

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



Межрегиональная конференция молодых специалистов ФБУ ЦСМ ПФО и УФО

**РСТ** **РОССТАНДАРТ**  
Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

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

Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта»

Секция молодых специалистов ФБУ ЦСМ Приволжского и Уральского ФО «Участие региональных центров в инновационной деятельности»

Мероприятия проводятся при поддержке Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)



III МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»



**#ЗАНАМИБУДУЩЕЕ**

КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

ПИЛОТНЫЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНКУРС  
«ЛУЧШИЙ МОЛОДОЙ МЕТРОЛОГ МГС СНГ» 2024 года



# СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
11-14 июня 2024 года



Партнеры:



метрология.pro



Правительство Санкт-Петербурга  
Комитет по науке и высшей школе



АССОЦИАЦИЯ  
ГОСУДАРСТВЕННЫХ  
НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ  
- НАЗРА.



росмолодёжь  
карьера

УДК 006.91  
ББК 30.10

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

Бюро по стандартам  
Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации  
(Бюро по стандартам МГС)

Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта»  
(СМУС «Техноспецназ Росстандарта»)

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

III Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и пилотный Международный конкурс «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года. Сборник тезисов докладов. – ООО «Типография Литас+», 2024. – 500 с.

ISBN 978-5-6052130-0-0

В сборнике опубликованы тезисы докладов III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и полные тексты работ участников пилотного Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года.

Тематика конференции и конкурса охватывает 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), 2024  
© Бюро по стандартам МГС, 2024  
© ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2024  
© Совет молодых ученых и специалистов  
«Техноспецназ Росстандарта», 2024  
© Молодежный совет при генеральном директоре  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2024  
© ООО «Типография Литас+», 2024

ISBN 978-5-6052130-0-0

Мероприятия проводятся при поддержке



РОССТАНДАРТ

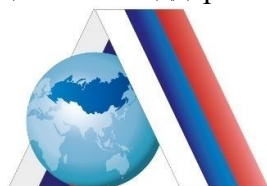
Федерального агентства  
по техническому регулированию  
и метрологии (Росстандарт)



*Российская Академия Наук*

Российской академии наук

при информационной поддержке



Ассоциации государственных научных  
центров «НАУКА»



**росмолодёжь**  
карьера

Федерального агентства по делам молодежи  
(Росмолодежь. Карьера)



Комитета по науке и высшей школе  
Правительства Санкт-Петербурга

Генеральный информационный партнер



Научно-технический журнал «Мир измерений»  
ООО «РИА «Стандарты и качество»

Партнеры



АО «Научно-производственная фирма  
«Уран»

**метрология | pro**

АНО «Российская система качества»  
(Роскачество)

ПРОГРАММА  
III Международной научно-практической конференции  
молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»  
и пилотного Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ»  
2024 года



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



Участники II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международного конкурса «Лучший молодой метролог КООМЕТ 2023», 2023 год, город Екатеринбург, Российская Федерация



Уважаемые коллеги!



Приветствую участников III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и пилотного Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года.

В этом году исполнилось 190 лет со дня рождения Д.И. Менделеева. Великий русский ученый, чей вклад в науку о единстве измерений невозможно переоценить, считал метрологию ключевым звеном в развитии России. На протяжении десятилетий отечественные метрологи, среди которых были и совсем молодые люди, вносили и продолжают вносить весомый вклад в развитие самых разных отраслей промышленности и экономики, а также науки, здравоохранения, образования, других сфер... Сегодня перед нашей промышленностью и наукой стоят важнейшие задачи, реализуются амбициозные проекты, для осуществления которых требуется высококачественное метрологическое обеспечение. И российская метрология располагает для этого всеми необходимыми средствами.

Международное научное сотрудничество всегда было неотъемлемой частью работы советских и российских метрологов, и радостно видеть, что эта замечательная традиция, несмотря на все события последних лет, не только не прерывается, но даже получает новые импульсы к развитию. И пилотный Международный конкурс «Лучший метролог МГС СНГ» – еще одно доказательство этому.

Мне особенно приятно приветствовать молодых коллег, представляющих разные страны, научные коллективы и школы. Впечатляет разнообразие научных интересов нынешних молодых метрологов, сочетание традиционных и новаторских методов исследований.

Уникальная площадка столь представительных конференции и конкурса позволяют тем, кто делает первые, но уже весьма успешные шаги в нашей науке, продемонстрировать результаты своих трудов, обменяться опытом, расширить сферу профессиональных интересов, установить новые дружеские контакты.

Желаю вам продуктивной работы, содержательных докладов, прорыва к новым идеям и открытиям!

*С уважением,  
Владимир Окрепилов  
Академик Российской академии наук,  
Президент Метрологической академии*



Уважаемые коллеги!

В 2024 году по инициативе Президента Российской Федерации Владимира Путина стартовал национальный проект «Молодежь России». Глава государства отметил: «Завтрашний день страны определяют устремление нынешнего молодого поколения, его становление, его успехи, жизненные ориентиры, которые пройдут любую проверку на прочность. Это важнейший залог и гарантия суверенитета России, продолжения нашей истории. Это должен быть проект о будущем и для будущего нашей страны».

Конференция «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» полностью соответствует миссии данного национального проекта. Вы, молодые ученые и специалисты, создаете будущее науки. Ваш

свежий взгляд и интеллектуальная дерзость, нестандартные методы исследований и оригинальные гипотезы могут стать отправной точкой для новых открытий.

Предложенная учеными Российской Федерации идея проведения пилотного Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ», поддержанная решением 64-го заседания Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества Независимых Государств, предоставляет молодым, но уже блестяще зарекомендовавшим себя метрологам возможность на международном уровне обменяться опытом и обсудить актуальные проблемы в области обеспечения единства измерений, наметить пути их решения.

Такие мероприятия, как конференция и конкурс, способствуют всемерному развитию науки в самых разных сферах.

В наше время молодым ученым и специалистам благодаря активному развитию высокотехнологичного сектора российской экономики и поддержке со стороны государства предоставлены уникальные возможности для работы и самореализации. Прежние барьеры между научными достижениями и их практическим применением стремительно исчезают. Дерзайте, творите, смело воплощайте свои идеи в жизнь!

Успехов!

*С уважением,  
Михаил Юрин  
Заместитель Министра промышленности и торговли  
Российской Федерации*

Уважаемые коллеги!



От имени Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии и от себя лично приветствую организаторов и участников III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и пилотного Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года.

Конференция, несмотря на свой юный возраст, уже зарекомендовала себя как представительный форум нового поколения метрологов. Первые две конференции прошли с огромным успехом и наметили новые пути развития метрологии и смежных дисциплин, что еще раз продемонстрировало, какое внимание

уделяет наша страна развитию фундаментальной и прикладной науки и реализации творческого и профессионального потенциала молодежи.

Символично, что конкурс, проводимый по инициативе Росстандарта, получил путевку в жизнь в юбилейный год для отечественной науки – год трехсотлетия Российской академии наук, юбилеев выдающихся ученых-метрологов А.Я. Купфера и Д.И. Менделеева.

Ученые нашей страны всегда были открыты к международному взаимодействию и взаимопомощи, и я рад видеть столь высокий интерес к конференции, которая собрала большое количество участников из разных стран. Ваша работа и исследования в области метрологии и стандартизации играют важную роль в обеспечении единства измерений, качества продукции и услуг в самых разных отраслях.

Желаю участникам конференции и конкурса содержательных выступлений, продуктивных дискуссий, ярких открытий, плодотворного обмена опытом.

Уверен, что конференция и конкурс дадут новый импульс важным исследованиям в выбранной вами сфере.

*С уважением,*

*Антон Шалаев*

*Руководитель Федерального агентства  
по техническому регулированию и метрологии*

Дорогие друзья!



Рад приветствовать участников пилотного Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года, проходящего на площадке III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ».

Нет сомнений, что конкурс позволит молодым профессионалам разных стран и регионов наладить сотрудничество на самых разных уровнях. Участников ждут интереснейшие дискуссии об актуальных проблемах в области обеспечения единства измерений, фундаментальной и прикладной метрологии и путях их решения.

В современном динамично развивающемся мире человечество сталкивается с новыми вызовами, и метрология позволяет успешно отвечать на них. Уверен, что молодые учёные и специалисты из стран-участниц конференции и конкурса, стремясь в полной мере реализовать свой научный потенциал, продемонстрируют системный научный подход в решении поставленных перед ними задач, имеющих важнейшее значение для всего человечества.

Выражаю благодарность ученым Российской Федерации за проявленную инициативу в организации пилотного международного конкурса и предоставление площадки для его проведения. Надеюсь, что конкурс станет традиционным и будет способствовать тесным профессиональным контактам и активному сотрудничеству участников глобального метрологического сообщества.

*С уважением,  
Владимир Черняк  
Директор Бюро по стандартам –  
Ответственный секретарь Межгосударственного совета  
по стандартизации, метрологии и сертификации  
Содружества Независимых Государств*



Дорогие друзья!



Приветствую вас на III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и пилотном Международном конкурсе «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года.

Нам особенно приятно принимать вас в Санкт-Петербурге, где ровно 300 лет назад была основана Российская академия наук, где жили и работали выдающиеся отечественные метрологи Адольф Яковлевич Купфер и Дмитрий Иванович Менделеев, чьи юбилеи мы отмечаем в этом году.

Развитие кадрового потенциала Российской Федерации – одна из приоритетных задач, поставленных Президентом России В.В. Путиным. Ведь молодые профессионалы, и в том числе, конечно, метрологи, – сегодня один из главных движущих механизмов в промышленности, экономике и других важнейших сферах.

Уже сейчас на плечи наших молодых ученых и специалистов ложится огромная ответственность за развитие научного и технического потенциала страны.

В судьбоносные моменты истории нашего государства молодые отечественные ученые не раз брали на себя ответственность в решении самых сложных, амбициозных и нестандартных задач – именно этого мы сегодня ждём и от вас. При этом в формирующемся на наших глазах многополярном мире успешная продуктивная работа невозможна без сотрудничества и обмена опытом с коллегами из других стран.

Уверен, что Международная конференция «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и конкурс «Лучший молодой метролог МГС СНГ» – это возможность для всех заинтересованных специалистов высказаться и поделиться своими идеями и работами. Нет сомнения, что эта площадка окажется местом притяжения и кооперации молодых метрологов из разных стран.

Пусть все ваши мечты и планы осуществятся!

Большой удачи и успехов!

*С уважением,  
Антон Пронин  
Генеральный директор  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»*



Филимонов Иван Сергеевич	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГБУ «ВНИИОФИ»), кандидат физико-математических наук
Денисенко Сергей Александрович	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГБУ «ВНИИМС»)
Бас Виталий Николаевич	Генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Москве и Московской области» (ФБУ «Ростест-Москва»), специальный представитель Руководителя Росстандарта в Центральном и Северо-Западном федеральных округах, доктор экономических наук
Севницкий Сергей Анатольевич	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. А.М. Муратшина в Республике Башкортостан» (ФБУ «ЦСМ им. А.М.Муратшина в Республике Башкортостан»), специальный представитель Руководителя Росстандарта в Приволжском федеральном округе
Суханов Юрий Михайлович	Генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Свердловской области» (ФБУ «УРАЛТЕСТ»), специальный представитель Руководителя Росстандарта в Уральском федеральном округе
Гринцев Виталий Владимирович	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Кемеровской области – Кузбассе» (ФБУ «Кузбасский ЦСМ»), специальный представитель Руководителя Росстандарта в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах
Филиппов Василий Павлович	Советник генерального директора Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ростовской области» (ФБУ «Ростовский ЦСМ»), специальный представитель Руководителя Росстандарта в ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областях
Данилов Александр Александрович	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Пензенской области» (ФБУ «Пензенский ЦСМ»), доктор технических наук, профессор
Макаров Андрей Владимирович	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Кировской области» (ФБУ «Кировский ЦСМ»)
Зажигалкин Александр Владимирович	Ректор Федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)» (ФГАОУ ДПО АСМС), доктор экономических наук

Миронов Денис Евгеньевич	Генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)
Сясько Владимир Александрович	Президент Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), доктор технических наук, доцент
Исаев Лев Константинович	Научный руководитель направления по законодательной метрологии Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГБУ «ВНИИМС»)
Киселева Татьяна Владимировна	Главный редактор издательства Рекламно-информационного агентства «Стандарты и качество» (РИА «Стандарты и качество»)
Лоскутов Андрей Александрович	Коммерческий директор Закрытого акционерного общества Научно-производственной фирмы «Уран» (ЗАО НПФ «Уран»), кандидат технических наук
Михалева Юлия Юрьевна	Заместитель руководителя Автономной некоммерческой организации «Российская система качества» (Роскачество)
Собина Егор Павлович	Директор УНИИМ – филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), доктор технических наук
Горчев Александр Иванович	Заместитель директора филиала по науке ВНИИР – филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), кандидат технических наук
Чуновкина Анна Гурьевна	Руководитель метрологического отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), доктор технических наук
Звягин Никита Данилович	Руководитель отдела международных работ и международного сотрудничества по метрологии, стандартизации и взаимного признания Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)



## Организационный комитет



Бюро по стандартам Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации



Совет молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта»



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

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

## Ответственные координаторы

Павлова Александра Васильевна  
Председатель Совета молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта», главный специалист-эксперт отдела внешних связей Управления административной работы и внешних связей Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Чекирда Константин Владимирович  
Заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

### Председатель

Неклюдова Анастасия Александровна  
Заместитель Председателя Совета молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта», Председатель Молодежного совета при генеральном директоре ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Сергеев Павел Константинович

Сопредседатели  
Тумилович Анастасия Андреевна

Смирнова Антонина Юрьевна

Пименова Анастасия Александровна  
Тел.: +7 921980-35-54

Члены организационного комитета  
Представители Совета молодых ученых и специалистов «Техноспецназ Росстандарта» и Молодежного совета при генеральном директоре ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
E-mail: mscon@vniim.ru

**Научный комитет пилотного  
Международного конкурса «Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года**

№ п/п	Государство – участник МГС СНГ	Фамилия, имя, отчество	Должность
1	Азербайджанская Республика	Аббасов Эльчин Мамедрасул оглы	Советник генерального директора ЮЛПП «Азербайджанский Институт Метрологии»
2		Курбанов Азер Тенгиз оглы	Советник генерального директора ЮЛПП «Азербайджанский Институт Метрологии»
3	Республика Армения	Мовсисян Камо Андраникович	Главный метролог ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии»
4		Мартиросян Гарик Георгиевич	Заведующий лабораторией тепловых, физико-химических измерений и стандартных образцов ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии»
5	Республика Беларусь	Колчин Андрей Александрович	Начальник производственно-исследовательского отдела измерений виброакустических величин и параметров неразрушающего контроля РУП «Белорусский государственный институт метрологии»
6		Ярмолевич Марина Анатольевна	Начальник производственно-исследовательского отдела измерений электрических величин РУП «Белорусский государственный институт метрологии»
7	Республика Казахстан	Аймагамбетова Раушан Жанатовна	Руководитель Департамента научно-исследовательских работ и обучения РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан
8		Суйеубаева Гулайхан Алтынбаевна	Руководитель Департамента законодательной метрологии и метрологических услуг РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан

