	98	112	126
$L = 10; \sum_{i=1}^L \overline{X}(t_i) = -0,0221; \sum_{i=1}^L t_i = 630; \sum_{i=1}^L t_i^2 = 55860; \left( \sum_{i=1}^L t_i \right)^2 = 396900;$ $\sum_{i=1}^L t_i \overline{X}(t_i) = -1,4358;$ $\hat{b} = -0,000003;$ $\hat{a} = -0,0020$										

**Таблица 3. Проверка гипотезы об адекватности регрессии**

	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_{10}$	$t_{11}$	$t_{12}$
$S_J^2(t_i)$	1,26	1,10	1,34	1,50	1,68	1,65	1,16	1,14	0,96	0,96
$S^2 = 4,37 \cdot 10^{-6}; S_X^2 = 3,45 \cdot 10^{-6}; F_{\alpha, L-2, N(n-1)} = 2,30;$ $F = 0,12 \leq F_{\alpha, L-2, N(n-1)}$ , следовательно, модель адекватна										

### Литература

1. РМГ 74-2004. Рекомендации по межгосударственной стандартизации, Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
2. ILAC-G24/OIML D10, Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instrument, 2007.
3. Фридман А. Э. Основы метрологии: современный курс. СПб.: Профессионал, 2008. 279 с.
4. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Протокол от 26 ноября 2021 г. № 179-пр «Протокол заседания Научно-технической комиссии по метрологии и измерительной технике Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии».

5. Клокова Н. П. Тензорезисторы: Теория, методика расчета, разработки. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.
6. Тетерук Р. А., Фирсанов Н. А. Определение интервала между поверками по результатам проведения ресурсных испытаний на метрологический отказ // Вестник Метролога. 2023. № 1. С. 18–22.
7. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
8. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1975.

# ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ ПОВЕРКИ РАСХОДОМЕРОВ УСТРОЙСТВОМ ИМИТАЦИОННО- ПОВЕРОЧНЫМ *FIELDCHECK*

И. Ю. Фролов

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ»), г. Самара, Российская Федерация  
E-mail: frolovcsm@mail.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы проведения поверки расходомеров фирмы Endress + Hauser Flowtec AG. Приводятся основные проблемы, возникающие при проведении поверки расходомеров, находящихся в отдаленных и труднодоступных уголках нашей страны. Демонтаж и транспортировка таких средств измерений связана с высокими финансовыми и временными потерями. Также поднимается вопрос выполнения требований методики поверки устройства имитационно-поверочного FieldCheck.*

**Ключевые слова:** расходомер, поверка проливным методом, поверка имитационным методом

На сегодняшний день нефтяные и газовые предприятия для внутреннего учета производимого сырья используют расходомеры разных модификаций. И перед метрологией стоит задача поддерживать точность при измерениях продукта на всей территории нашей страны. Данную задачу на сегодня возможно решить только своевременной и высококвалифицированной поверкой средств измерений предприятий. На данный момент существуют два основных метода поверки средств измерений расхода.

Первый метод — это поверка проливным методом, который является надежным и проверенным, но, к сожалению, не всегда экономически возможным. Причина заключается в том, что для проведения данной поверки требуется демонтаж с последующей транспортировкой средства измерения в оборудованную аккредитованную лабораторию по поверке вышеупомянутых средств измерений.

В случаях, когда остановка трубопровода для демонтажа расходомеров с дальнейшей транспортировкой до места поверки экономически трудновыполнима, в методиках поверки на средства измерения утвержденного типа разработана поверка имитационным методом.

Данный вид поверки возможен, только когда средство измерения находится не на взрывоопасном участке. Для проведения поверки расходомеров фирмы Endress + Hauser Flowtec AG данным методом существует устройство имитационно-поверочное FieldCheck, проблеме использования которого мы поднимаем в данной работе.

Согласно методике поверки устройства имитационно-поверочного FieldCheck ежегодно требуется отправлять средство измерения на завод-изготовитель для проведения калибровки. Экспериментальным путем специалистами ФБУ «Самарский ЦСМ» установлено, что в ходе калибровки проверяется точность резистора с высокоточным сопротивлением. В связи со сложной геополитической обстановкой направление устройства FieldCheck на завод-изготовитель сопряжено с большими трудностями. По этой причине в ближайшем будущем эксплуатировать устройства имитационно-поверочного FieldCheck будет нельзя. Центры по метрологии в нашей стране имеют в своем арсенале эталоны с требуемой точностью, позволяющие провести контроль вышеуказанного сопротивления. Поэтому требуется незамедлительно пересмотреть методику поверки устройства имитационно-поверочного FieldCheck с целью разработать порядок поверки, исключающий отправку средства измерения на завод-изготовитель.

Цель настоящей статьи — предложение по пересмотру методики поверки устройства имитационно-поверочного FieldCheck (МП 36934-12).

По результатам был сделан вывод о том, что требуется пересмотреть методику поверки устройства имитационно-поверочного FieldCheck (МП 36934-12) в связи с невозможностью выполнения требования пункта 5.2.2 вышеуказанного документа. Вследствие переработки МП 36934-12 стоит пересмотреть все методики поверки, в которых участвует устройство имитационно-поверочное FieldCheck.

## Литература

1. Методика поверки устройства имитационно-поверочного FieldCheck (МП 36934-12).
2. Методика поверки расходомеров электромагнитных PROMAG (г. р. № 14589-09).
3. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

# ВЛИЯНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНИКОВ ДАВЛЕНИЯ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБАХ МАЛЫХ ДОЗВУКОВЫХ СКОРОСТЕЙ

С. Ю. Хижняк, О. В. Довыденко, А. И. Самойленко

Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ»), г. Жуковский, Российская Федерация  
E-mail: metrology@tsagi.ru

## **Аннотация**

*В докладе приведены результаты исследований погрешности измерений скорости воздушного потока в аэродинамических трубах (АДТ), обусловленной влиянием контрольных комбинированных приемников воздушного давления и трубных приемников давлений для скорости воздушного потока от 3 до 150 м/с. Показано, что их вклад в суммарную погрешность измерений достигает от 22% до 85%. Получены рекомендуемые значения характеристик контрольных приемников и коэффициента поля АДТ для обеспечения целевой погрешности 0,2 м/с при аттестации АДТ и 1,0 м/с при аэродинамических исследованиях.*

**Ключевые слова:** *аэродинамическая труба, скорость воздушного потока, инструментальная погрешность измерений, разность давлений, приемник воздушного давления, рабочая часть, коэффициент преобразования по давлению, коэффициент поля скоростных напоров*

Для измерений скорости потока в АДТ [1–5] применяются методики измерений, математическая модель которых [6], кроме непосредственно измеряемых величин, включает коэффициенты преобразования приемников полного и статического давления, воспринимающих скоростной напор потока.

Существуют две области применения таких методик: для аттестации АДТ и для аэродинамических исследований. В первом случае используют комбинированный приемник воздушного давления (контрольный ПВД) [7–9], который устанавливают в зоне расположения моделей. Во втором случае используют трубные приемники полного и статического давления, которые установлены в форкамере, на срезе сопла, на стенке рабочей части АДТ или около нее.



В каждом из этих случаев приемники давления вносят погрешность [10] в результат измерений. Для контрольных ПВД это влияние учитывается коэффициентом преобразования  $\xi$  [11], который был установлен для первичного и вторичного эталонов как константа по результатам их сличения. Влияние трубных приемников на воздушный поток учитывается коэффициентом поля скоростных напоров  $\mu$  [11]. В рамках данной работы проведены исследования погрешности измерений скорости потока от 3 до 150 м/с, обусловленной контрольными ПВД ( $\xi = 0,95 \dots 1,10$ ) и коэффициентом поля АДТ ( $\mu = 0,95 \dots 1,15$ ).

На результат измерений контрольным ПВД оказывает влияние как сам коэффициент преобразования  $\xi$ , так и СКО среднего арифметического  $S_{\xi_{\text{ср}}}$ , с которым он определен. При этом их вклад в погрешность измерений скорости потока достигает 40% при  $S_{\xi_{\text{ср}}} = 0,001$  и 79% при  $S_{\xi_{\text{ср}}} = 0,002$  (рис. 1).