9	Кыргызская Республика	Абиева Гулмира Джумагуловна	Руководитель отдела метрологических работ Управления метрологии Центра стандартизации и метрологии при Министерстве экономики и коммерции Кыргызской Республики
10		Ботоев Нургаз Атамбекович	Начальник Управления метрологии Центра стандартизации и метрологии при Министерстве экономики и коммерции Кыргызской Республики
11	Российская Федерация	Лазаренко Евгений Русланович	Заместитель Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии
12		Чуновкина Анна Гурьевна	д.т.н., руководитель метрологического отдела ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
13	Республика Таджикистан	Ашуров Бахтиёр Рузиматович	Главный специалист сектора теплотехнических измерений управления метрологии Агентства по стандартизации, метрологии, сертификации и торговой инспекции при Правительстве Республики Таджикистан
14		Шокирджонов Толиб Тохирджонович	Заведующий сектором калибровки средств измерений управления метрологии Агентства по стандартизации, метрологии, сертификации и торговой инспекции при Правительстве Республики Таджикистан
15	Республика Узбекистан	Климушин Геннадий Эдуардович	Главный специалист отдела государственных испытаний, межлабораторного сличения и международных отношений ГУ «Узбекский национальный институт метрологии»
16		Махмудов Хикмат Махаматович	Консультант ГУ «Узбекский национальный институт метрологии», д.т.н. доцент кафедры метрологии технического регулирования, стандартизации и сертификации Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова

**НАУЧНЫЕ РАБОТЫ УЧАСТНИКОВ  
ПИЛОТНОГО МЕЖДУНАРОДНОГО КОНКУРСА  
«ЛУЧШИЙ МОЛОДОЙ МЕТРОЛОГ МГС СНГ» 2024 года**





# INVESTIGATION OF THE ATMOSPHERE VIA ATOMIC CLOCKS ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ АТОМНЫХ ЧАСОВ

Shamkhal Abbasov Ulfat, Nazrin Aliyeva

“Azerbaijan Institute of Metrology” public legal entity,  
Baku, Azerbaijan  
+994 50 8700450, shamkhal.abbasov@metrology.gov.az

## Abstract

*During adverse weather conditions, positioning errors occur due to the atmospheric propagation of GPS signals. The GPS signals propagate differently depending on weather conditions, resulting in increased time differences between local and GPS-boarded atomic clocks compared to normal days. The origin of signal delay can be estimated by calculating the time it takes for the signal to pass through the medium, considering its length and velocity.*

*The refractive index ( $n$ ) of the medium, particularly the troposphere, can be determined using the Ciddor equation, which requires air temperature, humidity, pressure, and annual average carbon dioxide levels across four seasons as initial parameters. Statistical approaches are necessary to estimate variations in pressure, temperature, and humidity at different altitudes within the troposphere, allowing for the calculation of  $n$ .*

*By utilizing mathematical calculations, the calculated pass time ( $t$ ) of GPS signals can be compared with the time error ( $\Delta t$ ) in the local atomic clock. This relationship between calculated time and time error can be used as instrumental in monitoring air quality, conditions, and solar activity, facilitating the development of a model aimed at mitigating signal delays. Additionally, simulations may be conducted to predict time errors, weather conditions, and the impact of solar activity.*

*The following research will find out the ionosphere monitoring during the days from 27 March to 31 March of 2024.*

**Key words:** *time error, Signal delay, GPS positioning error, Sun activity, Ionospheric monitoring, Tropospheric and ionospheric effect, Application of atomic clock*

## Scientific background, purpose

The calculation of phase deviation or time error is a fundamental function of atomic clocks. The time error ( $\Delta t$ ) is defined by a simple equation [1]: local time ( $t_{loc.}$ ) - reference time ( $t_{ref.}$ ),

$$\Delta t = t_{loc.} - t_{ref.} \quad (1)$$

Based on daily observations and theoretical approaches, the value of  $\Delta t$  (phase deviation) also depends on weather conditions and seasons (due to sun position). In order to atmospheric delay of GPS signal,  $\Delta t$  gets positive sign and it suggests that the local clock runs faster than the reference one, which is abnormal if it persists. Because, the local atomic clock of AzMI (Azerbaijan Institute of Metrology) is Rubidium based atomic clock [3] and GPS signals are primarily generated by cesium clocks, known for their superior accuracy compared to rubidium clocks. This scenario (also associated with the maximum value of  $\Delta t$ ) can be observed in adverse weather conditions (abnormal air pollution, overcast skies, high humidity, rain, snow, etc.). In addition to other factors such as aging and relativistic effects, phase deviations are observed due to GPS signal delays in the atmosphere, particularly in the troposphere and ionosphere [2]. While empirical models exist to mitigate signal delays in these layers, complete elimination has not yet been achieved. The Klobuchar model has been improved and applied for ionosphere layer and this model can remove the signal delay up to 70 % [4]. According to the Penn State College of Earth and Mineral Sciences [5], ionosphere delay is contingent upon the signal frequency and the density of free electrons per square meter. The strong Solar activity, which can elevate electron density by up to 100 times, affects GPS signals. The ionospheric signal delay ( $t_{ion.}$ ) can be estimated by the following equation

$$t_{ion.} = \frac{40.3}{cf^2} * TEC, \quad (2)$$

where,  $c$  is the speed of light in meters per second,  $f$  is the frequency of the signal in Hz, and Total Electron Content – TEC is the quantity of free electrons per square meter. Thus, signal delay can serve as an indicator of ionosphere conditions due to the relation between  $t_{ion.}$  and TEC. Therefore, the distribution of phase deviation must contain information about ionosphere conditions and, indirectly solar activity.

As discussed, besides the ionospheric effect, there is a tropospheric delay of GPS signals [6]. It is known that the GPS signal is electromagnetic wave and it runs with the speed of light in the vacuum. However, the speed of electromagnetic waves in the medium can be calculated by the given equation

$$v_{med.} = c/n. \quad (3)$$

Here,  $v_{med.}$  is the speed of an electromagnetic wave in the medium, and  $n$  – is the refractive index of the medium. For tropospheric delay(  $t_{trop.}$ )

$$t_{trop.} = \frac{l}{v_{med.}} = \frac{h}{c} * \frac{n}{\sin\alpha} \quad (4)$$

Here,  $l$  is the slat range,  $h$  is the height of the troposphere,  $\alpha$  is the elevation angle for the signal receiver and can be determined by the angle between the signal pass plane and the horizontal plane. The slat range is the path where the signal travels in the given layer. It is obvious that  $c$  and  $h$  are constant, and  $\alpha$  can change from  $0^\circ$  to  $90^\circ$ . Eq 4. shows that the tropospheric delay can be directly judged by the refractive index  $n$ .

The estimation of the refractive index of air can be realized by the Ciddor equation [7] where  $n$  is the function of air temperature –  $T$ , air relative humidity –  $RH$ , air pressure –  $p$ , and air quality (mainly, an annual average value of carbon dioxide). So, investigation of the troposphere will be an essential way to monitor the changes in ionosphere conditions.

### Scientific and practical novelty

The minimization of signal delay is crucial for navigation systems, and GPS positioning. The relation between calculated  $t$  for the total slat range ( $t=t_{trop.}+t_{ion.}+t_{other}$ ) and phase deviation  $\Delta t$  can establish a novel model to mitigate the atmospheric signal delay, especially during sun storm active and gloomy weather conditions by using real-time tropospheric data. There are special satellites for monitoring and estimating of TEC of the ionosphere. However, the suggested method is free from data from any specialized satellite such as GNSS.

### Current state-of-the-art. Calculations. Ionosphere monitoring

As described in [3], the Azerbaijan Institute of Metrology has been equipped with a rubidium-based atomic clock and this clock is being calculated continuously with the help of GPS-boarded atomic clock signals.

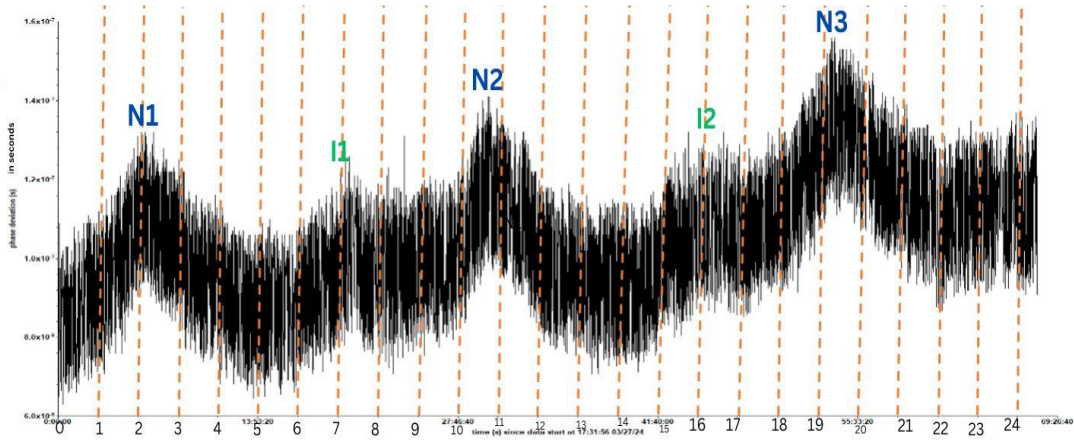


Figure 1. Phase deviation data from 27.03.24 to 31.03.24

The local atomic clock can determine the phase deviation for each 30 seconds and store it in non-volatile memory for 2.5 days. Figure 1 describes the phase deviation versus time dependence during the period from 27 March to 31 March 2024. Here, N1, N2, N3 marks nights, I1, I2 peaks will be discussed later, other parts belong to daylight. The data was divided into 24 equal sections (10000 seconds) and marked 70 points in equal time periods ( $\approx 3333$  seconds). The average value of each subsection was calculated to reconstruct the phase deviation distribution. The result is below:

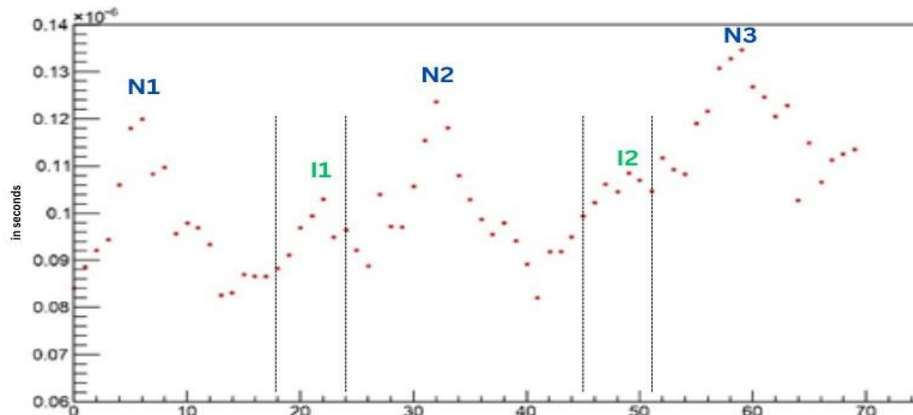


Figure 2. Reconstructed phase deviation

According to the regional weather forecast data, we calculate the refractive index of air up to 4 km at each point. The statistical models were applied to determine temperature, pressure, and relative humidity values at different altitudes. Figure 3 describes the mean value of the refractive index of the troposphere for each point and predict the distribution form of tropospheric time delay. Note that the amount of carbon dioxide is accepted constant (450 ppm) while calculations of  $n$ .

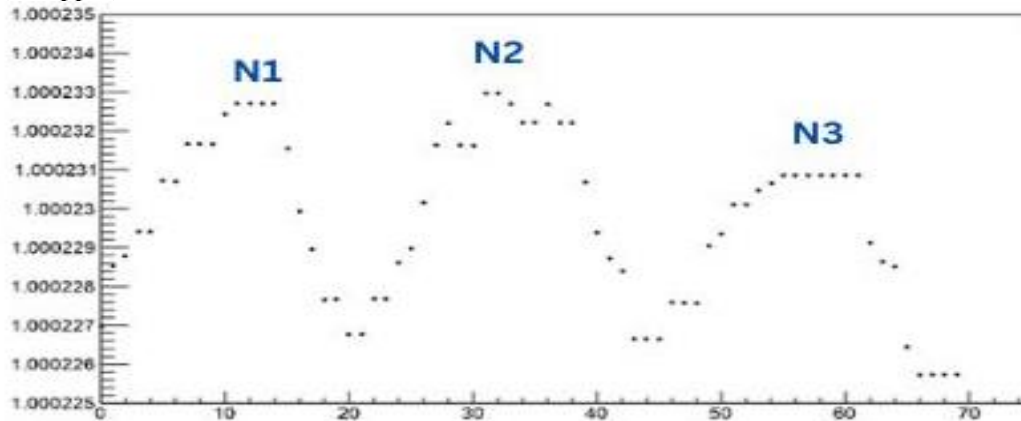


Figure 3. Calculated refractive index

The abnormal structures in comparison with Fig.2 and Fig.3 inform other types of time delay in atmosphere such as ionospheric delay.

### Conclusion

The comparison of Figure 3 and Figure 4 points out that the form of phase deviation distribution is the similar as the refractive index distribution of air distribution. It is possible to find a constant that can allow us to describe phase deviation values by multiplying the refractive index which we theoretically determined in the Eq 4. However, the points interval (18-24 and 45-51) can not be parameterized by refractive index. The structured values in Figure 2 (I1 and I2) can not be seen in Figure 3. Because that time delay is the result of the ionosphere effect. The peaks in each distribution belong to night, others belong to daylight where sun activity affects the GPS signals. Note that, the value of elevation angle (in Eq. 4) can change from 5 degree to 90 degree for our signal receiver and this angle changes every moment regardless day time. From 10 to 12 satellites signals are being received by the receiver and we can accept the mean value of it as constant. We used Eq.4 and parameterized I1 and I2. The obtained values are  $9.56645E-08$  and  $10.4598E-08$ , which show the increasing of ionospheric effect, directly sun activity. According to the ISES Solar Cycle progression, the sun's activity runs toward its activity and will be reached in July 2025. It can be predicted that the increasing sun activity will be seen in the phase deviation value.

Additionally, it would be better if we had data from local weather station for more accurate calculations. We consider that, inconsistent form of N2 in Fig.3 is exist in order to the lack of correct weather forecast in that time.

After modelling of atmosphere by using mentioned method may allow to estimate time delay in time and increase GPS positioning error.