На результат измерений трубными приемниками давлений оказывают влияние коэффициент поля  $\mu$  и погрешность его определения  $\Delta\mu$ . Коэффициент поля в данном случае учитывает несовершенство самих приемников давлений, место их установки, не совпадающее с зоной расположения моделей, а также неравномерность поля АДТ

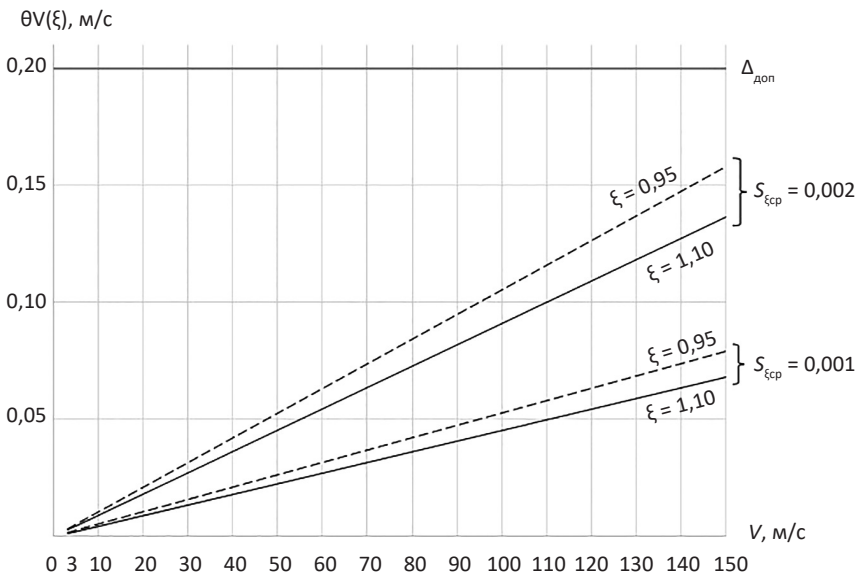


Рис. 1. Инструментальная погрешность. ПВД

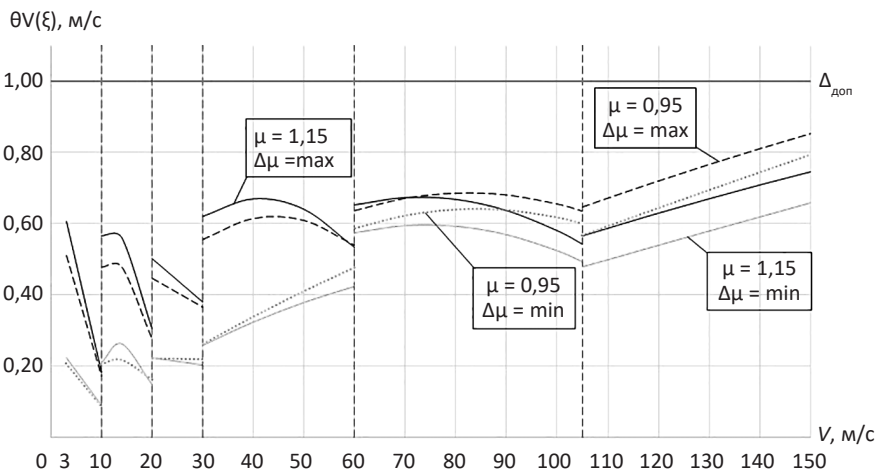


Рис. 2. Инструментальная погрешность. Коэффициент поля

и градиент скорости. При этом погрешность  $\Delta\mu$  обусловлена погрешностью применяемых для его определения контрольных ПВД, контрольных и трубных средств измерений, а также СКО коэффициента поля  $S_{\mu_{\text{ср}}}$ , которое для исследований принято 0,005, т. к. характерно для АДТ ЦАГИ. Вклад в погрешность измерений скорости потока коэффициента поля  $\mu$  и его погрешности достигает 22% при  $V \leq 30$  м/с и 79% при  $V > 30$  м/с при подключении к трубным приемникам контрольных датчиков повышенной точности для определения коэффициента поля ( $\Delta_{\mu_{\text{min}}}$ ) и 61% при  $V \leq 30$  м/с и 85% при  $V > 30$  м/с при подключении к трубным приемникам трубных датчиков обычной точности для определения коэффициента поля  $\Delta_{\mu_{\text{max}}}$  (рис. 2).

Для обеспечения целевой погрешности 0,2 м/с при аттестации АДТ коэффициент преобразования контрольного ПВД должен находиться в пределах от 0,95 до 1,10 и его СКО  $S_{\xi_{\text{ср}}}$  не должно превышать 0,001; для обеспечения целевой погрешности 1,0 м/с при аэродинамических исследованиях коэффициент поля должен находиться в пределах  $\mu = (1,05 \pm 0,10)$ , его СКО  $S_{\mu_{\text{ср}}}$  не должно превышать 0,005, и он должен быть определен с помощью датчиков, рекомендованных типовой методикой измерений [6].

## Литература

1. Петунин А. Н. Определение параметров потока пневмометрическим методом и методом скорости // Ученые записки ЦАГИ. 1988. Т. 19. № 3. С. 1–8.
2. Петунин А. Н. Методы и техника измерений параметров газового потока. М.: Машиностроение, 1996. 380 с.
3. Довыденко О. В., Хижняк С. Ю. Исследование на точность методик измерений скорости воздушного потока для аэродинамических труб дозвуковых скоростей ЦАГИ // Материалы X Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации», пос. Поведники Московской обл., 27–29 октября 2014 г. С. 62–66.
4. Довыденко О. В., Хижняк С. Ю., Самойленко А. И. Анализ требований к средствам измерений и алгоритмам вычислений для разработки типовой методики измерений скорости воздушного потока в аэродинамических трубах дозвуковых скоростей // Материалы 22-й международной школы-семинара в сборнике «Модели и методы аэродинамики». Российская академия наук. Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ). 2022 г. С. 85–86.
5. Довыденко О. В., Хижняк С. Ю., Самойленко А. И. Исследование инструментальной погрешности для разработки типовой методики измерений скорости воздушного потока в аэродинамических трубах дозвуковых скоростей // Сборник тезисов и докладов «За нами будущее» I Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов к 180-летию ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. 8–10 июня 2022 года, Санкт-Петербург. С. 224–227.
6. Хижняк С. Ю., Довыденко О. В., Самойленко А. И. Погрешность типовой методики измерений скорости воздушного потока в аэродинамических трубах малых дозвуковых скоростей // Измерительная техника. 2023. № 1. С. 8–15. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2023-1-8-15>.
7. Берг А. Г., Цыбина М. М., Сорокин М. Ю. Исследование приемников воздушных давлений // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики». Воронеж, 18–20 декабря 2017 г., Воронежский государственный университет. С. 562–566.
8. Амарантова И. И., Ганабова И. И., Петунин А. И. и др. Взаимное влияние приемников воздушного давления, одновременно установленных в поток // Ученые записки ЦАГИ. 1971. Т. 2. № 6. С. 15–22.

9. Бессонов Д. А., Гура Г. В. Взаимное влияние приемника воздушно-го давления и модели в исследованиях параметров потока в аэродинамической трубе // Ученые записки ЦАГИ. 1988. Т. 19. № 6. С. 119–124.

10. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. Введ. 1992-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. 9 с.

11. ГСО ЕИ МИ 2000-89. Трубы аэродинамические малых дозвуковых скоростей. Методика метрологической аттестации. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 18 с.

# ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ УЗПР В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ИХ СОСТОЯНИЯ

Н. О. Чирко

ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», Минск, Республика Беларусь  
E-mail: m.chyrko@btg.by

## *Аннотация*

*Повышение метрологической надежности средств измерений количества газа является актуальной производственной задачей. Внедрение метода непрерывного мониторинга состояния ультразвуковых преобразователей расхода газа (далее — УЗПР) в процессе эксплуатации позволяет осуществлять оперативный контроль за работой УЗПР, выявлять отклонения в работе оборудования на ранних стадиях и прогнозировать отказы.*

**Ключевые слова:** УЗПР, непрерывный мониторинг, качество сигнала, метрологический контроль

В настоящее время в ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» (далее — Общество) эксплуатируется более 100 УЗПР, которые обеспечивают измерения  $\approx 20\%$  объема природного газа, поставляемого потребителям Республики Беларусь. Увеличение количества УЗПР в Обществе обусловлено: высокой точностью; большим диапазоном измеряемых расходов по сравнению с методом переменного перепада давления (с помощью стандартных сужающих устройств — диафрагм).

Кроме того, УЗПР имеют еще одно существенное практическое преимущество — наличие функции самодиагностики, которая позволяет на ранних стадиях фиксировать отклонения в их работе. Однако территориальная удаленность мест установки УЗПР затрудняет оперативную оценку его состояния и требует значительных затрат на проведение диагностики УЗПР по месту эксплуатации. Это приводит к тому, что реагирование на нештатные ситуации происходит по факту их возникновения, а не по своевременному предупреждению.

При организации системы дистанционного мониторинга перед Обществом стояла задача повысить надежность эксплуатации коммерческих узлов измерений с установленными УЗПР, а также уменьшить затраты (как временные, так и финансовые) на организацию контроля за их работой.

В рамках решения данной задачи выработана двухэтапная система мониторинга за работой УЗПР:

— дистанционный онлайн-мониторинг параметров работы УЗПР совместно с контролем за состоянием формирователей потока газа. При дистанционном онлайн-мониторинге параметров контролируется наличие ошибок и предупреждений в УЗПР, проверяются архивы аварий и вмешательств;

— расширенный мониторинг УЗПР с использованием сервисного программного обеспечения (в настоящее время проводится по месту эксплуатации). В ходе расширенного мониторинга УЗПР контролируются профиль потока, уровень усиления сигнала, качества сигнала, отношения сигнал/шум, отношение скорости газа по акустическому каналу к средней скорости газа в УЗПР и скорость распространения звука.

С целью раннего выявления отклонений в работе, которые могут повлиять на метрологические характеристики УЗПР, предлагаю реализовать дистанционный расширенный мониторинг УЗПР с помощью сервисного программного обеспечения завода-изготовителя и АРМ верхнего уровня без необходимости выезда специалистов к месту эксплуатации УЗПР. Применение метода дистанционного расширенного мониторинга УЗПР требует наличия качественных высокоскоростных цифровых каналов связи (технологическая сеть Ethernet). Подключение различных типов УЗПР со своими интерфейсами передачи данных (RS-232, RS-485) решается применением преобразователей интерфейсов.

Реализация метода проведения дистанционного двухэтапного мониторинга состояния УЗПР позволит оперативно принимать решения по устранению несоответствий в их работе, избежать дорогостоящего ремонта оборудования, исключить дополнительные финансовые издержки на выезды специалистов к месту установки УЗПР и обеспечит бесперебойное и достоверное измерение количества газа, поставляемого потребителю.

## **Литература**

1. ГОСТ 8.611-2013. ГСОЕИ. Расход и количество газа. Методика (метод) измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода.

2. СТБ ISO 17089-1-2018. Измерение сред, протекающих в закрытых трубопроводах. Ультразвуковые счетчики газа. Часть 1. Счетчики для

коммерческого учета на газоизмерительных станциях и измерений в газораспределительных системах.

3. СТО Газпром 5.37-2020. ОЕИ. Единые технические требования на оборудование узлов измерения расхода, объема и энергосодержания природного газа.

4. СТО Газпром 5.71-2016. ОЕИ. Правила эксплуатации узлов измерений расхода (объема) энергоносителей.

5. СТО Газпром 5.55-2015. ОЕИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем расхода объема и энергосодержания газа.

6. СТО Газпром 2-2.1-1068-2016. Проектирование, разработка и внедрение измерительных систем расхода, объема и энергосодержания природного газа.

7. Ю. В. Смирнов (ООО «Газпром трансгаз Москва», РФ, Москва), И. Б. Амураль (ООО НПО «Турбулентность-Дон», РФ, Ростов-на-Дону), А. Н. Слонько (ООО «СКТБ Турбо-Дон», РФ, Ростов-на-Дону) измерительная система для учета газа на базе ультразвукового счетчика Turbo Flow UFG. URL: [https://www.turbo-don.ru/assets/images/news/300616/Turbo%20Flow%20UFG%20ultrasonic%20measurement\\_2016.pdf](https://www.turbo-don.ru/assets/images/news/300616/Turbo%20Flow%20UFG%20ultrasonic%20measurement_2016.pdf).

С. Г. Марченко, А. М. Ляшенко, ООО «Газпром трансгаз Москва» (Москва, РФ), А. М. Деревягин, В. В. Козлов, Г. А. Деревягин, ЗАО НПО «Вымпел» (Москва, РФ). Сравнение расходомеров. Применение ультразвуковых расходомеров. URL: <https://work.vympel.group/company/articles/importozameshchenie-v-ultrazvukovoy-raskhodometrii/>.

8. John Lansing, RMG Americas. Virtual Meter Path Technology (VMPT) URL: <https://static.rmg.com/31541/Tech-Note-9-Virtual-Meter-Path-Technology.pdf>.

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА ЖИДКОСТИ В БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

А. С. Шабалин

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ВНИИР — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Казань, Российская Федерация  
E-mail: shabalin90@yandex.ru

## *Аннотация*

*Коммерческий учет воды имеет важное значение, а требования по его организации закреплены во многих нормативных правовых актах. Сточные воды в системе водоотведения транспортируются по безнапорным трубопроводам, что создает дополнительные сложности при измерениях. Существует большое количество средств измерений расхода жидкости, предназначенных для измерения расхода сточных вод, однако в настоящее время наиболее перспективным методом измерений расхода жидкости в безнапорных трубопроводах является метод «площадь-скорость».*

**Ключевые слова:** *учет, безнапорный трубопровод, метод «площадь-скорость»*

Коммерческий учет воды имеет важное значение, и требования по его организации закреплены во многих нормативных правовых актах [1–3]. Традиционным методом учета сточных вод является сопоставление их объема с объемом водопотребления [4]. Объем водопотребления измеряется счетчиком, установленным на напорном трубопроводе и измеряющим расход жидкости с установленными метрологическими характеристиками. Таким образом, все данные для расчета есть, и этот расчет достаточно корректен. Данный метод при всей своей малой стоимости (не требует дополнительных средств измерений) весьма приблизительный и применим для индивидуальных домохозяйств. На предприятиях существует множество технологических процессов, потребляющих воду, в связи с чем объем стоков может существенно снизиться (на 10–30% от объема поступившей воды) или, наоборот, могут присутствовать неучтенные источники воды, что приведет к увеличению объема стоков по сравнению с объемом поступившей воды. Данные обстоятельства требуют организации учета сточных вод [5]. Существуют разные подходы к измерени-



ям расхода сточных вод, однако в настоящее время наиболее перспективным методом измерений расхода жидкости в безнапорных трубопроводах является метод «площадь-скорость» [6]. Проведенный анализ средств измерений утвержденного типа в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений показал, что средств измерений расхода жидкости, работающих по принципу «площадь-скорость» и предназначенных для измерений расхода жидкости в безнапорных трубопроводах, насчитывается более 50 типов. При этом полностью отсутствует эталонная база для непосредственной передачи единицы объема и объемного расхода данным средствам измерений. Определение относительной погрешности измерений объема и объемного расхода данными средствами измерений проводится путем расчета по известным погрешностям элементов, входящих в состав данного средства измерений, при этом расчет погрешности у разных типов средств измерений может отличаться [7]. Данный подход при всей его простоте не учитывает явлений, сопровождающих измерения жидкости в безнапорных трубопроводах. Это подпоры, клиноструйность, возмущения потока, неоднородность среды, обратные потоки. К тому же измерения могут осложняться испарениями, пенообразованием и волнами на поверхности жидкости в трубопроводе. В результате у эксплуатирующих организаций возникают сомнения в достоверности учета и появляется потребность в периодических сопоставительных измерениях с применением других подобных средств измерений [8].

Проведенный анализ данного вида измерений свидетельствует о существующих проблемах, для решения которых предлагается:

- 1) изменить подход к определению погрешности объема и объемного расхода жидкости в безнапорных трубопроводах;
- 2) продолжить совершенствовать существующую эталонную базу измерений объема и объемного расхода жидкости;
- 3) определить наилучший метод для поверки средств измерений расхода в безнапорных трубопроводах на месте эксплуатации.

## Литература

1. Федеральный закон от 07.12.2011 № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении».
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 № 644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотве-

дения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 04.09.2013 № 776 «Об утверждении Правил организации коммерческого учета воды, сточных вод».

4. Матюгин М. А., Мильцын Д. А. Современные приборы и методы измерения расхода воды в открытых водотоках // Вестник ВГАВТ. 2015. Вып. 44. С. 66–76.

5. Трофимов В. В. Коммерческий учет сточных вод в безнапорных каналах // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 7. С. 4–11.

6. Шабалин А. С. Анализ современных методов и средств измерений расхода жидкости в безнапорных трубопроводах, проблемы и пути решения // Лучший молодой метролог ВНИИМ-2023. СПб., 2023.

7. Шабалин А. С. Проблемы измерений расхода сточных вод в безнапорных трубопроводах и пути решения // Водные ресурсы — основа глобальных и региональных проектов обустройства России, Сибири и Арктики в XXI веке. Тюмень, 2023.

8. Костенко И. Г., Мартюгин В. А., Вязьмин Ю. А. Измерение параметров безнапорных потоков сточных вод: приборный парк // Наилучшие доступные технологии. 2019. № 5. С 21–29.

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ ПОВЕРКИ СИ

М. Н. Шакина

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция»,  
г. Курчатов, Российская Федерация  
E-mail: maria.nickolaew@yandex.ru

## *Аннотация*

*Целью данной статьи является предложение по внедрению электронной программы протоколов поверки на Курской АЭС.*

**Ключевые слова:** *протокол, поверка, электронная программа*

Поверка СИ является одной из форм государственного регулирования в области обеспечения единства измерений. Поверку СИ на Курской АЭС осуществляют аккредитованные на проведение поверки СИ в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации специалисты отдела метрологии (далее — ОМ).