Finally, according to the results, the applied method may be used for the monitoring of the changings in the ionosphere, indirectly estimation of troposphere conditions such as level of air pollution (with the average value of carbon dioxide).

### References

1. Fluke Calibration - 910/910R GPS Frequency Standards – Operators manual, <https://us.flukecal.com>.
2. Atmospheric Signal Delay Affecting GPS Measurements Made by Space Vehicles During Launch, Orbit and Reentry by Rachel Neville Thessin, p.34-35, 61-63.
3. Sh. Abbasov, N. Aliyeva, PROCEEDINGS OF AZERBAIJAN HIGH TECHNICAL EDUCATIONAL INSTITUTIONS, 2024, VOLUME 37 (05) ISSUE 02, p. 78-85.
4. Klobuchar, NeQuick G, and EGNOS Ionospheric Models for GPS/EGNOS Single-Frequency Positioning under 6–12 September 2017 Space Weather Events, DOI: 10.3390/app10051553.
5. The Ionospheric effect - Pennstate College of Earth and Mineral Sciences, [www.e-education.psu.edu/geog862/node/1715](http://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1715).
6. The Tropospheric effect – Pennstate College of Earth and Mineral Sciences, [www.e-education.psu.edu/geog862/node/1719](http://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1719).
7. Automatic unit for measuring the refractive index of air based on Ciddor equation and its verification using direct interferometric measurement method, DOI: 10.48550/arXiv.2210.13223.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ КАЛИБРОВКИ ЭТАЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДЫДУЩИХ КАЛИБРОВОК

Элмира Шабданбековна Абасбекова

Центр по стандартизации и метрологии при Министерстве экономики и коммерции

Кыргызской Республики («Кыргызстандарт»),

Бишкек, Кыргызская Республика

+996 (312) 66-01-17, e.abasbekova@nism.gov.kg

## **Аннотация**

*В современном мире, с учетом цифровой трансформации в области метрологии, одной из основных задач является поддержание точности и стабильности эталонного оборудования. Необходимость обеспечения высокого уровня метрологической прослеживаемости выходит на первый план для инфраструктуры качества, что особенно важно для тех отраслей и предприятий промышленности, где обеспечение единства измерений служит инструментом продвижения предоставляемых качественных услуг и способствует продвижению продукции на мировой рынок. Для своевременного обеспечения метрологической прослеживаемости одним из главных условий является правильное установление интервалов калибровки эталонного оборудования. В международной практике не существует универсального применимого ко всем видам средств измерений единого наилучшего метода для установления интервалов калибровки. Приведенные в руководстве ILAC-G24/OIML D10:2022 4 метода из 5 являются простыми в использовании, но ни один из 5 методов по определению интервалов калибровки средств измерений согласно руководству ILAC-G24/OIML D10:2007 не подходит идеально для всех видов эталонного оборудования. Это создало потребность в лучшем понимании определения калибровочных интервалов с использованием статистических подходов, которые не описаны в этом документе.*

*В данной работе показан один из методов (5-й) определения интервалов калибровки эталонного оборудования, основанный на статистическом анализе согласно руководству NCSL RP-1, 2010 Establishment and Adjustment of Calibration Intervals (Установление и корректировка интервалов калибровки).*

**Ключевые слова:** интервал калибровки эталонного оборудования, увеличения или сокращения интервала калибровки, нормированное отклонение  $E_n$  значение, дрейф (стабильность) эталона, линейная регрессия, взаимная ковариация случайных величин, предсказанная погрешность эталона, неопределенность коэффициентов регрессии

## **Annotation**

*Nowadays, with the digital transformation in the field of metrology one of the main challenges is maintaining the accuracy and stability of reference standards.*

*The need for a high level of metrological traceability comes to the fore for the quality infrastructure, which is especially important for those industries and industrial enterprises where ensuring the uniformity of measurements serves as a tool for promoting the quality services provided and helps promote products on the world market. For timely provision of metrological traceability, one of the main conditions is the correct determining of calibration intervals for reference standards. In international practice, there is no single best method universally applicable to all types of measuring instruments for establishing calibration intervals. The 4 out of 5 methods given in the ILAC-G24/OIML D10:2022 guide are easy to use, but none of the 5 methods for determining the calibration intervals of measuring instruments according to the ILAC-G24/OIML D10:2022 guide are ideal for all types of reference standard. This has created a need for a better understanding of the definition of calibration intervals using statistical approaches that are not described in this document.*

*This paper demonstrates one of the method (5th) for determining calibration intervals for reference standard, based on statistical analysis according to the NCSL RP-1, 2010 Establishment and Adjustment of Calibration Intervals.*

**Key words:** calibration interval of reference standard, increasing or decreasing the calibration interval, normalized deviation  $E_n$  value, drift (stability) of the standard, linear regression, cross-covariance of random variables, predicted error of the standard, uncertainty of regression coefficients

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

Учитывая вызовы современного мира в эпоху цифровизации, каждый метролог задается вопросом: а насколько эталонное оборудование стабильно и точно работает?

Стабильность эталонного оборудования напрямую влияет на конечный результат. Стабильность эталонного оборудования определяется на основании результатов калибровки эталонного оборудования. В международной практике не существует универсального применимого ко всем видам средств измерений единого наилучшего метода для установления интервалов калибровки. Приведенные в руководстве ILAC-G24/OIML D10:2022 4 метода из 5 являются простыми в использовании, но ни один из 5 методов по определению интервалов калибровки средств измерений согласно руководству ILAC-G24/OIML D10:2022 не подходит идеально для всех видов эталонного оборудования. Это создало потребность в лучшем понимании определения калибровочных интервалов с использованием статистических подходов, который не описаны в этом документе.

В данной работе показан один из методов (5-й) определения интервалов калибровки эталонного оборудования, основанный на статистическом анализе согласно руководству NCSL RP-1, 2010 Establishment and Adjustment of Calibration Intervals (Установление и корректировка интервалов калибровки).

### **Цель работы**

Сформулировать практический расчет на примере статистического подхода по установлению интервалов калибровками эталонного оборудования.

### **Научная новизна или практическая (прикладная) новизна**

Достоинством данного метода является надежность в определении интервала калибровки эталонного оборудования. Так же правильный подход установления интервала калибровки эталонных оборудований дает возможность минимизировать затраты в экономическом плане. Недостатком данного метода является сложность математических расчетов.

### **Задачи работы**

Этот метод основан на определении взаимосвязи между временем использования эталонного оборудования (независимая переменная) и погрешностью эталонного оборудования (зависимая переменная) путем регрессионного анализа с последующей оценкой соответствия спецификации предсказанного значения ошибки для принятия решения об увеличении или сокращении интервала калибровки. Математически это реализуется следующим образом: по результатам 3-х и более калибровочных значений, рассчитывается максимальная ошибка эталонного оборудования, при которой произойдет превышение допустимого нормированного отклонения т.е.  $E_n$  значение превысит 1.

### **Суть работы**

Расчет по установлению и корректировке интервала калибровки средств измерений состоит из двух этапов, на первом этапе определяется дрейф (стабильность) эталона с использованием функции линейной регрессии, на втором этапе для принятия решения об увеличении или сокращении интервала калибровки рассчитывается предсказанное  $E_n$  значение через определенное время между калибровками.

### **Получение функции, которая описывает дрейф (стабильность) погрешности эталонного оборудования**

На основании данных более трех последовательных калибровок эталонного оборудования рассчитывается линейная регрессионная модель зависимости погрешности эталонного оборудования от числа дней с момента первой калибровки. Например, для данных калибровки калибратора секундомеров за 4 года (данные переставлены ниже в таблице №1)

Таблица №1

Дата калибровки	Число дней с момента первой калибровки, $x$	Погрешность из сертификата калибровки, $y$ , с/сут	$U_{95}, k=2$ с/сут
27.09.2016	0	0,151	0,151
08.01.2018	461	0,061	0,061
19.03.2019	892	0,001	0,001
19.03.2021	1612	-0,06	-0,06
N=4 - количество калибровок	$x_{(cp)} = 741$ – среднее значение числа дней с момента первой калибровки	$y_{(cp)} = 0,03825$ – среднее значение погрешности эталона	

Может быть рассчитана следующая регрессионная модель:

Стандартная линейная модель имеет следующий вид:

$$Y = a_0 + a_1 * x, \quad (1)$$

где  $Y$  – предсказанная погрешность эталонного оборудования;

$x$  – число дней использования с момента первой калибровки;

$a_1$  – дрейф (стабильность) эталона и определяется следующим образом:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}. \quad (2)$$

Тогда свободный член  $a_0$  определяется как:

$$a_0 = \bar{y} - a_1 * \bar{x}, \quad (3)$$

где  $X_n$  – calibration period;

$\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – являются средними значениями от  $\{x_i\}$  и  $\{y_i\}$  соответственно.

**Расчет взаимной ковариации случайных величин  $x$  и  $Y$ , рассчитывается в следующем порядке как показано в таблице №2**

Таблица №2

где $S^2$ - (является несмещенной оценкой генеральной дисперсии $\sigma^2$ остатков взвешенной линейной регрессии).	$\text{cov}(a_0, a_1) = \left( \frac{S^2 * x_{i(cp)}}{\sum (x_i - x_{cp})} \right) \quad (4)$	= -0,0000003 с/сут
где $a_0$ имеет вид:	$a_0 = \frac{(x_i * y_i)_{cp} - a_1 * X_{cp}^2}{x_{i,cp}} \quad (5)$	= 0,13354 с/сут
где $a_1$ имеет вид:	$a_1 = \frac{(x_i y_{i,cp} - y_{i,cp}) * x_{i,cp}}{(X_{cp}^2 - x_{cp}^2)} \quad (6)$	= -0,00013 с/сут
неопределенность самой линии регрессии оценивается стандартным отклонением остатков $S$	$S = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_i(I_f))^2}{N - 2}} \quad (7)$	= 0,0222 с/сут
где $(y_i - y_i(I_f))^2$ имеет вид:	$= (y_i - a_0 - a_1 * x_i)^2 \quad (8)$	= 0,00099 с/сут

Получаем уравнения зависимости погрешности от времен использования эталонного оборудования:  $y = -0,00013x + 0,1335$ .

**Расчет стандартной неопределенности коэффициентов регрессии  $a_0$  и  $a_1$**

Расчет неопределенность коэффициентов регрессии приведен в таблице №3

Таблица №3

Стандартная неопределенность от $a_0$	$u_{(a_0)} = S * \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{x_{i,cp}}{x_i - X_{cp}}} \quad (9)$	= 0,0178 с/сут
Стандартная неопределенность от $a_1$	$u_{(a_1)} = \frac{S}{\sqrt{(x_i - X_{cp})}} \quad (10)$	= 0,000019 с/сут

После расчетов взаимной ковариации и расчета стандартной неопределенности коэффициентов регрессии  $a_0$  и  $a_1$  строится регрессионная модель:

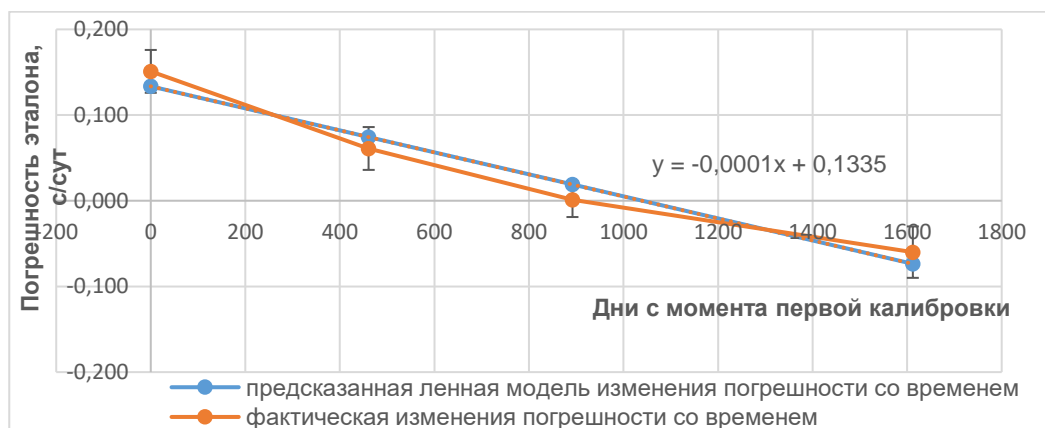


Рис. 1 – Линейная регрессия зависимости погрешности калибратора секундомеров от времени с момента первой калибровки

### Определение интервала калибровки эталона

Разные выборки приводят к разным наборам данных, которые генерируют разные линии регрессии. Эти линии распределены по всей линии:  $Y = \alpha + \beta x + \epsilon$  (11), где  $\alpha$  и  $\beta$  - неизвестные параметры для оценки с использованием параметров  $a$  и  $b$  предыдущей линии линейной регрессии путем построения доверительного интервала;  $\epsilon$  – **предсказанная погрешность прибора через год после последней реальной калибровки** – случайная величина, которая, как предполагается, нормально распределена и имеет среднее значение  $\mu = 0$  и стандартное отклонение  $\sigma = \sigma(\epsilon)$ . Ниже в таблице №4 представлен ход определения интервала калибровки эталона.