Протокол поверки оформляется по форме, рекомендуемой методикой поверки, с учетом обязательных требований. При отсутствии рекомендаций в методике поверки протокол разрабатывается в ОМ и утверждается главным метрологом.

Поверитель сталкивается с проблемой потери рабочего времени, уменьшения производительности.

Поэтому я предлагаю создать электронную программу протоколов поверки (название программы — «Программа для метрологов»). Где каждый поверитель на своем рабочем месте, открывая данную программу, входит под своим логином и паролем, выбирает код вида измерения, тип СИ, который он собирается поверить, вносит все необходимые данные для протокола (год выпуска, заводской номер, эталоны, показания при прямом и обратном ходе и т. д.). А также в данной программе будут формулы для расчета абсолютной погрешности, вариации и т. п. Заполнив в программе все необходимое, можно отправить данные в информационную систему ФИФ в области использования атомной энергии (ИС ФИФ ОИАЭ), ФГИС «Аршин» и в Росаккредитацию, что сокращает время поверки, увеличивает производительность. На выходе получаем готовый протокол по форме методики поверки или форме, утвержденной главным метрологом, а также свидетельство о поверке.

Для того чтобы создать подобную программу, необходимы:

- специалист по программированию;
- правильные, без ошибок, утвержденные главным метрологом или взятые из методик поверки протоколы;
- связаться с разработчиками сайтов ИС ФИФ ОИАЭ, ФГИС «Аршин» и Росаккредитации, для того чтобы подавать сведения через нашу программу.

### **Литература**

1. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.11.2020 № 61033).
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ.
3. Руководство по качеству поверочной деятельности РУ 1.1.3.16.1316-2017.
4. Федеральный закон «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» от 28.12.2013 № 412-ФЗ.

# РИСКИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПРОЦЕДУРЫ АККРЕДИТАЦИИ ИЛИ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

А. Э. Шафигина

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии — филиал Федерального государственного унитарного предприятия Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (ВНИИР — филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»), Казань, Российская Федерация  
E-mail: shafigina.98@mail.ru

## Аннотация

*В тезисе проработаны основные положения нормативных документов в национальной системе аккредитации, выделены основные рисковые ситуации при подготовке к процедурам аккредитации и подтверждения компетентности организаций с учетом обновленных требований.*

**Ключевые слова:** национальная система аккредитации, аккредитация, подтверждение компетентности, система менеджмента качества, риски

Согласно Федеральному закону № 102-ФЗ [1] работы и услуги в области обеспечения единства измерений могут оказывать лица, аккредитованные в национальной системе аккредитации. На данный момент порядок проведения аккредитации и последующего подтверждения компетентности регулируется Федеральным законом № 412-ФЗ [2] и постановлением Правительства РФ № 2050 [3] (далее — постановление).

Основные положения постановления вступили в силу с 1 марта 2022 г., но в связи с периодическими переносами сроков [4] на данный момент организации только начинают переходить на требования нового документа.

В таблице 1 рассмотрены основные рисковые ситуации прохождения аккредитации и подтверждения компетентности.

Учитывая вышеизложенное, организациям необходимо учесть данные риски при планировании процедуры аккредитации или подтверждения компетентности, заблаговременно формировать документы, использовать пакетную выгрузку сведений о результатах деятельности (для результатов поверки средств измерений [8]).

**Таблица 1. Основные рисковые ситуации**

Требования	Риск
<p>В одном заявлении об аккредитации или подтверждении компетентности может быть заявлена только одна область аккредитации в соответствии с одной схемой аккредитации</p>	<p>Организации, у которых была совмещенная область аккредитации, например поверка и испытания в целях утверждения типа, не могут подать заявления на подтверждение компетентности. Разъяснений или временного порядка работ по данному вопросу не опубликовано</p>
<p>К заявлению об аккредитации или подтверждении прикладываются заявляемая область аккредитации, анкета самообследования и документы, подтверждающие соответствие критериям аккредитации [5]</p>	<p>Отсутствие необходимых характеристик или символов, некорректное отображение данных, сбои в работе Федеральной государственной информационной системы Федеральной службы по аккредитации (далее — ФГИС Росаккредитации) при формировании данных документов. Несвоевременная подача заявления из-за невозможности формирования документов приведет к приостановке деятельности лица (или к отказу в аккредитации)</p>
<p>Договор заявителя с экспертной группой формируется и заключается в электронном виде на специализированной электронной площадке. Срок заключения составляет 3 рабочих дня с момента направления приказа</p>	<p>Договоры в основном подвергаются согласованиям внутри организации. За 3 рабочих дня данный процесс не всегда можно завершить, при условии что заключение договора должно быть на электронной площадке</p>
<p>Аккредитованные лица должны передавать сведения о результатах своей деятельности через личный кабинет ФГИС Росаккредитации [6]</p>	<p>Нарушение сроков передачи из-за сбоев. На настоящий момент существует дублирование работы в части выполнения требований Приказа Минэкономразвития № 704 и Приказа Минпромторга № 2906 [7], так как сроки подачи одних и тех же сведений различаются, что может увеличить объем работы персонала и привести к необходимости выделять дополнительный штат</p>

## Литература

1. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2008. № 26. Ст. 3021.
2. Федеральный закон от 28.12.2013 № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201312300024>.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 26.11.2021 г. № 2050 «Об утверждении Правил осуществления аккредитации в национальной системе аккредитации, Правил проведения процедуры подтверждения компетентности аккредитованного лица, Правил внесения изменений в сведения об аккредитованном лице, содержащиеся в реестре аккредитованных лиц и предусмотренные пунктами 7 и 8 части 1 статьи 21 Федерального закона “Об аккредитации в национальной системе аккредитации”, Правил рассмотрения заявления аккредитованного лица о прекращении действия аккредитации и принятия национальным органом по аккредитации решения о прекращении действия аккредитации, об изменении и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Официальный интернет-ресурс Федеральной службы по аккредитации URL: [https://fsa.gov.ru/documents/11845/пп 353](https://fsa.gov.ru/documents/11845/пп_353).
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 12.03.2022 № 353 «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 году» [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203140039>.
5. Приказ Минэкономразвития России от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации» [Электронный ресурс]. Официальный интернет-ресурс Федеральной службы по аккредитации URL: <https://fsa.gov.ru/documents/11845/>.
6. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 24.10.2020 № 704 «Об утверждении Положения о составе сведений о результатах деятельности аккредитованных лиц, об изменениях состава их работников и о компетентности этих работников,

об изменениях технической оснащенности, представляемых аккредитованными лицами в Федеральную службу по аккредитации, порядке и сроках представления аккредитованными лицами таких сведений в Федеральную службу по аккредитации» [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010220032>.

7. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.08.2020 № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений» [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010220032>.

8. Официальный интернет-ресурс Федеральной службы по аккредитации URL: <https://fsa.gov.ru/press-center/news/18005/>.



# ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

А. А. Шираев

ООО «Газпром трансгаз Уфа», Уфа, Российская Федерация  
E-mail: azakirova@ufa-tr.gazprom.ru

## **Аннотация**

*Метрологическое обеспечение предприятия — деятельность, направленная на достижение единства измерений, включающая в себя ведение учета средств измерений, формирование отчетности и ее выгрузку в различные базы данных, в том числе ФГИС «Аршин», ФГИС Росаккредитации, а также локальные системы. Важной перспективной задачей в этом направлении является интеграция этих систем в целях совершенствования бизнес-процессов, снижения количества ошибок, возникающих при внесении и изменении данных.*

**Ключевые слова:** *обеспечение единства измерений, информационная система, ФГИС «Аршин», средства измерений, интеграция, база данных, шаблонная загрузка*

Информация является одним из самых ценных ресурсов, и ее обработка и хранение становятся все более важными задачами для организаций. В области ОЕИ информация, характеризующая средства измерений (наименование, тип средства измерений, дата поверки, диапазон измерения, класс точности и т. п.), хранится в разных базах данных предприятия под разными названиями или форматами, что затрудняет ее использование и анализ. Кроме того, при изменении информации в одной системе не всегда происходит автоматическое обновление соответствующей информации в другой, что может привести к ошибкам и неправильным решениям. Эта проблема особенно актуальна для крупных организаций, которые имеют множество подразделений и эксплуатируют множество информационных систем (ИС), как федеральных (ФГИС «Аршин», ФГИС Росаккредитации), так и локальных ИС.

Например, различные перечни средств измерений, их характеристики хранятся и в системе Инфотех, и в АРМ-Метролог, а информацию о поверке данных СИ необходимо актуализировать, используя ФГИС «Аршин».

Лица, аккредитованные на право поверки СИ, вносят информацию о поверке средств измерений и во ФГИС «Аршин», и во ФГИС Росаккредитации.

Отсутствие возможности связи между ИС создает определенные сложности в работе специалистов по метрологии. Интеграция систем является необходимым инструментом для эффективного использования данных и улучшения бизнес-процессов.

Обмен данными между различными ИС является важной задачей в работе специалистов данного направления. Этот процесс, позволяющий обеспечить эффективную и точную интеграцию различных информационных ресурсов, необходимо реализовать в работе как ФГИС, так и локальных ИС. Одним из возможных способов решения этой задачи является реализация функции шаблонной загрузки и выгрузки данных. Использование форматов выгрузки может варьироваться в зависимости от требований системы и от используемого программного обеспечения и типа баз данных.

Некоторые из наиболее распространенных форматов для шаблонных выгрузок в метрологии включают Excel, CSV, XML и JSON. Важно выбрать формат, который подходит для конкретного проекта и обеспечивает наибольшую эффективность и точность при интеграции данных.

Кроме того, интеграция баз данных позволит снизить вероятность ошибок при обработке данных и упростить процесс принятия решений и повысить их качество.

## **Литература**

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102 «Об обеспечении единства измерений».

2. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 24.10.2020 г. № 704 «Об утверждении положения о составе сведений о результатах деятельности аккредитованных лиц, об изменениях состава их работников и о компетентности этих работников, об изменениях технической оснащенности, представляемых аккредитованными лицами в Федеральную службу по аккредитации, порядке и сроках представления аккредитованными лицами таких сведений в Федеральную службу по аккредитации».

3. ГОСТ Р ИСО 1000-2017. Системы менеджмента качества. Руководство по управлению конфигурацией.

4. ГОСТ Р ИСО 17020-2012. Общие требования к работе органов по сертификации продукции и услуг.
5. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / под ред. В. Г. Колесникова, В. А. Лапшина. М.: Высшая школа, 2017.
6. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / под ред. А. А. Кузнецова, А. В. Кутырева. М.: Инфра-М, 2018.
7. Метрология и контроль качества: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / под ред. Ю. В. Бойко, В. А. Первушина. М.: Высшая школа, 2018.
8. Справочник метролога: в 2 томах / под ред. А. П. Кузнецова, А. А. Широкова. М.: Издательский дом «Лань», 2021.

# РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПО ПОВЕРКЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Д. А. Шкурин, И. А. Зенин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. Б. А. Дубовикова в Саратовской области» (ФБУ «Саратовский ЦСМ им. Б. А. Дубовикова»), г. Саратов, Российская Федерация  
E-mail: rei@gosmera.ru

## *Аннотация*

*Описаны результаты разработки виртуального тренажера по проверке трансформаторов напряжения, в частности сборка схемы подключения оборудования в соответствии с ГОСТ 8.216-2011 ГСИ. Трансформаторы напряжения. Методика проверки. Разработанный тренажер позволит проводить обучение по проверке трансформаторов в тестовом режиме для вновь принятых специалистов-метрологов.*

**Ключевые слова:** метрология, трансформаторы напряжения, виртуальная реальность, проверка, обучение

Технологии виртуальной и дополненной реальности позволяют создавать обучающие программы-тренажеры для различных сфер деятельности человека. Данные продукты дают возможность быстрого визуального обучения специалистов с возможностью полного погружения в реальную модель процесса.

Целью данного проекта являлась разработка тренажера по проверке трансформаторов напряжения с использованием VR/AR-технологий. Основной задачей виртуального тренажера является обучение метрологов правильной прокладке и соединению первичных и вторичных проводников поверочной схемы в соответствии с ГОСТ 8.216-2011 «ГСИ. Трансформаторы напряжения. Методика проверки».

Тренажер состоит из программной части, использующей технологию распознавания, а также оборудования: компьютера, планшета (мобильного устройства) или шлема виртуальной реальности. Обучающая программа наглядно демонстрирует порядок и последовательность действий рабочего процесса. Каждое действие, совершаемое в тренажере, сопровождается голосовыми подсказками и всплывающими чек-листами. Все обучение выстроено поэтапно:

— знакомство метрологов с требованиями техники безопасности при работе с трансформаторами напряжения;

- оценка условий проведения поверочных работ;
- изучение комплекта эталонов и вспомогательного оборудования, необходимого для проведения поверки трансформаторов;
- изучение схемы прокладки и соединения первичных и вторичных проводников в соответствии с ГОСТ 8.216-2011;
- сборка поверочной схемы в режиме виртуальной реальности.

Весь процесс обучения выстраивается таким образом, что переход с одного этапа на другой возможен только при корректном прохождении предыдущего этапа. В случае неправильного или непоследовательно совершенного действия программа блокирует возможность перехода на другую ступень обучения. С помощью голосового помощника, анимации и всплывающих чек-листов пользователь может идентифицировать допущенную ошибку и заново пройти этап обучения. Виртуальный тренажер позволяет специалисту-метрологу получить практические навыки по поверке трансформаторов напряжения для выполнения данного вида работ.

На сегодняшний день сотрудниками ФБУ «Саратовский ЦСМ им. Б. А. Дубовикова» разрабатываются технические задания по созданию виртуальных тренажеров по поверке различных типов средств измерений. Данные проекты реализуются совместно с детским технопарком «Кванториум» (направление VR-квантум), входящим в состав Метрологического образовательного кластера.

## Литература

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. ГОСТ 8.216-2011 ГСИ. Трансформаторы напряжения. Методика поверки. М: Стандартинформ, 2019.
3. ФГИС «Аршин». <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1406105>.
4. Виртуальные тренажеры: проблемы теории и методологии проектирования <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnye-trenazhery-problemy-teorii-i-metodologii-proektirovaniya>.
5. Симуляторы и тренажеры виртуальной и дополнительной реальности в профессиональной подготовке и оценке квалификации. <https://smarteka.com/uploads/files/2021/07/25/93703963-2120-432f-85aa-4c0ea1b36b547bcb67b-c6f2-4749-9e3a-7be1d33fa933.pdf>.

6. Дудырев Ф. Ф., Максименкова О. В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты: Вопросы образования // Educational Studies Moscow. 2020. № 3. С. 255–276.

7. Приказ Минпромторга России (Министерство промышленности и торговли РФ) от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

8. Как VR-тренажеры влияют на обучаемость сотрудников и снижают риск травматизации <https://vc.ru/marketing/392120-kak-vr-trenazhery-vliyayut-na-obuchaemost-sotrudnikov-i-snizhayut-risk-travmatizacii>.

# ОПТИМИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ ПРИ ПОВЕРКЕ

А. А. Шталинский

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Калужской области» (ФБУ «Калужский ЦСМ»), г. Калуга, Российская Федерация

## **Аннотация**

*Для уменьшения трудоемкости измерения линейных характеристик электрокардиограммы сотрудниками ЦСМ было разработано программное обеспечение. Оно предназначено для анализа испытательного сигнала «4». С помощью данного программного обеспечения можно измерить амплитудные и временные интервалы по каждому отведению. При его использовании существенно увеличивается скорость анализа ЭКГ при поверке. Для того чтобы программа не вносила существенную погрешность в измерение геометрических размеров испытательного сигнала «4», изображение ЭКГ должно быть получено с помощью сканера с разрешением не менее 600 dpi.*

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, испытательный сигнал, программное обеспечение, масштаб, интервал, погрешность, параметры, анализ

## **Программное обеспечение для анализа испытательного сигнала «4»**

После запуска программы открывается форма программы, изображенная на рисунке 1.

На данном рисунке мы видим информационные поля: начальные координаты (в пикселях), конечные координаты (в пикселях), длина, метод измерения (с выбором координат), длина метрическая.

Для того чтобы задать размерность, мы должны загрузить файл с отсканированными мерами.

Перед началом измерения линейных размеров необходимо определить масштабный коэффициент, для этого надо нажать кнопку «Система» → «Размерность» → «Задать», после чего откроется окно «Установление размерности». В поле «Метрические размеры» необходимо ввести длину отверстия меры (20,05915 мм), без указания единицы измерения, при этом выбрать в поле «Метод измерения длины» пункт «У», после чего будет произведен расчет масштабного

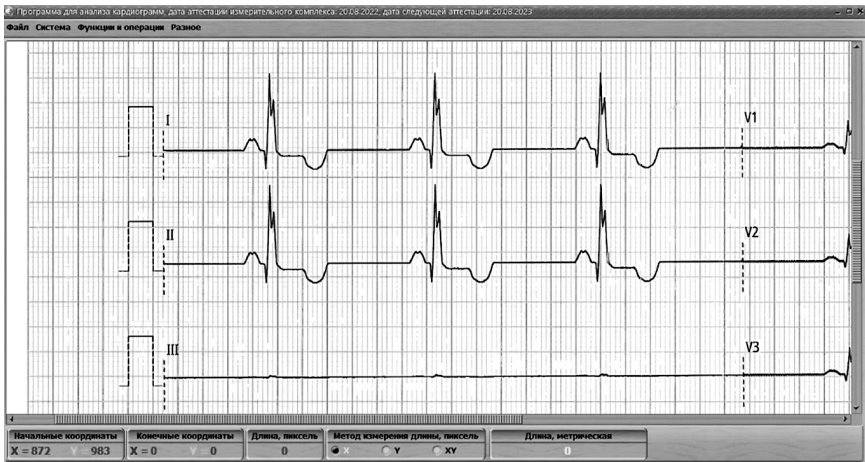


Рис. 1. Начальная форма программы

коэффициента по формуле (1). Далее для сравнения аналогичным способом измерим вторую меру (40,03786 мм).

$$K = \frac{L}{X(Y)_{\text{Конец}} - X(Y)_{\text{Начало}}}, \quad (1)$$

где  $K$  — масштабный коэффициент;  $L$  — размеры меры;  $X(Y)_{\text{Начало}}$ ,  $X(Y)_{\text{Конец}}$  — координаты по оси  $X(Y)$  точек. После вычисления масштабного коэффициента необходимо нажать кнопку «Принять», в результате чего окно «Установление размерности» закроется.