Таблица №4

Сумма квадратов от среднего значения $x_i$	$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ (12)	= 14089 с/сут
Сумма квадратов от среднего значения $y_i$	$SS_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ (13)	= 0,03005 с/сут
Перекрестное произведение определяет $SS_{xy}$ с коэффициентом $b$	$SS_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ (14)	= 15886 с/сут
Сумма квадратов прогнозируемых значений вокруг среднего значения или <b>ошибки регрессии</b>	$SSR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$ (15)	= 0,00578 с/сут
Сумма квадратов разницы между прогнозируемыми и реальными значениями	$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2$ (16)	= 0,0243 с/сут
Квадрат корреляции $R^2$ ; чем ближе $R^2$ к 1, тем плотнее подходит кривая. $R^2 = 1$ соответствует идеальной подгонке	$R^2 = \frac{SSR}{SS_{yy}}$ (17)	= 0,19226 с/сут
Доверительный интервал при 95 % доверительной интервале для $a_0$ и $a_1$ имеет вид:	$\beta = b \pm t_{0,025} \times SE(b)$ $\alpha = a \pm t_{0,025} \times SE(a)$ Применяя эти уравнения (18) к данному коэффициенту линии регрессии, получим следующее:	(18)
	$a_0 = a \pm t_{0,025;N-2} * SE_{a_0}$ (19)	
	$a_1 = b \pm t_{0,025;N-2} * SE_{a_1}$ (20)	
Тогда $SE_{a_0}$ имеет следующий вид:	$SE_{(a_0)} = \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{SS_{xx}}}$ (21)	= 0,94339 с/сут
и $SE_{a_1}$ имеет следующий вид:	$SE_{(a_1)} = \frac{S}{\sqrt{SS_{xx}}}$ (22)	= 0,00002 с/сут



<p>Прогнозируемое среднее значение погрешности эталона <math>Y_{new}</math> в будущем времени калибровки по истечению (<math>X_{new}</math>) дней с момента первой калибровки с уровнем достоверности 95 %</p>	$\alpha + \beta X_{new} = a + bX_{new} + t_{0.025} * SE(Y_{new}) \quad (23), \text{ тогда}$ $a_0 \text{ и } a_1 \text{ выражается как:}$ $a_0 + a_1 * X_{new} = a + b * X_{new} + t_{0.025} * SE(Y_{new}) \quad (24),$ <p>где <math>SE(Y_{new})</math> имеет следующий вид:</p>	
	$SE(Y_{new}) = s \times \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_{new} - \bar{x})^2}{SS_{xx}}} \quad (25)$	<p>= 0,01114 с/сут</p>
<p><math>\epsilon_{drift}</math> – среднее отклонение между двумя последовательными калибровками, в абсолютных единицах;  <math>U(\epsilon_{calib})</math> – расширенная неопределенность эталона, в абсолютных единицах;  <math>U(\epsilon_{specs})</math> – расширенная неопределенность в соответствии со спецификацией эталона, в абсолютных единицах;  <math>SE(Y_i)</math> – неопределенность прогноза с уровнем достоверности 95 % исходя из количества калибровочных данных в абсолютных единицах, имеет следующий вид:</p>	$E_n = \frac{\epsilon_{drift}}{\sqrt{U^2(\epsilon_{calib}) + U^2(\epsilon_{specs}) + SE(Y_i)^2}} \quad (26)$ <p>= 1,2 с/сут</p>	
	$SE(Y_i) = s * \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{SS_{xx}}} \quad (27)$	<p>= 0,02485 с/сут</p>

### Полученные результаты

На основании полученного предсказанного значения нормированного отклонения  $E_n$  делается вывод о возможности увеличения или сокращения интервала калибровки эталонного оборудования:

✓ Интервал может быть увеличен, когда дрейф между двумя последовательными калибровками приводит к  $|E_n| < 1$  (26).

✓ Интервал нужно сократить, если дрейф для трех последовательных калибровок составляет  $|E_n| > 1$  (26).

### Литература

1. ILAC-G24/OIML D 10: 022 Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment [Electronic resource]. – Available at: [https://www.oiml.org/en/files/pdf\\_d/d010-e22.pdf](https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d010-e22.pdf).
2. NCSL RP-1, 2010 Establishment and Adjustment of Calibration Intervals [Electronic resource]. – Available at: <https://ncsli.org/store/viewproduct.aspx?ID=16959567>.
3. ГОСТ 34100.1-2017/ ISO/IEC Guide 98-1:2009 Введение в руководства по выражению неопределенности измерения.
4. КМС ISO/IEC 17043:2024 Оценка соответствия. Общие требования к компетентности провайдеров проверки квалификации.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ВЯЗКОСТИ ПУТЁМ СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ЕДИНИЦЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Исломжон Баходиржон угли Абдумажидов<sup>1</sup>, Афзалхон Анваров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГУ «Узбекский Национальный Институт Метрологии»,  
Ташкент, Узбекистан

+998(78) 150 65 09, i.abdumajidov@nim.uz

## **Аннотация**

*Настоящее исследование было проведено для создания стандартных образцов кинематической вязкости жидкостей с помощью национального первичного эталона O'z MBEt24:2024 «Национальный первичный эталон единицы кинематической вязкости» с интервалом вязкости от 1 и 5000 мм<sup>2</sup>/с при температуре от плюс 20 °С до плюс 100 °С [1]. Проведены исследования на основании отечественных нефтепродуктов при приготовлении стандартных образцов. Все измерения с различными жидкостями были проведены в лаборатории ГУ «УзНИМ». Определены метрологические характеристики, такие как однородность, постоянность, воспроизводимость, сходимость, стабильность кинематической вязкости с использованием национального эталона и разработана методика приготовления стандартных образцов кинематической вязкости. Целью данного исследования является создание импортозаменяющих стандартных образцов кинематической вязкости для обеспечения прослеживаемости средств измерений (СИ) вязкости в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 17025-2021.*

**Ключевые слова:** вязкость, плотность, кинематическая вязкость, неопределенность измерений, стандартные образцы, калибровка, Государственный первичный эталон

## **Annotation**

*The present study was conducted to create standard samples of kinematic viscosity of liquids using the national primary standard O'Z MBEt 24:2024 with a viscosity range of 1 and 5000 mm<sup>2</sup>/s at temperatures from plus 20 °C to plus 100 °C. Studies have been conducted based on domestic petroleum products in the preparation of standard samples. All measurements with various liquids were carried out in the laboratory of the SI "UzNIM". Metrological characteristics such as uniformity, constancy, reproducibility, convergence, stability of kinematic viscosity were determined using the national standard and a method for preparing standard samples of kinematic viscosity was developed. The purpose of this study is to create import-substituting standard samples of kinematic viscosities to ensure traceability of SI viscosity to the requirements of the international standard ISO 17025-2021.*

**Key words:** viscosity, density, kinematic viscosity, measurement uncertainty, standard samples, calibration, State primary standard

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

Поверка и калибровка средств измерений вязкости, в соответствии с OIML D 17 или ГОСТ 8.025-75 «Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений кинематической вязкости жидкости», должна осуществляться с применением (ГСО) вязкости жидкости, либо методом непосредственного сличения с использованием жидкостей-компараторов или с помощью национального первичного эталона.

Разработка и исследование ГСО решит не только проблему отсутствия средств поверки для вискозиметрических приборов в диапазонах значений температуры от минус 40 °С до 20 °С и от 100 °С до 150 °С, но и позволит применять данные образцы в качестве жидкостей-компараторов при проведении сличений, аттестации и калибровке эталонов. [2].

## **Цель работы**

Целью данного исследования является:

– создание импортозаменяющих стандартных образцов кинематических вязкости для обеспечения прослеживаемости СИ вязкости всех типов;

– провести анализ состояния метрологического обеспечения измерений вязкости жидкостей для определения направлений решения проблемы отсутствия средств поверки для СИ вязкости в интервале температур от минус 40 °С до плюс 140 °С;

– разработка и исследование государственного рабочего эталона единицы кинематической вязкости жидкости второго разряда – стандартные образцы в интервале допускаемых аттестованных значений вязкости 1 и 5000 mm<sup>2</sup>/s; [2]

– разработка проекта актуализированной Государственной поверочной схемы для средств измерений вязкости О'Z МВЕТ 24:2024.

### Научная новизна или практическая (прикладная) значимость

Обеспечить импортозамещающие стандартных образцов кинематической вязкости для обеспечения прослеживаемости СИ в Узбекистане.

– впервые разработаны и исследованы ГСО кинематической вязкости жидкостей;

– определены математические модели аппроксимирующих функций при исследовании зависимостей вязкости и плотности жидкостей от температуры;

– получены результаты исследований вязкости новых стандартных образцов, аттестованных в диапазоне значений температуры от минус 40 °С до 140 °С,

– изучена зависимость температуры;

– определены средства и порядок передачи размера единиц кинематической вязкости жидкости от О'Z МВЕТ 24:2024 средствам измерений в интервале температуры от минус 40 °С до 140 °С.

### Задача работы

Поставлены следующие задачи в рамках данной работы:

– разработать методику приготовления стандартных образцов кинематической вязкости;

– проведение исследования на основании отечественных нефтепродуктов при приготовлении стандартных образцов;

– определение метрологических характеристик кинематической вязкости с использованием национального эталона и разработать методику приготовления стандартных образцов кинематической вязкости.

### Суть работы

Ключевым принципом, которым руководствуются эти усилия, является неустанное стремление к минимизации неопределенности. Признавая решающую роль неопределенности в достоверности измерений, строго придерживается требования, чтобы неопределенность стандартных образцов не превышала 0,4 %. Приготовления стандартных образцов кинематической вязкости идентификация ГСО - О'z DSN 03.3340:2024, О'z DSN 03.3341:2024, О'z DSN 03.3342:2024 и О'z DSN 03.3343:2024. Испытания проводились на О'z МВЕТ 24:2024 при 20 °С, 25 °С, 40 °С, 60 °С и 80 °С.

Метод 1. Два вискозиметра Ubbelohde типа 0В ( $K=0,005 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значения кинематической вязкости О'z DSN 03.3341:2024 при указанных температурах (табл. 1). Два вискозиметра Ubbelohde типа 2 ( $K=0,1 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значений кинематической вязкости О'z DSN 03.3341:2024 при температурах 20 °С, 25 °С, 40 °С и с типом 1С ( $K=0,03 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температурах 60 °С, 80°С (табл. 2). Два вискозиметра Ubbelohde типа 1С ( $K=0,03 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значений кинематической вязкости О'z DSN 03.3342:2024 при температурах 20 °С, 25 °С, 40°С и для типа 3 ( $K = 1,0 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) при температурах 60 °С, 80°С (Табл. 3).

Таблица 1. ГСО О'z DSN 03.3340:2024

Температура (°С)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U' (v), (%)
20	5,68	0.31
25	5,01	0.31
40	3,58	0.31
60	2,93	0.30
80	2,44	0.30

Таблица 2. ГСО О'z DSN 03.3341:2024

Температура (°С)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U' (v), (%)
20	1169,02	0.32
25	809,45	0.32
40	306,91	0.34
60	177,21	0.33
80	109,26	0.34

Два вискозиметра Ubbelohde типа 3В ( $K=5,0 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ) были использованы для определения значений кинематической вязкости О'z DSN 03.3343:2024 при температурах 20 °С 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. 4). Внутренний диаметр каждого капилляра изготовлен в соответствии с немецким стандартом DIN 53000-3-2023 длина 283 mm и объем для

измерения 70 л. Лаборатория вязкости ГУ «УзНИМ» поддерживает собственную шкалу первичной вязкости, основанную на (ISO/TR 3666:1998) международном согласованном значении дистиллированной воды при 20°C, равном 1,0034 mm<sup>2</sup>/s, ( $k = 2$ ).

Таблица 3. ГСО О'z DSN 03.3342:2024

Температура (°C)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U' (v), (%)
20	18,47	0.31
25	15,12	0.31
40	8,41	0.31
60	6,31	0.32
80	5,81	0.32

Таблица 4. ГСО О'z DSN 03.3343:2024

Температура (°C)	Кинематическая вязкость (mm <sup>2</sup> /s)	U' (v), (%)
20	4541,01	0.34
25	3014,25	0.34
40	1009,84	0.35
60	538,46	0.36
80	308,61	0.36

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 плотномером колебательного типа DMA 4500M, которая позволяет измерять плотности с погрешностью 0,00005 g/cm<sup>3</sup> ( $k= 1$ ) [3].

#### Измерение времени истечение жидкости

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

#### Измерение температуры

Температура в помещении лаборатории вязкости ГУ «УзНИМ» составляет 20 °C ± 1 °C. Вискозиметрическая баня объемом 70 л используется при измерениях вискозиметров с внешней охлаждающей ванной для обеспечения теплового равновесия измерений. Его производительность была протестирована в диапазоне от минус 20 °C до плюс 140 °C.

Стабильность температуры составляет 0,003 °C. Измерения температуры осуществляются с помощью двух Стандартных платиновых термометров сопротивления PT100 с чувствительностью 0,1 Ω/°C.

#### 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 DIN 53000-3-2023 [2]. Первичными измерениями вязкости были реализовано с помощью вискозиметров Ubbelohde, показанных на рисунке 1. Перед всеми этими измерениями были охарактеризованы первичные показатели вязкости и определена их кинематическая вязкость. Национальный первичного эталон единицы кинематической вязкости <https://nim.uz/faoliyat/etalonlar/>.

#### Измерения и результаты

Измерения проводились с помощью 8 групп двух капиллярных вискозиметров типа Ubbelohde. Значение неопределенности для каждой кинематической вязкости было рассчитано в соответствии со стандартом DIN 53000-3-2023.

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

$$S'_K{}^2 = (S_{KN})^2 + \frac{1}{2}[(S'_{\theta v})^2 + (S'_{Ti})^2 + (S'_{incl})^2] + \frac{3}{4}(S'_t)^2 \quad (1)$$

$$U'_K = k \cdot S'_K \quad k=2$$

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 [3].

- Константа вискозиметра, S<sub>KN</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.

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

- 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].

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

- 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.

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

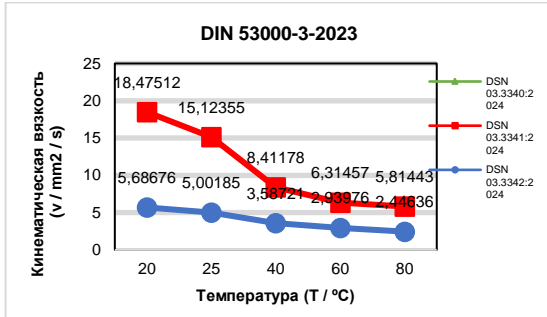


Рис. 3. GCO O'z DSN 03.3340:2024

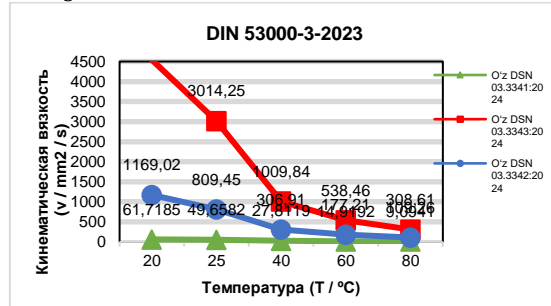


Рис. 4. GCO O'z DSN 03.3341:2024

- Ошибка наклона,  $S_N^2$

Вискозиметр помещали в держатель, снабженный плоской верхней пластиной, которая служила для определенной фиксации вискозиметра в термостатирующей ванне. Отклонение оси капилляра от вертикали до верхней пластины держателя не должна превышать 2 [4]. -Время истечения,  $S_t^2$

$$S'_N{}^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{C-C'}{C} \right)^2 = \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{\cos \theta'}{\cos \theta_0} \right)^2 \quad (5) \quad C' = C \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_0}; \quad \theta = 2^\circ, \theta_0 = 0$$

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].

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

$n$  как количество раз потока в серии измерений,  $\varepsilon$ , как относительный диапазон расхода в серии измерений вискозиметр и  $F$  как коэффициент умножения приведены в таблице 9 [2,3].

Измерения вязкости также проводились в диапазоне температур от 20 °C до 80 °C при атмосферном давлении с использованием автоматизированного SVM 3000 Anton Paar Stabinger вискозиметр. 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 3000 использует элементы Пельтье для быстрой и эффективной термостабильной. Погрешность температуры составляет  $\pm 0,02$  K ( $k = 2$ ) от 288,15 до 378,15 K. Точность измерения динамической вязкости составляет  $\pm 0,3\%$ . Общая неопределенность измерений (с учетом чистоты и обращения с образцов) оценивается в 1 % [5].