Требование по ЭКГ — 0,1 мм цена деления, у нас же цена деления совпадает со значением масштабного коэффициента (0,04 мм).

Далее загружаем файл с ЭКГ. При выборе названия файла одним кликом левой клавиши мышки (ЛКМ) загружается изображение ЭКГ (в формате jpg).

Нас интересует анализ сигнала «4». Для этого нажимаем «Функции и операции» → «Анализ испытательного ЭКГ-сигнала».

Открывается окно, в котором прописаны: параметры ЭКГ и ЭКП, амплитудные параметры, временные параметры, а также окно с подсказками. При выборе интервала отображается, где этот интервал находится на ЭКГ. Например, мы хотим измерить интервал A1 на изо-



бражении ЭКГ, для этого надо совершить последовательность действий:

1. Выбрать следующие параметры:
  - «Дата» — в зависимости от года выпуска электрокардиографа, выбираем из открывающегося списка: «до 1995» или «после 1995»;
  - «S=» — в зависимости от чувствительности, с которой была записана ЭКГ: «10 мм/мВ», «5 мм/мВ» или «20 мм/мВ»;
  - «V=» — в зависимости от скорости записи ЭКГ: «25 мм/с» или 50 мм/с;
  - «Отведение» — выбрать отведение, которое будет измеряться.
2. Нажать ЛВМ на кружок рядом с «A1», после чего отобразится подсказка, что необходимо измерить.
3. Выбрать в соответствии с рисунком точку 1 на изображении ЭКГ и кликнуть ЛКМ, далее выбираем точку 2 и кликнуть ЛКМ.
4. В результате в поле интервала «A1» будет выведен результат измерений. Если результат измерений вписывается в диапазон допустимых значений, то загорится галочка зеленым цветом, если результат измерений не вписывается, то загорится красный крестик.

## Литература

1. Р 50.2.009-2001. Рекомендации по метрологии. Электрокардиографы, электрокардиоскопы и электрокардиоанализаторы. Методика поверки.
2. ГОСТ 19687-89. Приборы для измерения биоэлектрических потенциалов сердца. Общие технические требования и методы испытаний.
3. ГОСТ Р 50267.0.2-2005. Изделия медицинские электрические. Часть 1–2. Общие требования безопасности. Электромагнитная совместимость. Требования и методы испытаний.
4. Тепляков С. В. Паттерны проектирования на платформе .NET. СПб.: Питер, 2015. 320 с.
5. Розенберг Д., Скотт К. Применение объектного моделирования с использованием UML и анализ прецедентов / пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2002.
6. Аллен Э. Типичные ошибки проектирования / пер. с англ. СПб.: Питер, 2003. 224 с.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ «С ОТКРЫТОЙ ГРАДУИРОВКОЙ»: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А. А. Щербалев

Инженерно-технический центр ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»,  
Ставрополь, Российская Федерация  
E-mail: sherbalev@mail.ru

## **Аннотация**

*В работе рассмотрены особенности цифровых средств измерений при эксплуатации в сферах гос. регулирования. Проанализированы проблемные и спорные вопросы, возникающие при эксплуатации (осуществлении торговли, учете количества энергетических ресурсов) с контрагентом, и разработаны пути решения на месте эксплуатации с учетом особенности эксплуатации. Результаты показали необходимость пересмотра и доработки некоторой НТД.*

**Ключевые слова:** *средство измерения, метрология, межповерочный интервал, метрологическая характеристика, преобразователь давления, метрологически значимое программное обеспечение*

Внедрение цифровых технологий в процесс измерений является перспективным направлением в метрологии, но при многих плюсах в процессе эксплуатации мы сталкиваемся с рядом сложностей.

Целью данной работы было обобщение информации о цифровых средствах измерения (СИ) [1], выявление недостатков и поиск путей решения. В ходе анализа были выявлены наиболее уязвимые места СИ, это отсутствие единых подходов к проверке настроечных параметров СИ и проведению корректировок нуля СИ давления.

Доступ к настройкам цифровых СИ осуществляться с помощью программного обеспечения [2, 3], с разными уровнями доступа, через стандартные интерфейсы связи, поэтому обеспечить полную защиту невозможно, так как риск распространения пароля всегда имеется. Формально производители СИ выполняют требование Статьи 9 ФЗ № 102 [4], обеспечивая ограничение доступа к определенным частям средств измерений (включая программное обеспечение), а поверители выполняют требования приказа № 2510 [5], устанавливая пломбы

только в местах, предусмотренных конструкцией. Согласно методикам поверок [6], у поверителя нет обязанности проверять настроечные параметры (влияющие на метрологические характеристики СИ), а также ставить пломбы, которые не предусмотрены описанием типа.

На данный момент для решения данной проблемы приходится снимать настройки непосредственно с СИ и контролировать их в процессе эксплуатации. Также мы прорабатываем вопрос с поверителями и производителями СИ о необходимости документирования настроек в момент поверки. Предлагаем дополнить процедуру поверки необходимостью сличения и фиксации всех настроечных параметров СИ.

Второй немаловажный вопрос остается о СИ, имеющих внешнюю кнопку для корректировки смещения характеристики датчика (калибровка «нуля»). Согласно описаниям типов, многие преобразователи имеют только встроенное метрологически значимое программное обеспечение, которое является неизменяемым и не считываемым, а насчет пломбировки написано — «пломбирование датчиков не предусмотрено» [7]. Уровень защиты ПО от непреднамеренных и преднамеренных изменений — «средний» в соответствии с Р 50.2.077-2014 [8]. Теоретически СИ с внешними кнопками абсолютно не вписываются в государственное регулирование в виде поверки, так как после поверки можно беспрепятственно изменить его метрологические характеристики.

Но практически анализ работ СИ в течение межкалибровочно-го/межповерочного интервала свидетельствует о необходимости корректировки нулевой точки для соблюдения метрологических характеристик в течение межповерочного интервала. Уменьшать межповерочный интервал нецелесообразно, так как при определении МПИ учитывается оптимизация экономических издержек на содержание СИ [9].

Безусловно, корректировка нулевой точки нужна в процессе эксплуатации. Но фактически это противоречит обеспечению единства измерения. Также обращаю внимание, что данные работы должны регламентироваться описанием типа или иным документом и должны проводиться только в присутствии лиц, заинтересованных в корректных измерениях.

## Литература

1. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
2. Руководство по эксплуатации ТУАС.407252.001 РЭ. Расходомеры-счетчики газа ультразвуковые Turbo Flow UFG.
3. Описание типа средства измерений «Счетчики газа ультразвуковые FLOWSIC600». [Электронный ресурс] URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/354769>.
4. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102 ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями и дополнениями).
5. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.11.2020 № 61033).
6. Методика поверки «Расходомеры газа ультразвуковые MPU». [Электронный ресурс] URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/583051>.
7. Описание типа средства измерений «Датчики давления Метран-75». [Электронный ресурс] URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/359619>.
8. Р 50.2.077-2014. Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка защиты программного обеспечения.
9. Фридман А. Э. Основы метрологии: современный курс. СПб.: Професионал, 2008. 279 с.
10. РМГ 74-2004. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
11. ГОСТ Р 8.654-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Приветствия участникам конференции

*Антон Шалаев,*

Руководитель Федерального агентства по техническому  
регулированию и метрологии ..... 4

*Валерий Гуревич,*

Президент КООМЕТ, член Комитета КООМЕТ  
от Республики Беларусь ..... 5

*Евгений Лазаренко,*

заместитель Руководителя Федерального агентства по техни-  
ческому регулированию и метрологии, вице-президент КООМЕТ ... 7

*Антон Пронин,*

генеральный директор ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» ..... 8

*Юрий Суханов,*

специальный представитель Руководителя Росстандарта  
в Уральском федеральном округе, генеральный директор  
ФБУ «УРАЛТЕСТ» ..... 9