## Литература

1. Национальный первичного эталон единицы кинематической вязкости <https://nim.uz/faoliyat/etalonlar/>.
2. OIML R 69 Стеклообразные капиллярные вискозиметры для измерения кинематической вязкости - Методики проверки. 12-14 с.
3. «Совершенствование метрологического обеспечения измерений вязкости жидких сред в интервале температуры от минус 40 °C до 150 °C». к.т.н. *Неклюдова Анастасия Александровна*. <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-metrologicheskogo-obespecheniya-izmerenii-vyazkosti-zhidkikh-sred-v-inter>.
4. DIN 53000-3 Measurement of kinematic viscosity with the Ubbelohde viscometer - Part 3: Calibration and determination of measurement uncertainty.
5. COOMET.M.V-S2 (587/Ru-a/12) COOMET supplementary comparison in the field of measurements of liquids kinematic viscosity.

## РАЗРАБОТКА АРМ СПЕЦИАЛИСТА ГРУППЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД

**Роман Владимирович Агафонов**

ООО «Газпром трансгаз Краснодар»  
Краснодар, Российская Федерация  
+7 910 208 29 60, r.agafonov@tgk.gazprom.ru

### **Аннотация**

*В рамках исполнения программы мероприятий по выявлению и ликвидации источников балансовых потерь при транспортировке газа по газотранспортной системе в границах зоны обслуживания ООО «Газпром трансгаз Краснодар» (далее – Общество), работникам группы измерения расхода и контроля качества углеводородных сред (далее – группа) совместно с другими структурными подразделениями анализируется большой поток информации, поступающий в систему диспетчерского учета. Система диспетчерского учета – программное обеспечение, предназначенное для обработки и представления технологической и коммерческой информации о работе узлов измерения расхода газа (далее – УИРГ), установленных на объектах газотранспортной системы. В рамках ежедневной эксплуатации данной системы, специалистами было выявлено, что анализ данных с одного УИРГ занимает продолжительное время (в среднем, 15-20 минут), т.к. необходимые данные находятся на разных отчетных формах программы, требуется выгрузка данных в Excel и их распечатка. Комплексный отчет по всем УИРГ отсутствует.*

*С целью оперативного отслеживания параметров всех УИРГ и обеспечения отказоустойчивой работы оборудования системы диспетчерского учета, было разработано и внедрено двухмодульное приложение (далее – АРМ). Первый модуль приложения необходим специалисту группы для анализа данных, поступающих в систему диспетчерского учета с УИРГ. Второй модуль предназначен для контроля состояния всего оборудования управляющей системы диспетчерского учета в режиме реального времени, что позволяет значительно сократить время реагирования на ремонт и восстановление работоспособности оборудования.*

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

### **Annotation**

*As part of the implementation of the program of measures to identify and eliminate sources of balance losses during gas transportation through the gas transmission system within the service area of Gazprom Transgaz Krasnodar LLC (hereinafter referred to as the Company), employees of the group for flow measurement and quality control of hydrocarbon media (hereinafter referred to as the group) together with other structural units analyze the large flow of information entering the dispatch system. Dispatch accounting system is software designed for processing and presenting technological and commercial information about the operation of gas flow measurement units (hereinafter referred to as GFMU) installed at gas transportation system facilities. As part of the daily operation of this system, specialists found that analyzing data from one GFMU takes a long time (on average, 15-20 minutes), because the necessary data is located on different reporting forms of the program, it requires downloading the data into Excel and printing it out. There is no comprehensive report on all GFMU.*

*In order to quickly monitor the parameters of all GFMU and ensure fault-tolerant operation of the equipment of the dispatch system, a two-module application (hereinafter referred to as AW) was developed and implemented. The first module of the application is necessary for the group specialist to analyze the data entering the dispatch system from the GFMU. The second module is designed to monitor the condition of all equipment of the dispatch control system in real time, which can significantly reduce the response time for repairs and restoration of equipment functionality.*

**Key words:** *digitalization, equipment diagnostics, unified information technology space, dispatch accounting, telemetry, gas flow measurement unit, dispatching, data transmission protocols*



## Введение

### Актуальность работы

Любое производство невозможно представить без средств измерений, контрольно-измерительных приборов, автоматики и других сложных механизмов. В эксплуатационной зоне ответственности Общества более 66 000 средств измерений, 1600 узлов измерения расхода газа и 61 000 измерительных каналов.

Для автоматизации процессов управления транспортировкой газа и производственно-диспетчерского управления в 2014 году в промышленную эксплуатацию внедрена интеграционная компонента Единого информационно-технологического пространства (далее – ЕИТП), составляющая часть системы диспетчерского учета в Обществе. Информационной составляющей системы ЕИТП являются данные, собираемые системами телеметрии с УИРГ, установленных на объектах газотранспортной системы.

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 газотранспортной системы. В ходе эксплуатации данного ПО ИМУС у специалистов возник ряд трудностей:

– отсутствие комплексных отчетов в ИМУС не позволяет в полном объеме оперативно анализировать данные о работе УИРГ такие как: соответствие параметров, введенных в вычислители, с контрактными. Также отсутствует возможность установить наличие связи системы телеметрии с УИРГ. Для наглядности можно привести пример: в Обществе установлено более 200 УИРГ которые определяют расход методом переменного перепада давления, и чтобы отследить наличие установленной отсечки по нижнему значению перепада давления (после которого измерение расхода находится вне установленных метрологических характеристик) из списка ГРС Краснодарского ЛПУМГ, необходимо **129** раз открыть и просмотреть форму почасового архива за день. Появление нулевых расходов, в большинстве случаев, говорит о том, что для корректного учета газа, необходимо заменить диафрагму сужающее устройство в измерительном трубопроводе [1].

При обнаружении проблем учета газа, для получения более детальной информации по каждому каналу необходимо просмотреть профиль установленного на УИРГ и журнал тревог, которые также отображаются в разных формах.

Кроме того, в журнале тревог находится большое количество избыточной информации, что затрудняет поиск проблем учета газа. Если учесть, что всего анализируется более 569 измерительных трубопроводов УИРГ, оперативно отследить все проблемы учета газа затруднительно. Это может привести к значительным отклонениям в учете объема поставляемого газа, что в итоге приведет к увеличению доли небаланса газа по Обществу.

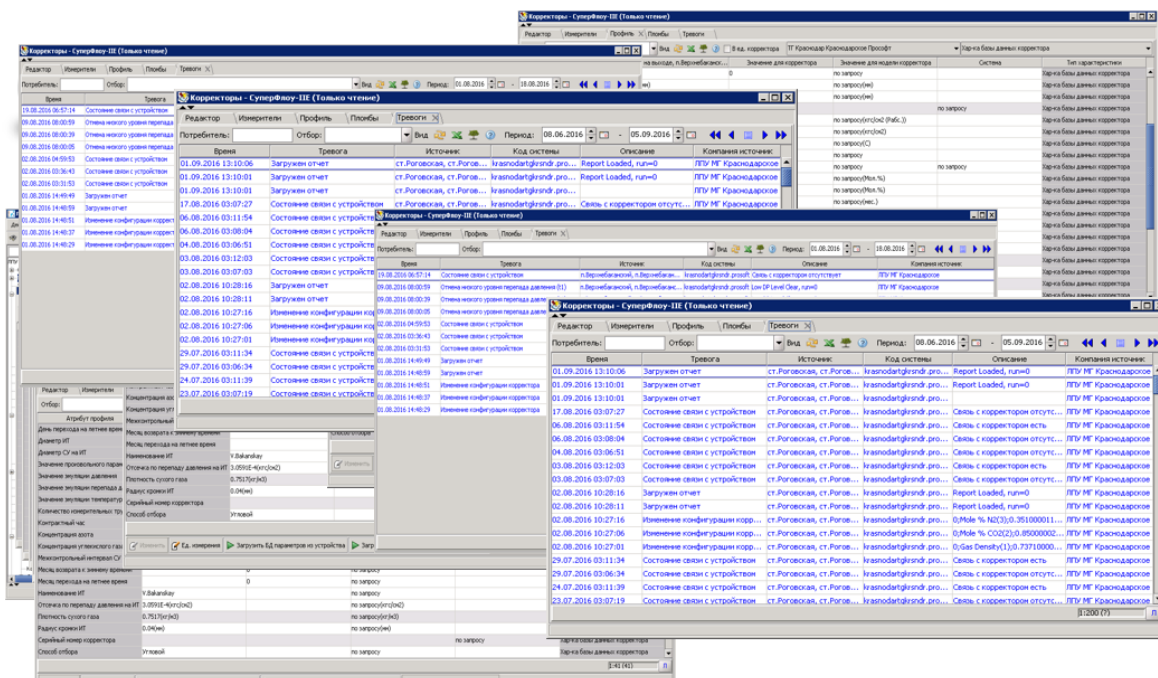


Рис. 1 – Перегруженность интерфейса ПО ИМУС

– для обеспечения непрерывной работоспособности системы диспетчерского учета необходимо поддерживать исправное техническое состояние оборудования ЕИТП. Диагностика оборудования не предусмотрена системой, что увеличивает время реагирования и проведение внепланового технического обслуживания или ремонта.

### Предложенное решение

В связи с вышеизложенным, специалистами группы было решено разработать двухмодульное АРМ, со следующими функциями:

- модуль расширения функционала ИМУС для более удобного и быстрого анализа коммерческих и технологических данных с УИРГ;
- модуль самодиагностики комплекса технических средств ЕИТП, который позволит сократить время реагирования на ремонт и восстановление оборудования.

### Разработка АРМ

Исходя из возникших потребностей, было создано двухмодульное АРМ на веб-платформе:

1. Первый модуль – инструмент для более удобного и быстрого анализа большого массива данных с УИРГ в режиме реального времени с целью повышения достоверности учета газа;



Рис. 2 – Главный экран первого модуля

2. Второй модуль – система самодиагностики. Разработаны и реализованы методы диагностики системы ЕИТП, позволяющие отслеживать состояния системы в режиме «онлайн», с целью сокращения времени реагирования на ремонт и восстановления работоспособности оборудования.



Рис. 3 – Главный экран второго модуля

До внедрения АРМ специалисту Общества приходилось около часа собирать информацию по 1 последовательно с каждого из 10 серверов. Теперь же специалист получает информацию об актуальном состоянии всего комплекса ЕИТП за 1 минуту.

#### **Этапы разработки**

Для решения поставленных задач была использована платформа для разработки веб-приложений ASP.NET (язык программирования Visual C# [3]) которая позволяет реализовать алгоритмы большой сложности [3].

Этапы разработки включали в себя:

1. Установка веб-портала на платформе [4];
2. Проработка структуры базы данных и логики работы системы;
3. Организация доступа программного комплекса к серверу ЕИТП для получения информации;
4. Написание SQL-запросов для получения данных о состоянии оборудования, списка каналов, профиля корректора и т.д. [5];
5. Создание удобного и интуитивно понятного пользовательского интерфейса для инженерно-технического персонала, веб-интерфейса для администратора [6];
6. Проведение отладки и тестирования конечными пользователями.

#### **Результаты разработки**

Было разработано двухмодульное АРМ, отвечающее поставленным задачам, и позволяющее:

1. производить диагностику системы диспетчерского управления ЕИТП;
2. графически отображать информацию о состоянии УИРГ;
3. загружать и просматривать ежемесячные отчеты с УИРГ;
4. анализировать корректность введенных физико-химических показателей газа;
5. проверять отклонения даты и времени установленных в вычислителе/корректоре УИРГ с реальной датой и временем;
6. проверять наличие отсечки по перепаду давления на УИРГ вычисляющему расход методом измерения перепада давления.

#### **Заключение**

Руководители и специалисты Общества получили АРМ, которое позволяет минимизировать технические, технологические и коммерческие потери Общества, сокращает время реагирования на изменение внешних и внутренних условий поставок газа потребителям с помощью разработанных в программе методик по проверке данных, поступающих от системы телеметрии, а также позволяющее выполнять диагностику компонентов системы ЕИТП.

#### **Литература**

- [1] State system for ensuring the uniformity of measurements 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2003). Measurements of liquids and gases flow rate and quantity by means of orifice instruments. Part 1-5.
- [2] Dzhepiks F., Troelsen E. The C# 7 programming language and the .NET and .NET Core platforms / F. Jepiks, E. Troelsen. – Moscow: Williams, 2018. - 1328 p. – ISBN 978-5-6040723-1-8.
- [3] Price M. C# 7 and .NET Core. Cross-platform development for professionals / M. Price - St. Petersburg: Peter, 2018. - 640 p. – ISBN 978-5-4461-0516-8.
- [4] Freeman A. ASP.NET Core MVC 2 with examples in C# for professionals / A. Freeman. – Moscow: Dialectika-Williams, 2019. – 1008 p. ISBN – 978-5-604139431.
- [5] Makrin, A.V. SQL programming. Textbook for secondary vocational education / A.V. Markin. – Moscow: Yurayt, 2019. – 435 p. – ISBN 978-5-534-11093-7.
- [6] Olifer V.G. Computer networks. Principles, technologies, protocols / V.G. Ollifer, N.A. Olifer. – St. Petersburg: Peter, 2020. – 1008 p. – ISBN 978-5-4461-1426-9.

# ЕСТЕСТВЕННАЯ АСИММЕТРИЯ КОНТУРА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ NATURAL LINE PROFILE ASYMMETRY

Алексей Андреевич Аникин<sup>1,2\*</sup>, Т. Залялютдинов<sup>2,3</sup> и Д. Соловьев<sup>2,3</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

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,

Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ,

Гатчина, Российская Федерация

+7 952 378 64 02, alexeika18@gmail.com

## **Аннотация**

*В данной работе обсуждается асимметрия контура спектральной линии, естественным образом возникающая в рамках наиболее точной теории атомной физики – квантовой электродинамики (КЭД). В рамках этой теории было показано, что для процессов фотонного рассеяния на связанных электронах в атомах в резонансном приближении естественным контуром спектральной линии является контур Лоренца. Однако, при современном уровне точности спектроскопических экспериментов, необходим учет все более тонких эффектов, выходящих за рамки этого приближения. Одним из таких эффектов является зависимость ширины уровня от частоты лазера, которая приводит к тому, что спектральная линия описывается уже не симметричным контуром Лоренца, а более сложной функцией. Такого рода естественная асимметрия контура спектральной линии и исследуется в данной работе. Основное внимание уделяется переходу  $1s - 2s$  в атоме водорода, частота которого является одной из наиболее точно измеренных. Будучи одним из основных стандартов частот переходов, данный переход используется для поиска новой физики, проверки физических принципов, построения оптических часов и определения значений фундаментальных физических констант. Результаты, полученные в рамках данной работы, демонстрируют важность учета естественной асимметрии контура спектральной линии для прецизионных спектроскопических экспериментов.*

**Ключевые слова:** шаровые пробки, никель-фосфорные покрытия, толщина покрытия, вихревой толщиномер, индукционный толщиномер

## **Annotation**

*This paper discusses the asymmetry of the spectral line profile, which naturally arises in the framework of the most accurate theory of atomic physics - quantum electrodynamics (QED). In the framework of this theory it was shown that for the processes of photon scattering on bound electrons in atoms in the resonance approximation the natural profile of the spectral line is the Lorentz contour. However, at the present level of accuracy of spectroscopic experiments, it is necessary to take into account more and more subtle effects beyond this approximation. One such effect is the dependence of the level width on the laser frequency, which leads to the fact that the spectral line is described not by a symmetric Lorentz contour, but by a more complex function. This kind of natural asymmetry of the spectral line contour is investigated in this paper. The focus is on the  $1s - 2s$  transition in the hydrogen atom, whose frequency is one of the most accurately measured. As one of the main standards for transition frequencies, this transition is used to search for new physics, test physical principles, construct optical clocks, and determine the values of fundamental physical constants. The results obtained in this work demonstrate the importance of taking into account the natural asymmetry of the spectral line contour for precision spectroscopic experiments.*

**Key words:** digitalization, equipment diagnostics, unified information technology space, dispatch accounting, telemetry, gas flow measurement unit, dispatching, data transmission protocols

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

Прецизионные измерения частот переходов в различного рода атомных системах играют важнейшую роль в самых разных областях физики. Так, будучи инструментом для интерпретации и

проверки физических теорий, спектроскопические эксперименты углубляют наше понимание физических процессов и принципов. Фундаментальный интерес представляет, например, приложение к астрофизическим исследованиям по поиску темной материи [1], а также вариации физических констант со временем [2,3]. Другим важнейшим приложением спектроскопических экспериментов является определение стандартов частот переходов и определение значений фундаментальных физических констант. Так, для атомных часов был достигнут беспрецедентный уровень точности порядка  $10^{-18}$  относительной величины [4,5]. Для простых систем, таких, как атомы водорода и гелия, наблюдается стремительное развитие техники эксперимента [6–8], и на данный момент уже достигнута точность порядка  $10^{-15}$  и  $10^{-12}$  относительной величины, соответственно.

При столь высоком уровне точности спектроскопических экспериментов в атоме водорода, контур спектральной линии, которым описываются переходы, становится наблюдаемой величиной [9], что требует учета все более тонких эффектов. Так, резонансное приближение, в рамках которого контур спектральной линии описывается контуром Лоренца [10], уже становится недостаточным – необходим выход за рамки данного приближения и становится важным учет нерезонансных (НР) эффектов и разного рода эффектов асимметрии контура [11–13]. В данной работе исследуется асимметрия контура спектральной линии, возникающая за пределами резонансного приближения. Такого рода асимметрия является следствием частотной зависимости ширины уровня, которая естественным образом возникает в рамках квантовой электродинамики (КЭД). В работе показана важность учета данного эффекта для прецизионных спектроскопических экспериментов.

### **Цель работы**

В рамках данной работы целью является изучение естественной асимметрии контура спектральной линии, возникающей за счет частотной зависимости ширины уровня на примере прецизионных спектроскопических экспериментов в атоме водорода. Так, особое внимание уделяется экспериментам [6,7], в которых были проведены наиболее точные измерения частоты двухфотонного перехода  $1s-2s$ . Помимо этого, в работе рассматривается приложение к экспериментам по измерению частот переходов в атоме водорода в высоко возбужденные состояния.

### **Научная новизна и практическая значимость**

Естественная асимметрия контура спектральной линии является следствием зависимости ширины уровня от частоты поглощаемого излучения. Впервые данный эффект (частотная зависимость ширины уровня) был описан в работе [14]. В данной же работе описывается следствие этого эффекта и впервые рассчитываются возникающие при этом поправки к различным частотам двухфотонных переходов в атоме водорода.

Основным результатом работы является расчет поправки к частоте наиболее точно измеренного перехода в атоме водорода. Величина полученной поправки является близкой к величине экспериментальной погрешности, что говорит о необходимости учета описываемого в работе эффекта при определении стандартов частот переходов. Последнее, в свою очередь, может иметь непосредственное влияние на определение значений фундаментальных физических констант.

### **Задачи работы**

Можно выделить следующие основные задачи работы:

- 1) Вывод выражения нерезонансной (НР) поправки за счет эффекта естественной асимметрии для переходов  $1s/2s - ns/nd$  ( $n = 3,4,6,8$ ) в атоме водорода и соответствующий расчет поправки;
- 2) Вывод выражения НР поправки за счет эффекта естественной асимметрии для перехода  $1s - 2s$  в атоме водорода с учетом условий эксперимента и соответствующий расчет поправки.

### **Суть работы**

Рассмотрим процесс рассеяния фотона на связанном электроны в атоме водорода в резонансном приближении с переходами  $i + \omega \rightarrow r \rightarrow f - \omega'$ , где  $i$  есть начальное,  $r$  промежуточное резонансное, а  $f$  конечное состояния электрона,  $\omega$  и  $\omega'$  обозначают частоты налетающего (лазер) и рассеянного фотона, соответственно. В рамках квантовой электродинамики (КЭД) в резонансном приближении такому процессу соответствует следующий профиль линии

$$\phi(\omega, \Gamma) \sim \frac{1}{(\omega - \omega_{res})^2 + \frac{1}{4}\Gamma^2}, \quad (1)$$

где  $\Gamma$  это естественная ширина уровня  $r$ , а  $\omega_{res} = E_r - E_i$  представляет собой резонансную частоту перехода  $i \rightarrow r$ , которая может быть найдена поиском экстремума контура (1). Контур (1) представляет собой симметричный контур Лоренца.

В работе [14] было показано, что в рамках КЭД ширина уровня зависит от частоты налетающего фотона,  $\Gamma = \Gamma(\omega)$ . Учет этой зависимости приводит к модификации контура линии  $\phi(\omega, \Gamma) \rightarrow \phi(\omega, \Gamma(\omega))$ , который больше не представляет собой симметричную функцию. Используя тот факт, что



возникающая асимметрия представляет собой поправку к контуру Лоренца, и введя величину  $\delta_a = \omega - \omega_{res}$ , можно, пользуясь малостью  $\delta_a$  разложить полученный контур линии в ряд по данному параметру, чтобы найти поправку старшего порядка. Полученная величина и будет являться искомой нерезонансной (НР) поправкой за счет естественной асимметрии контура линии. В рамках работы были рассчитаны поправки для переходов  $1s/2s - ns/nd$  ( $n = 3,4,6,8$ ) в атоме водорода, см. Таблицу 1 в разделе “Результаты работы”.

В спектроскопических экспериментах одним из способов наблюдения исследуемого перехода в какое-либо возбужденное состояние является регистрация фотонов, излучаемых вследствие процесса де-возбуждения. В этой связи отдельно следует обсудить приложение к экспериментам [6,7] по измерению частоты перехода  $1s - 2s$ . Поскольку состояние  $2s$  является долгоживущим, наблюдение его распада весьма затруднительно. Поэтому, чтобы зарегистрировать переход в это состояние, атомы подвергаются воздействию внешнего электрического поля, в котором уровень  $2s$  смешивается с уровнем  $2p$ , который, в свою очередь распадается с испусканием фотона. Именно распад смеси состояний  $2s$  и  $2p$  и говорит о наличии изучаемого перехода. Таким образом, при описании процесса рассеяния необходимо учитывать влияние электрического поля, что также приводит к модификации профиля линии. С учетом этого в работе была проанализирована естественная асимметрия контура спектральной линии и рассчитана соответствующая НР поправка, см. результаты в разделе “Результаты работы”.

### Результаты работы

В рамках данного проекта были получены следующие результаты. Для переходов  $1s/2s - ns/nd$  ( $n = 3,4,6,8$ ) в атоме водорода рассчитаны НР поправки за счет естественной асимметрии контура спектральной линии  $\delta_a$ , соответствующие числа представлены в Таблице 1. Как видно из Таблицы 1, величина НР поправок не превосходит примерно  $10^{-2}$  Гц, что, на данный момент, по сравнению с экспериментальной точностью около кГц [15–17] является пренебрежимо малым.

*Таблица 1. НР поправки за счет естественной асимметрии контура спектральной линии для переходов  $1s/2s - ns/nd$  ( $n = 3,4,6,8$ ). В первой строке даны состояния, в которые происходит переход, а во второй сами поправки в Гц.*

состояние	3s	3d	4s	4d	6s	6d	8s	8d
$\delta_a$ , Гц	$-2.94 \cdot 10^{-4}$	$-3.08 \cdot 10^{-2}$	$1.62 \cdot 10^{-4}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$	$-5.92 \cdot 10^{-5}$	$9.77 \cdot 10^{-5}$	$-3.41 \cdot 10^{-5}$	$-8.03 \cdot 10^{-5}$

Для наиболее точно измеренного перехода в атоме водорода  $1s - 2s$  полученное значение НР поправки, с учетом влияния внешнего электрического поля,  $\delta_a = -0.46$  Гц. При этом, точность экспериментов [6,7] составляет примерно 10 Гц. Учитывая стремительное развитие техники эксперимента, данная поправка может иметь большое значение для построения стандарта частоты и определения значений фундаментальных физических констант.

Предварительные результаты данной работы были представлены на IX Всероссийском молодежном научном форуме с международным участием Open Science 2022. Помимо этого, была опубликована статья: A. Anikin, T. Zalialutdinov and D. Solovyev, Phys. Scr. 98 (2023) 045407.

### Литература

- [1] Kennedy C. J., Oelker E., Robinson J. M., Bothwell T., Kedar D., Milner W. R., Marti G. E., Derevianko A. and Ye J., Phys. Rev. Lett., 2020, 125, 201302.
- [2] Dirac P. A. M., Nature, 1937, 139, 323–323.
- [3] Webb J. K., Murphy M. T., Flambaum V. V., Dzuba V. A., Barrow J. D., Churchill C.W., Prochaska J. X. and Wolfe A. M., Phys. Rev. Lett., 2001, 87, 091301.
- [4] Levi F., Calonico D., Calosso C. E., Godone A., Micalizio S. and Costanzo G. A., Metrologia, 2014, 51, 270–84.
- [5] Nicholson T. L. et al., Nat. Commun., 2015, 6, 6896.
- [6] Parthey C. G. et al., Phys. Rev. Lett., 2011, 107, 203001.
- [7] Matveev A. et al., Phys. Rev. Lett., 2013, 110, 230801.
- [8] Van Rooij R., Borbely J. S., Simonet J., Hoogerland M., Eikema K., Rozendaal R. and Vassen W., Science, 2011, 333, 196–8.
- [9] Beyer A. et al., Science, 2017, 358, 79–85.
- [10] Low F., Phys. Rev., 1952, 88, 53.
- [11] Andreev O. Y., Labzowsky L. N., Plunien G. and Solovyev D. A., Phys. Rep., 2008, 455, 135–246.
- [12] Zalialutdinov T. A., Solovyev D. A., Labzowsky L. N. and Plunien G., Phys. Rep., 2018, 737, 1–84.
- [13] Anikin A., Zalialutdinov T., Solovyev D. and Labzowsky L., arXiv:2204.12199, 2022.



- [14] Labzowsky L N, Solovyev D A, Plunien G and Soff G, Phys. Rev. Lett., 2001, 87, 143003.
- [15] Schwob C., Jozefowski L., de Beauvoir B., Hilico L., Nez F., Julien L., Biraben F., Aef O., Zondy J.-J. and Clairon A., Phys. Rev. Lett., 1999, 82, 4960–3.
- [16] Grinin A., Matveev A., Yost D. C., Maisenbacher L., Wirthl V., Pohl R., Hänsch T. W. and Udem T., Science, 2020, 370, 1061–6.
- [17] Brandt A. D., Cooper S. F., Rasor C., Burkley Z., Matveev A. and Yost D. C., Phys. Rev. Lett., 2022, 128, 023001.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ METROLOGICAL SUPPORT OF MEASURING NANOPARTICLE SIZES

Александр Андреевич Багдюн<sup>1</sup>, В.Л. Соломахо<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный институт метрологии

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

+375(29)5836432, 1bagdun.ne@gmail.com

## **Аннотация**

*В ходе работы рассмотрены современные подходы к трактовке термина «размер наночастиц», проанализированы методы измерений наноразмерных частиц и разработана классификационная схема, объединяющая методы и средства измерений, а также проведен анализ современных решений при создании эталонной базы для обеспечения единства измерений размеров наночастиц.*

*На основании проведенного анализа был создан эталонный комплекс, реализующий интерферометрический метод измерения, метод динамического рассеяния света и метод анализа дифференциальной электрической подвижности частиц, предназначенный для измерений размеров наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе соответственно.*

*Разработана универсальная методика теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерения размеров наночастиц, базирующаяся на унифицированной классификационной схеме источников погрешностей, позволяющая определить метрологические характеристики и рассчитать погрешность передачи единицы длины – метра для каждого из средств измерений, входящих в состав эталонного комплекса.*

*Сформулированы принципы обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений и, на их основании, разработаны схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц, находящихся на подложках, в воздухе и в жидкости.*

**Ключевые слова:** диаметр наночастиц, эталоны, погрешность, метрологическая прослеживаемость

## **Annotation**

*In the course of the work, modern approaches to the interpretation of the term “nanoparticle size” were considered, methods for measuring nano-sized particles were analyzed and a classification scheme was developed that combines methods and measuring instruments, and an analysis of modern approaches to creating a reference base was carried out to ensure the uniformity of measurements of nanoparticle sizes.*

*Based on the analysis, a reference complex was created that implements the interferometric measurement method, the dynamic light scattering method and the method of analyzing the differential electrical mobility of particles, intended for measuring the sizes of nanoparticles located on a substrate, in liquid and in air, respectively.*

*A universal method for theoretical and experimental assessment of the error in measuring nanoparticle sizes has been developed, based on a unified classification scheme for error sources, which made it possible to determine metrological characteristics and calculate the error in transmitting a unit of length – a meter for each of the measuring instruments included in the reference complex.*

*The principles of ensuring metrological traceability of measurement results are formulated and, on their basis, schemes for metrological traceability of measurement results of the sizes of nanoparticles located on substrates, in air and in liquid are developed.*

**Key words:** nanoparticle diameter, standards, error, metrological traceability

## **Актуальность работы**

Актуальность работы обусловлена развитием научных исследований и промышленного производства нанотехнологических продуктов, достоверность и качество которых обеспечивается точными и прослеживаемыми измерениями. Наличие значительного парка средств измерений с одной стороны создает благоприятные возможности для пользователей, с другой – существенно усложняют проблему метрологического обеспечения измерений размеров наночастиц, что, с учетом решаемых научных и практических задач, делает её важной и актуальной.