*Константин Чекирда,*

заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИМ  
им. Д.И. Менделеева» ..... 10

Программный комитет конференции ..... 12

Организационный комитет ..... 14

Научный комитет конкурса ..... 15

**X Международный конкурс  
«Лучший молодой метролог  
КООМЕТ-2023»**

*А. А. Хачатрян, Р. В. Тер-Антонян*

Новая двухзеркальная осесимметричная антенна с круговой образующей главного зеркала, предназначенная для использования в качестве составного элемента в национальных эталонных комплексах для измерения антенных характеристик на сверхвысоких частотах ..... 19

*Д. В. Иващенко, А. А. Багдюн*

Новый подход для подтверждения метрологических характеристик средств измерений параметров дисперсных сред. .... 23

*С. Б. Смагулов, К. Г. Мишагин*

Реализация метода автоподстройки национальной шкалы времени  $utс(kz)$  с помощью еженедельных данных Rapid UTC ..... 29

*Ф. Ю. Виноградов, В. Л. Минаев, Г. Н. Вишняков*

Установка для измерения коэффициента передачи модуляции оптических систем ..... 36

*Р. А. Давлатов*

Разработка метода и стенда гравитационной калибровки бортовых космических градиентометров ..... 40

*К. В. Заяц, С. Б. Бычков*

Однофотонный компаратор для измерений распределенных обратных потерь в оптическом волокне ..... 49

*В. П. Лопатин*

Повышение точности измерения ускорения свободного падения на борту наземного транспортного средства ..... 57

*Г. С. Лукин*

Разработка методов и средств расширения динамического диапазона измерения мощности ультразвука в воде ..... 64

<i>А. И. Матвеев</i> Разработка методов и средств уменьшения погрешности передачи единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных трактах свч диапазона . . . . .	70
<i>К. Mishina</i> Ensuring traceability and uniformity of measurements in the field of Isothermal Titration Calorimetry using new reference microcalorimeter . . . . .	73
<i>О. Е. Первухина, М. П. Крашенинина</i> Разработка стандартных образцов состава муки соевой и изолята соевого с аттестованными характеристиками массовой доли соевого ингибитора трипсина и массовой доли азота (белка). . . . .	80
<i>Е. Д. Суманова, А. В. Голованов, С. А. Тарелкин, Н. О. Агафонова</i> Интегральные микрорезонаторы для метрологии оптических частот . . . . .	87
<i>Ю. Л. Фролова, А. Б. Надирадзе</i> Оценка эффективной площади многосеточных зондов- энергоанализаторов по скорости распыления образца-свидетеля. . . . .	94
<i>A. Shimolin</i> Development of a high-precision method for reproducing the molar concentration of iodine at GET 176 and its implementation . . . . .	101
<i>И. Б. Абдумажидов, А. А. Анваров</i> Сравнительные испытания для определения значений вязкости эталонных жидкостей с помощью капиллярных вискозиметров и вискозиметра Штабингера SVM 3000 . . . . .	108
<i>V. Nishonov, N. Muminov, S. Ismatullaev</i> Cost Effectiveness of Legal Metrology in Uzbekistan and Application of Artificial Intelligence to Medical Devices Performance Prediction. . . . .	120

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ УЧАСТНИКОВ**  
**II Международной научно-практической конференции**  
**молодых ученых и специалистов**  
**«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**

*А. А. Аверьянов*

Влияние терминологических несоответствий в аспекте исследования органического вещества почв на результаты инженерно-экологических изысканий ..... 133

*А. В. Авчинник*

Проблемы проведения испытаний в целях утверждения типов уровнемеров волноводных..... 136

*Р. В. Агафонов*

Разработка АРМ специалиста службы автоматизации и метрологического обеспечения ..... 138

*Н. Ю. Александров*

Измерения относительной влажности воздуха над насыщенными растворами солей ..... 141

*И. П. Аронов*

Совершенствование метрологического обеспечения измерений коэффициента газопроницаемости..... 145

*Р. Т. Бакиров*

Метрологическое обеспечение средств и систем измерений расхода и количества жидкости с температурой более 25 °С ..... 150

*А. В. Бацаров*

Разработка установки поверочной тахометрической ..... 154

*А. В. Бегляк*

Современные проблемы стандартизации и метрологии в сфере приборостроения в Российской Федерации ..... 157

*Н. А. Бекетов*

Исследование методов реализации и воспроизводимости температуры тройной точки диоксида углерода..... 160

*С. И. Белова*

Совет молодых специалистов ФБУ «Самарский ЦСМ» ..... 163



*Г. В. Бирюков, А. В. Забродин*

Многоканальный преобразователь давления на гибкой основе (лента) для измерения давления, распределенного по крылу самолета в полете ..... 166

*С. А. Богомолов*

Исследование влияния фазового состояния воды на погрешность температуры точки росы, воспроизводимую эталонами методом фазового равновесия ..... 169

*Е. А. Богомолова*

Методика и результаты измерений комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей поглощающей керамики для электровакуумных приборов ..... 172

*К. В. Буданцева, И. А. Фирсов, А. Р. Пярин*

Предложения по метрологическому обеспечению измерений объема и количества природного газа с применением накладных расходомеров в период реконструкции и техперевооружения узлов измерений расхода газа ..... 175

*А. В. Букин*

Применение QR кодирования при калибровке и формировании БД СИ, использование QR кода в виде клейма ..... 180

*А. И. Быков, А. С. Катков, Ю. А. Громова*

Перспективы развития метрологического обеспечения в области измерений постоянного электрического тока и напряжения в рамках импортозамещения ..... 184

*А. А. Быкова, А. С. Волегов, Д. С. Незнахин, Е. А. Волегова*

Особенности измерений импульсных магнитных полей ..... 188

*М. И. Волков*

Цифровизация в метрологическом обеспечении испытаний ..... 191

*О. Ю. Волчек*

Влияние переходного сопротивления клеммных зажимов на точность измерения термометрами сопротивления ..... 193

<i>А. С. Головки</i> Исследование поверхности наноструктур методом атомно-силовой микроскопии . . . . .	196
<i>П. П. Дмитриев, Н. Б. Заболкин</i> Опыт практической реализации автоматизации рабочих мест по поверке СИ в ФБУ «Тест-С.-Петербург» . . . . .	199
<i>К. Ю. Добря</i> Метрологическое обеспечение в области использования атомной энергии . . . . .	203
<i>Т. И. Другова</i> Сравнение характеристик и принципов работы на установке непосредственного нагружения силовоспроизводящей и машине силовоспроизводящей гидравлической . . . . .	206
<i>К. В. Епифанцев, Г. А. Петров, А. Э. Егоров</i> Проблемы создания импортозамещенных приборов для изме- рения шероховатости, контроля формы и контура на примере бесконтактных датчиков. . . . .	210
<i>А. С. Еремеева, А. А. Неклюдова</i> Совет работающей молодежи Санкт-Петербурга . . . . .	213
<i>А. В. Ермолаев</i> SQL и реляционные СУБД в контексте хранения и обработки результатов поверки . . . . .	218
<i>А. В. Журавлев</i> Оптимизация проведения поверки электрокардиоприборов . . . . .	221
<i>Е. Д. Иеромонахов</i> Импортозамещение массовых расходомеров . . . . .	223
<i>И. А. Каминская</i> Актуальные проблемы оценки потерь аэрозольных частиц в транспортных линиях систем радиационного контроля АЭС. . . . .	226
<i>А. Д. Катышев</i> Исследование метрологических характеристик государствен- ного первичного эталона единицы температуры в диапазоне 0–3200 °С ГЭТ 34–2020: реализация температуры фазового перехода эвтектики рений углерод . . . . .	228

<i>А. А. Кирьянов</i> Метрологическое обеспечение цифровых моделей .....	231
<i>Н. Н. Колдыбаева, С. В. Лавринов</i> Оценка опыта по разработке стандартных образцов .....	234
<i>А. В. Колобова, Я. К. Чубченко, Г. А. Афанасьев</i> Разработка эталонной установки для метрологического обеспечения диагностики заболеваний, вызванных инфекцией <i>helicobacter pylori</i> , на основе определения изотопов углерода и кислорода в выдыхаемом воздухе .....	236
<i>С. В. Кондратьев</i> Метрологическое обеспечение измерений температурного коэффициента линейного расширения в области высоких температур .....	239
<i>Ю. А. Копыльцов, Б. П. Тарасов, А. Б. Копыльцова</i> Применение инфракрасных анализаторов для определения состава и свойств нефтепродуктов .....	247
<i>Д. В. Краев</i> Температурная компенсация с учетом технологий крепления деформационно-чувствительных элементов. ....	250
<i>С. И. Кузнецов</i> Калибровка высокочастотного гидрофона методом растрового сканирования. ....	252
<i>К. А. Кулыгина, А. А. Неклюдова</i> О разработке типовой методики поверки вискозиметров капиллярных стеклянных. ....	254
<i>М. Ю. Курочкина</i> Аспекты практического применения комплекта преобразователей тока ПТТ-36 при высокоточном измерении переменного тока в диапазоне от 1 мА до 100 А на частотах от 20 Гц до 100 кГц .....	256
<i>Т. А. Кухтина</i> Актуальные вопросы транспортировки эталонов в поверку из удаленных центров метрологии на примере филиала .....	260

*А. Ю. Лёвин*

Особенности метрологического обеспечения метеорологических систем в условиях эксплуатации ..... 263

*Ю. А. Локачева, Г. Б. Гублер*

Алгоритмы обработки сигналов при воспроизведении электроэнергетических величин в эталонном комплексе..... 266

*А. А. Луценко, Д. В. Москаленко, М. А. Скоков,  
А. В. Миргородская, А. А. Неклюдова, С. Д. Пономарев*

Разработка автоматического устройства сбора данных климатических факторов в условиях лаборатории ..... 269

*Д. А. Любченко*

Анализ путей повышения точности лазерных фазовых дальномеров..... 273

*П. В. Мигаль*

Практические аспекты регулирования интервалов между калибровками средств измерений

*В. В. Милорадов, И. С. Пятыгин, А. С. Павлов*

Разработка программного обеспечения для автоматизации работ по поверке и калибровке электронных тахеометров..... 280

*А. В. Миргородская, А. А. Неклюдова, А. А. Демьянов*

Оптические датчики как способ детектирования мениска жидкости в вискозиметре стеклянном капиллярном ..... 283

*Д. В. Москаленко, А. В. Подшивалов, А. А. Неклюдова*

Исследование стабильности реологических свойств высоковязких систем под воздействием различных факторов..... 287

*М. М. Мурзабеков*

Текущее состояние и направление развития эталонной базы гравиметрии..... 290

*В. П. Невзорова, В. О. Соловьев*

Проблемы практического применения методов оценивания неопределенности пробоотбора..... 294

<i>А. А. Неклюдова, П. К. Сергеев, А. В. Павлова</i> Деятельность совета молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта»: промежуточные итоги .....	297
<i>С. Г. Нигматуллин, И. А. Сладовский, А. Г. Сладовский</i> Проблемы измерения плотности сжиженного природного газа в динамическом режиме.....	300
<i>И. В. Новикова</i> Оценка влияния прямолинейности линейного компаратора на погрешность измерения длины .....	304
<i>Д. Д. Орешкина</i> Установка поверочная расходомерная «Спрут-150», применение в ООО «Газпром трансгаз Сургут» .....	307
<i>А. О. Отроков</i> Улучшение эффективности метрологического контроля с помощью цифровых технологий.....	311
<i>О. В. Паздников</i> Разработка калибратора импульсных и токовых сигналов .....	314
<i>Л. А. Первицкая, Н. П. Фот, А. А. Неклюдова</i> Подходы к формированию цифрового протокола (на примере вискозиметров стеклянных капиллярных).....	317
<i>А. А. Пименова</i> Аттестация эталонов или испытания в целях утверждения единичного экземпляра — два порядка для установления статуса технического средства .....	320
<i>А. А. Попов</i> предложение по расширению возможностей ФГИС «Аршин» для улучшения качества оформления результатов поверки .....	324
<i>Д. А. Романов</i> Имитационная поверка вихревого расходомера «Эмис-вихрь» модульной компрессорной установки ябургского нефтегазо- конденсатного месторождения.....	327

<i>А. Л. Рунов, М. С. Вонский, Н. В. Иванникова</i> Подходы к разработке стандартных образцов ДНК для метрологического обеспечения лабораторной диагностики . . . . .	329
<i>В. А. Седов</i> Способ обогрева природного газа при редуцировании и устройство для его осуществления . . . . .	332
<i>Е. А. Кузнецова, М. А. Сёмкин, И. Ф. Бергер</i> Метрологическое обеспечение измерений на нейтронном дифрактометре высокого разрешения Д-7а . . . . .	335
<i>В. В. Синица</i> Роль стандартизации в повышении качества оказываемых услуг (выполнения работ) . . . . .	340
<i>Г. С. Слепынский</i> Оценка точности измерения температуры дифференциальной термопарой, применяемой для измерений температуры в испы- тательном оборудовании . . . . .	343
<i>А. Ю. Смирнова, А. А. Неклюдова, П. К. Сергеев, А. И. Анцукова, А. А. Тумилович, А. А. Пименова</i> Молодежный совет при генеральном директоре ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» — история, деятельность и результаты. . . . .	346
<i>В. И. Соловьев</i> Актуальные вопросы аттестации эталонов избыточного давления и разности давлений. . . . .	349
<i>А. А. Спиридонова, В. Н. Кудияров, Р. С. Лаптев</i> разработка стандартных образцов для градуировки GD-спектрометра по водороду. . . . .	353
<i>Д. В. Спутнова</i> Анализ калибровочных возможностей аккредитованных орга- низаций для проведения межлабораторных сравнительных испытаний. . . . .	357
<i>А. С. Степанов</i> Особенности поверки акустических средств измерений . . . . .	359

*Е. М. Степанов*

Деятельность совета молодых ученых и специалистов  
ООО «Газпром трансгаз Казань» ..... 362

*А. В. Стрельников, М. В. Беднова, М. О. Уранбаев*

Разработка методики корректировки градуировочных зависимостей измерительных каналов температуры и удельной электрической проводимости гидрологических зондов ..... 365

*В. В. Сычев, М. С. Иванов*

Разработка алгоритма обработки показаний силоизмерительных датчиков с целью определения результатов измерений ..... 369

*Н. В. Сычева, Е. В. Комарова, Е. В. Широкова,  
С. С. Широков, М. А. Илюхина, В. Б. Горшков*

Особенности разработки и проведения аттестации образцов активности урана-235, имитирующих объекты окружающей среды и элементов оборудования

*А. И. Титаренко*

Автоматизация и цифровизация деятельности по обеспечению единства измерений в метрологической службе ..... 377

*А. А. Томишина, В. В. Лесин*

Правила принятия решений при приемке продукции и контроле параметров технологических процессов в области использования атомной энергии. порядок расчета погрешности приемки ..... 381

*А. А. Тумилович*

Валидация методик калибровок. анализ и разработка подхода ..... 386

*Р. Р. Тухватуллин*

Единая методика поверки колонок топливораздаточных ..... 390

*Н. А. Фирсанов*

Совершенствование методов обработки результатов испытаний с целью определения межповерочного интервала ..... 393

*И. Ю. Фролов*

Проблемы проведения имитационной поверки расходомеров устройством имитационно-поверочным *FIELDCHECK* ..... 397

<i>С. Ю. Хижняк, О. В. Довыденко, А. И. Самойленко</i> Влияние метрологических характеристик приемников давления на погрешность измерений скорости воздушного потока в аэродинамических трубах малых дозвуковых скоростей .....	399
<i>Н. О. Чирко</i> Повышение метрологической надежности узлпр в процессе эксплуатации путем организации непрерывного мониторинга их состояния .....	404
<i>А. С. Шабалин</i> Современное состояние измерений расхода жидкости в безнапорных трубопроводах .....	407
<i>М. Н. Шакина</i> Цифровизация протоколов поверки СИ .....	410
<i>А. Э. Шафигина</i> Риски при прохождении процедуры аккредитации или подтверждения компетентности организации .....	412
<i>А. А. Шираев</i> Интеграция информационных систем в области обеспечения единства измерений .....	416
<i>Д. А. Шкурин, И. А. Зенин</i> Разработка виртуального тренажера по поверке трансформаторов напряжения .....	419
<i>А. А. Шталинский</i> Оптимизация анализа электрокардиограммы при поверке.....	422
<i>А. А. Щербалев</i> Обеспечение единства измерения в процессе эксплуатации цифровых средств измерений и средств измерений «с открытой градуировкой»: современное состояние и перспективы развития ..	425



Научное издание

**II Международная  
научно-практическая конференция  
молодых ученых и специалистов  
«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**

**X Международный конкурс  
«Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023»**

*Сборник тезисов докладов*

Корректор *Л. Н. Николаева*

Оригинал-макет подготовлен

ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА»

Тел.: (812) 445-10-02, [www.kostaprint.ru](http://www.kostaprint.ru)

Подписано в печать 29.05.2023. Формат 60 × 90<sup>1/16</sup>.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Minion Pro.

Объем 26 п. л. Тираж 200 экз. Заказ № 49053

Отпечатано в ООО «ИПК НП-Принт».

Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, д. 199–201, лит. П.

Тел.: (812) 611-11-07, [order@npprint.com](mailto:order@npprint.com)



9 785912 584992 >



#занамибудущее  
#занамибудущеероссии