### **Цель и задачи исследования**

Целью работы является развитие системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь путем создания эталонного комплекса средств измерений геометрических параметров наночастиц, определения его метрологических характеристик и разработки схем метрологической прослеживаемости результатов измерений наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Конкретизировать термины и определения, связанные с понятием размера наночастиц; для анализа и однозначной количественной оценки размеров реальных нанообъектов в линейных величинах, установить базовую модель наночастицы и дать определение её размера.
2. Провести классификацию методов измерений, базирующихся на различных физических принципах; установить базовые методы измерений размеров наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе.
3. Создать необходимую эталонную базу, позволяющую определять действительный диаметр частиц, находящихся на подложках, в линейных величинах; размер частиц, находящихся в растворах в виде взвесей, соответствующий их гидродинамическому диаметру; размер частиц, находящихся в виде аэрозолей, по электрической подвижности частиц; для всех методов измерений разработать методики измерений.
4. С целью определения метрологических характеристик эталонных средств измерений, разработать методику теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерения размеров наночастиц и определения погрешности передачи размера единицы величины.
5. Сформулировать принципы обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц; для всех рассматриваемых методов разработать схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц.

### **Научная новизна**

1. Разработана классификационная схема, объединяющая методы и средства измерений, предназначенные для контроля как отдельных наночастиц, так и ансамблей частиц, что позволило выделить методы и средства, обеспечивающие наибольшую точность измерений для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе, и создать на их основе эталонный комплекс средств измерений размеров наночастиц, находящихся в различных средах.
2. Разработана унифицированная классификационная схема источников погрешностей, позволяющая установить погрешность передачи единицы длины – метра для различных типов средств измерений, используемых для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе
3. Разработана универсальная методика теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерения размеров наночастиц, базирующаяся на применении методики измерения размеров наночастиц интерферометрическим методом измерений, методом динамического рассеяния света, методом анализа дифференциальной электрической подвижности частиц и унифицированной классификационной схемы источников погрешностей, что позволило определить метрологические характеристики и рассчитать погрешность передачи единицы длины – метра для каждого из средств измерений, входящих в состав эталонного комплекса.
4. Сформулированы принципы построения и разработаны схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц, находящихся на подложках, в воздухе и в жидкости.

### **Содержание работы**

На первом этапе рассматриваются современные подходы к трактовке термина «размер наночастиц». Проведенный обзор нормативной и научно-технической литературы показал, что для решения задачи метрологического обеспечения измерений размера твердых наноразмерных частиц необходимо создать комплекс эталонного оборудования, разработать методику теоретико-экспериментальной оценки погрешности представленного оборудования и определить его метрологические характеристики, разработать схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений и обеспечить возможность их технической реализации.

Во второй части работы предложен и описан комплекс эталонного оборудования, созданный для измерения размеров наночастиц в дисперсных средах, на основе:

- интерферометрического метода измерений, позволяющего определять действительный диаметр частиц, находящихся на подложках, в линейных величинах (прослеживаемый к единице длины – метру);
- метода динамического рассеяния света, позволяющего определять гидродинамический диаметр частиц, находящихся в растворах в виде взвесей;

– метода анализа дифференциальной электрической подвижности частиц, позволяющего по электрической подвижности частиц определять размер частиц, находящихся в составе аэрозолей.

Так как созданный комплекс является эталонным для данного вида измерений, для определения его метрологических характеристик в третьей части работы проведен теоретико-экспериментальный расчет погрешности измерений размеров наночастиц, устанавливающий следующие характеристики точности: неисключенную систематическую погрешность эталона  $\theta$ ; случайную погрешность эталона  $S$ ; погрешность передачи размера единицы величины  $S_{\Sigma}$ .

Предложена общая, для всех измерительных систем, методика теоретико-экспериментального расчета погрешности измерения размеров наночастиц, которая предполагает: структурирование источников неисключенной систематической погрешности измерений; построение метрологической модели; количественную оценку источников систематической погрешности в рамках представленной модели; экспериментальное определение случайной составляющей погрешности измерения каждой измерительной системы; определение погрешности передачи размера единицы величины.

В четвертой части работы, сформулированы основные принципы обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц:

– результаты измерений должны прослеживаться к единицам Международной системы единиц (СИ), что реализуется путем международных сличений эталонов;

– неотъемлемым элементом цепи прослеживаемости являются стандартные образцы размера частиц, измеренные эталонными средствами измерений с задокументированной погрешностью (и/или неопределенностью);

– для утверждения типа стандартного образца необходимо определять размер и погрешность (и/или неопределенность) измерений размера стандартных образцов в ходе испытаний.

Следуя сформулированным принципам, с учетом разработанного эталонного измерительного комплекса представлены схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений линейных размеров наночастиц, наночастиц в жидкости и наночастиц в воздухе.

#### **Основные научные результаты работы**

1. Для количественной оценки размеров реальных нанообъектов принята базовая модель наночастицы в виде сферы, размером которой является диаметр описанной сферы минимального радиуса; эквивалентные размеры, полученные в результате измерений, основанные на любых иных возможных физических принципах, не предполагающих оценку в единицах длины, приводятся к линейному [1].

2. Создан эталонный измерительный комплекс, включающий средства измерений, предназначенные для определения размера наночастиц, находящихся на подложках, в линейных величинах; размера наночастиц, находящихся в жидкости, по их гидродинамическому диаметру; размера наночастиц, находящихся в воздухе, по электрической подвижности частиц; для всех методов измерений разработаны методики измерений [2].

3. Проведена теоретическая оценка неисключенной систематической погрешности всех средств измерений на основе унифицированной классификационной схемы источников погрешностей. Такой подход позволил определить величину неисключенной систематической погрешности для каждого из средств измерений эталонного комплекса, которая при измерении размеров частиц, находящихся на подложке, составляет 2,0 % (при измерении в вертикальной плоскости) и 0,6 % (при измерении в латеральной плоскости), для частиц, находящихся в жидкости – 1,0 %, для частиц, находящихся в аэрозолях – 2,4 % [3-5].

4. Экспериментально установлено, что случайная составляющая погрешности измерительной системы, реализующей интерферометрический метод измерений, составляет 0,20 % при измерении в вертикальной плоскости и 0,0009 %, при измерении в латеральной плоскости; измерительной системы, работающей на основе метода динамического рассеяния света – 0,36 %; измерительной системы, работающей на основе метода анализа дифференциальной электрической подвижности частиц – 0,04 % [3-5].

5. Установлено, что погрешность передачи размера единицы величины, при измерении размера частиц, находящихся на подложке, в вертикальной плоскости составляет 2,0 %, в латеральной плоскости – 0,6 %, при измерении частиц, находящихся в жидкости – 1,1 %, при измерении частиц, находящихся в воздухе – 2,4 % [3-5].

6. Сформулированы принципы, необходимые и достаточные для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц, и разработаны схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе [6].

## Литература

- 1 Багдюн, А.А. Современные подходы к определению размера наночастиц / А.А. Багдюн, В.Б. Макаревич // Метрология и приборостроение. – 2022. – № 2. – С. 26–28.
- 2 Багдюн А.А., Соломахо В.Л. Методы и технические средства обеспечения единства измерений размера наночастиц. НАУКА и ТЕХНИКА. 2022; 21(6): С. 473-479.
- 3 V.L. Solomakho, A.A. Bagdun. Determination of the Error in Transferring of Length Unit's Size when Measuring the Nanoparticles' Diameter Using an Analyzer of Particles' Differential Electrical Mobility. Приборы и методы измерений. 2021. – Т. 12, № 3. – С. 194–201.
- 4 Багдюн, А. А. Определение погрешности измерения диаметра наночастиц методом динамического рассеяния света / А. А. Багдюн, В. Л. Соломахо // Неразрушающий контроль и диагностика. 2021. № 4. С. 32-37.
- 5 Багдюн, А.А. Расчет погрешности измерения диаметра наночастиц при использовании в качестве средства измерений наноизмерительной машины NMM-1 / А.А. Багдюн, В.Л. Соломахо // Метрология и приборостроение. – 2023.– № 2. – С. 21–28.
- 6 Багдюн, А.А. Метрологическая прослеживаемость результатов измерений размеров наночастиц / А.А. Багдюн, В.Л. Соломахо // Главный метролог. – 2023.– № 6. – С. 16–22.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРОЙНОЙ ТОЧКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ НОВОЙ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ТОЧКИ МТШ-90

Николай Александрович Бекетов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»  
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
+7 (812) 323 96 34, n.a.beketov@vniim.ru

## Аннотация

В 2019 году в практику введено новое определение единицы температуры кельвина, однако на статус МТШ-90 и ВНТШ-2000 это не повлияло. Высокая востребованность МТШ-90 связана с практичностью передачи размера единицы на основе шкалы. Одной из нерешенных задач остается замена реперной точки ртути. Применение температуры тройной точки (далее – ТТ) диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в качестве реперной точки считается одной из перспективных альтернатив реперной точки ртути. В работе представлена разработанная конструкция ампулы CO<sub>2</sub>, которая подходит для градуировки стержневых эталонных платиновых термометров сопротивления (далее – ЭТС). На основе опыта реализации действующих реперных точек МТШ-90, был выбран метод реализации ТТ CO<sub>2</sub>, который позволил достичь плато плавления протяженностью до 10 часов с воспроизводимостью  $0,25 \cdot 10^{-3}$  °С. Усовершенствованный метод позволил достичь протяженности плато более чем 90 часов. Для апробации построения индивидуальной функции отклонения от стандартной функции МТШ-90 для ЭТС, проведена градуировка в диапазоне от минус 189,3442 °С до 0,01 °С с применением ТТ CO<sub>2</sub>. Анализ коэффициентов чувствительности реперных точек на функцию отклонения, показал возможность двукратного уменьшения неопределенности градуировки ЭТС. Представленные в работе результаты позволяют сделать вывод о возможности применения ТТ CO<sub>2</sub> в качестве новой градуировочной точки МТШ-90 и о преимуществе новой градуировочной точки. Результаты работы позволяют распространить и внедрить практику применения ТТ CO<sub>2</sub> в систему обеспечения единства измерения единицы температуры

**Ключевые слова:** температура, реперные точки МТШ-90, тройная точка ртути, тройная точка диоксида углерода, градуировка, функция отклонения

## Annotation

In 2019, a new definition of the temperature unit kelvin was introduced into practice, but this did not affect the status of ITS-90 and IPTS-2000. The high demand for ITS-90 due to the possibility of simply realizing the unit in practice. One of the unsolved problems remains the substitution of the mercury fixed point. The use of the triple point of temperature (TP) of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) as a fixed point is considered one of the promising alternatives to the mercury fixed point. The study presents the developed design of a CO<sub>2</sub> cell, which is suitable for calibrating long-stem standard platinum resistance thermometers (SPRT). Based on the experience of realizing the primary fixed points of ITS-90, the method of preparation TT CO<sub>2</sub> was chosen, which made it possible to achieve a melting plateau duration up to 10 hours with a reproducibility of  $0,25 \cdot 10^{-3}$  °C. The improvement of the method made it possible to achieve a plateau duration of more than 90 hours. To approve experimentally the interpolation of an individual deviation function from the standard ITS-90 function for SPRT, calibration was carried out in the range from -189.3442 °C to 0.01 °C using TT CO<sub>2</sub>. Analysis of the sensitivity coefficients of fixed points to the deviation function showed the possibility of a two times reduction in the uncertainty of SPRT calibration. The results presented in the work allow us to conclude that it is possible to use TT CO<sub>2</sub> as a new calibration point ITS-90 and the advantage of the new calibration point. The results of the work make it possible to spread and introduce the practice of using TT CO<sub>2</sub> into the system for ensuring the uniformity of measurement of the temperature unit.

**Key words:** temperature, fixed points of ITS-90, triple point of mercury, triple point of carbon dioxide, SPRT calibration



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

Международная температурная шкала МТШ-90 была принята в 1990 году и является действующей на данный момент. На 26-й Генеральной конференции по мерам и весам была принята новая метрическая система Si [1]. Одной из единиц, получивших новое определение, является кельвин. Новое определение основано на принятии фиксированного значения постоянной Больцмана и не требует применения артефакта в виде ТТ воды, однако на статус МТШ-90 это не повлияло [2]. Во-первых, это связано с тем, что неопределенность имеющихся методов абсолютной термометрии в диапазоне от 0 °С до 961,78 °С значительно уступает неопределенности воспроизведения МТШ-90. Во-вторых, в области реализации, воспроизведения и передачи единицы температуры ниже 0 °С МТШ-90 является более удобной на практике, что было подтверждено решением 26-го заседания Консультативного комитета по термометрии. В связи с высокой востребованностью МТШ-90 были определены и направления модернизации шкалы [3-4]: уточнение поправки аппроксимации МТШ-90 к термодинамической температуре, исследование и поиск путей уменьшения неединственности шкалы, исследование веществ с высокостабильными фазовыми переходами для принятия новой реперной точки на замену реперной точки ртути.

Ртуть является одним из опасных токсичных веществ [5], от добычи, применения и торговли которым было принято решение отказаться, что закреплено подписанием и ратификацией Миноматской конвенции по ртути [6]. Реперная точка на основе реализации ТТ ртути является одной из основных реперных точек МТШ-90 и активно применяется как для ключевых международных сличений, так и градуировки ЭТС. В качестве рассматриваемых замен исследуются вторичные реперные точки МТШ-90 [7]. Основные вещества-кандидаты: CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> и Xe. В лаборатории ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» проводились исследования ТТ CO<sub>2</sub>. По всем трем веществам есть публикации с результатами исследований [8-12]. Основным недостатком этих исследований было отмечено [13] отсутствие результатов для ампул больших размеров, пригодных для градуировки стержневых ЭТС.

Решение задачи по замене реперной точки ртути является важной научно-исследовательской задачей, так как необходимо разработать условия и метод реализации ТТ на основе не использованных ранее веществ.

#### **Цель работы**

Разработка конструкции ампулы пригодной для градуировки стержневых ЭТС в диапазоне от 0,01 °С до минус 189,3442 °С и исследование метрологических характеристик температуры ТТ на основе нового вещества для определения возможности применения в качестве новой градуировочной точки МТШ-90 на замену реперной точки ртути.

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

Предложенная конструкция ампулы ТТ CO<sub>2</sub> позволит решить проблему с невозможностью транспортировки ампулы ртути для калибровки или сличений. Новый метод реализации ТТ CO<sub>2</sub> является доступным для реализации в любых НМИ и ЦСМ, что позволяет распространить и внедрить практику применения ТТ CO<sub>2</sub> в систему обеспечения единства измерения единицы температуры для стержневых ЭТС.

#### **Задачи работы**

1. Разработка конструкции ампулы и изготовление опытного образца пригодного для градуировки стержневых ЭТС в диапазоне от 0,01 °С до минус 189,3442 °С, с учетом особенностей CO<sub>2</sub>.
2. Выбор и усовершенствование метода реализации ТТ CO<sub>2</sub>.
3. Исследование метрологических характеристик ампулы ТТ CO<sub>2</sub>.
4. Экспериментальное подтверждение возможности применения ТТ CO<sub>2</sub> в качестве новой градуировочной точки МТШ-90.

#### **Суть работы**

Конструкция ампулы разрабатывалась с учетом имеющегося метрологического обеспечения для реализации реперной точки ртути. Ампула изготавливалась по аналогичной конструкции с ампулой ТТ воды, с применением нержавеющей стали вместо кварца. Нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т обеспечивает двукратный запас по прочности с учетом давления насыщенных паров CO<sub>2</sub> при комнатной температуре. Ампула заполнялась жидким веществом чистотой 99,9995 %, масса вещества в ампуле 0,42 кг.

В связи с тем, что состояние полного равновесия ТТ не достижимо, на практике ТТ реализуются, как плато плавления при определенных условиях, а форма и протяженность этого плато зависит от процедуры заморозки. Первые исследования по реализации ТТ CO<sub>2</sub> проводились на основе опыта реализаций действующих реперных точек МТШ-90: с внутренним и внешним намораживанием твердой фазы в процессе подготовки ампулы к реализации [14]. По результатам исследований в лаборатории

ВНИИМ [15] метод внутреннего намораживания твердой фазы позволил достичь лучшей протяженности и составил от 5 до 10 часов. Метод заключается в намораживании твердой фазы вокруг термометрового канала при погружении медных стержней, охлажденных в жидком азоте.

Выбранный метод позволил провести исследование метрологических характеристик [15]. По результатам серии из пяти реализаций плато плавления воспроизводимость реализуемой температуры не превысила  $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ , перепад из-за наклона кривой плавления не превысил  $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ . Анализ источников неопределенностей показал, что стандартной неопределенность ( $k=1$ ) составляет  $0,29 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ . Полученные результаты подтвердили перспективность применений ТТ  $\text{CO}_2$ , поэтому была проведена работа по совершенствованию методов реализации с целью получить плато большей протяженности, что необходимо для сличений и градуировки термометров [16]. Усовершенствованный метод требует подачи жидкого азота непосредственно в термометровый канал вместо медных стержней, для чего была изготовлена специальная емкость. Такой метод наморозки требует 1 литр жидкого азота, который выкипает в течение 30 минут. Такое количество жидкого азота при кипении расходует более 160 кДж, что в два раза больше необходимого для полной наморозки ампулы. Протяженность плато плавления, полученных таким методом, составляет более 90 часов. Обнаружено, что наличие спирта в термометровом канале, который обычно заливается для повышения теплового контакта, может значительно снижать эффективность такой наморозки. Это связано с затвердеванием спирта и образованием пробки на выходе трубки емкости для подачи жидкого азота.

Для экспериментального подтверждения пригодности тройной точки  $\text{CO}_2$  в качестве градуировочной точки проводился расчет и построение кривых коэффициентов чувствительности градуировочных точек [17]. Этот коэффициент позволяет оценить, как ошибка в одной отдельной реперной точке влияет на неопределенность всей градуировочной характеристики. Коэффициенты чувствительности рассчитывались на основе градуировки стержневого ЭТС с применением двух наборов реперных точек:

1. ртуть, аргон, ТТ воды;
2.  $\text{CO}_2$ , аргон, ТТ воды.

По результатам измерений рассчитывались функции отклонения от стандартной функции МТШ-90 в диапазоне от  $0,01 \text{ }^\circ\text{C}$  до минус  $189,3442 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитаны коэффициенты чувствительности для каждой точки для двух наборов. Анализ коэффициентов влияния показал, что наибольший вклад в неопределенность реперные точки имеют при температуре минус  $145 \text{ }^\circ\text{C}$ , однако для градуировки с применением ТТ  $\text{CO}_2$  это значение в 2 раза ниже.

### Полученные результаты

В соответствии с современными мировыми тенденциями решена научно-исследовательская задача по поиску альтернативы реперной точки ртути и исследованию метрологических характеристик новой реперной точки. Разработана конструкция ампулы, подходящей для градуировки стержневых ЭТС. Выбран и усовершенствован метод подготовки и реализации ТТ  $\text{CO}_2$ , предложенный метод является доступным для реализации в любых лабораториях и позволяет получить плато плавления протяженностью до 90 часов. Экспериментально подтверждена возможность градуировки стержневого ЭТС с построением индивидуальной функции отклонения МТШ-90. Анализ рассчитанных коэффициентов чувствительности показал, что влияние неопределенности каждой из градуировочных точек можно уменьшить в 1,5 – 2 раза с применением тройной точки  $\text{CO}_2$ . По всем результатам исследований можно сделать вывод не только о возможности применения ТТ  $\text{CO}_2$  в качестве новой градуировочной точки МТШ-90 взамен реперной точки ртути, но и об уменьшении неопределенности при градуировке термометров с применением тройной точки  $\text{CO}_2$ .

### Литература

1. The International System of Units (SI). 9th edition. BIPM, с. 133 (2019).
2. Consultative Committee for Thermometry (CCT) Report of the 26th meeting (24 25 May 2012) Bureau International des Poids et Mesures. 2012. с.21.
3. Consultative Committee for Thermometry (CCT) Report of the 30th meeting (18 January and 8 February 2022) Bureau International des Poids et Mesures. 2022. с.22.
4. Походун А.И., Бекетов Н.А., Новое определение единицы температуры и продление жизни международной температурной шкалы, Законодательная и прикладная метрология. 2022; 4(178), 13-16.
5. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп. – Л.:Химия, 1988. с.512
6. Минаматская конвенция по ртути от 29 августа 2017 // ЮНЕП, ООН, октябрь 2013 года.
7. R. E. Bedford 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.
8. Ting Li et al Realization and evaluation of the triple point of sulfur hexafluoride. Metrologia, 2021, 58, 035008.

9. W.L. Tew and 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.
10. Steur P. P. M. and Giraudi D. Preliminary Measurements of the Xenon Triple Point. *Int. J. Thermophys*, 2014, 35, 604.
11. Steur P. P. M., Rourke P. M. C. and Giraudi D. Comparison of xenon triple point realizations. *Metrologia*, 2019, 56, 015008.
12. Yasuki Kawamura, Nobuhiro Matsumoto, Tohru Nakan. Realization of the triple point of carbon dioxide evaluated by the ITS-90. *Metrologia*. 2020. 57. 015004.
13. Consultative Committee for Thermometry (CCT) Minutes of the 29th meeting 20 October 2020 to 9 February. Bureau International des Poids et Mesures, 2021, с. 39.
14. J. V. Pearce, P. P. M. Steur, W. Joung, F. Sparasci, G. Strouse, J. Tamba, M. Kalemci, Guide to the Realization of the ITS-90. Metal Fixed Points for Contact Thermometry. 2021, 34.
15. Окладников В.М., Полуниин С.П., Бекетов Н.А., Походун А.И. Модернизация Международной температурной шкалы МТШ-90: тройная точка диоксида углерода вместо тройной точки ртути. *Измерительная техника*. 2022;(7):54-57.
16. Б.Г. Потапов, А.А. Петухов, Я.Е. Ражба, М.Ю. Гавалян, В.Г. Кытин, Н.А. Бекетов, А.И. Походун, Оптимизация режима реализации тройной точки углекислого газа в ячейке для длинностержневых термометров сопротивления, *Альманах современной метрологии*. 2024; 1(37), стр. 80–90.
17. A. I. Pokhodun, B. Fellmuth, J. V. Pearce, R. L. Rusby, P. P. M. Steur, O. Tamura, W. L. Tew, D. R. White, Guide to the Realization of the ITS-90. Platinum Resistance Thermometry. APPENDIX 1: Alternative interpolating functions for special applications. 2018, 9.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЧКИ РОСЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ВОДЫ

Станислав Андреевич Богомолов

ООО «Газпром трансгаз Москва» «Инженерно-технический центр»,  
Москва, Российская Федерация  
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. Для обеспечения достоверности результатов измерений было определено влияние фазы воды в момент наступления термодинамического равновесия на результат измерений.*

**Ключевые слова:** точка росы, точка инея, давление насыщенного пара, конденсация, возгонка, термодинамическое равновесие

## **Annotation**

*Dew point for the gas above the surfaces of supercooled water and ice of the same temperature will differ, that may affect the results of verification of measuring instruments when using devices reproducing the dew point according to the principles of the phase equilibrium method. To ensure the reliability of the measurement results, the influence of the water phase at the time of the onset of thermodynamic equilibrium on the measurement result was determined.*

**Key words:** dew point, frost point, equilibrium vapor pressure, condensation, sublimation, thermodynamic equilibrium

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

При поверке средств измерений температуры точки росы в ООО «Газпром трансгаз Москва» в качестве эталона применяется поверочный комплекс «КОНГ», действующий на принципе фазового равновесия. Задаваемая поверочным комплексом температура точки росы обеспечивается путём охлаждения до заданной температуры зеркальной поверхности прибора. При воспроизведении отрицательных температур возникает ситуация, когда эталоном воспроизводится точка инея, а поверяемый прибор рассчитан на регистрацию точки росы.

## **Цель работы**

- Определить влияние твёрдой фазы воды генератора на определение точки росы поверяемым прибором;
- Оценить влияние различия фаз на поверхности эталона на результаты поверки.

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

Данное явление актуально для эталонов, действующих только на методе фазового равновесия, без комбинирования с иными методами воспроизведения точки росы. В целом, такие эталоны занимают малую часть рынка, но для нашей организации это оптимальное оборудование, позволяющее контролировать метрологические характеристики анализаторов точки росы, следовательно, своевременно предупреждать образование скоплений влаги в газопроводе.

## **Задачи работы**

- Определить теоретическое различие измерений температуры точки росы при разных фазах на поверхности эталона;
- Собрать статистику измеренных значений над твёрдой и жидкой фазой воды при одинаковой отрицательной температуре;
- Методами математической статистики проверить гипотезу о равенстве двух дисперсий.

## **Суть работы**

Согласно современным стандартам [1] температурой точки росы по воде является температура при конкретном давлении, при которой начинается конденсация паров воды. Исходя из формул

ГОСТ Р 8.811-2012 [2] можем рассчитать разницу количества влаги в газе над твёрдой и жидкой поверхностью воды:

$$\ln E_{w90}(t') = -6096,9385 \cdot T'_{90}{}^{-1} + 16,635794 - 2,711193 \cdot 10^{-2} \cdot T'_{90} + 1,673952 \cdot 10^{-5} \cdot T'_{90}{}^2 + 2,433502 \cdot \ln(T'_{90}) \quad (1)$$

$$\ln E_{i90}(t') = -6024,5282 \cdot T'_{90}{}^{-1} + 24,7219 + 1,0613868 \cdot 10^{-2} \cdot T'_{90} - 1,3198825 \cdot 10^{-5} \cdot T'_{90}{}^2 - 0,49382577 \cdot \ln(T'_{90}) \quad (2)$$

где  $t'$  — это температура поверхности раздела фаз;

$E_{w90}$  и  $E_{i90}$  — это давление насыщенного водяного пара в однокомпонентной системе, находящегося в термодинамическом равновесии с конденсированной фазой воды (в жидком или твердом состоянии соответственно) при плоской поверхности раздела фаз, имеющей температуру  $t'$ , гПа.

$$\Delta E = E_{w90}(t') - E_{i90}(t'), \quad (3)$$

где  $\Delta E$  — это разница парциальных давлений, Па.

Наглядно разница измерений точки росы насыщенного пара над поверхностью переохлажденной воды/льда представлена на рисунке 1. Из рисунка следует, что диапазон возможных значений действительной точки росы над твёрдой фазой воды будет больше на 10 % от погрешности эталона, что может привести к возникновению ошибки 1-го рода. Для оценки вероятности ошибки 1-го рода опирались на закон нормального распределения. Вероятность признать годное СИ непригодным не превысит 1 %, расчётное распределение изображено на рисунке 2. Для расчетов опирались на характеристики поверочного 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 [2].

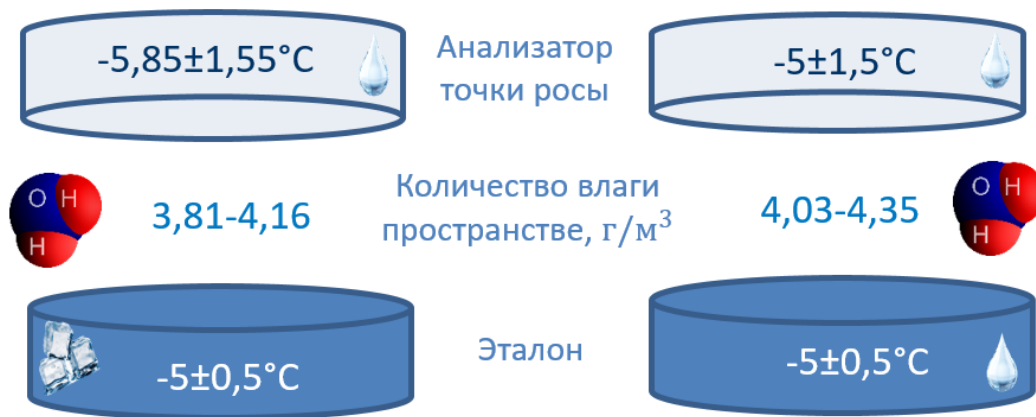


Рис. 1. Различия количества насыщенного пара над твердой/жидкой фазой воды от температуры раздела фаз



Рис. 2. Вероятность ошибки 1-го рода

Для проверки гипотезы о равенстве двух дисперсий были проведены измерения точки росы, задаваемой эталоном, над поверхностью воды/льда при температуре  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В качестве поверяемого прибора использовали анализатор точек росы интерференционный Конг-Прима-10, описание типа 28228-10, погрешность измерений  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Жидкая фаза воды при отрицательной температуре достигалась добавлением на охлажденное зеркало небольшого количества метанола (согласно руководству по эксплуатации анализатора, концентрация до  $600\text{ мг/м}^3$  не влияет на измерения точки росы). Полученные выборки предоставлены в таблице 1.

*Таблица 1 – результаты измерений над водой/льдом на поверхности эталона*

Вода	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,0	-5,1
Лёд	-5,9	-5,9	-5,9	-5,9	-6,0	-6,0	-5,9	-5,9	-5,9

После статистической обработки данных и проверки равенства двух дисперсий, основываясь на критерии Фишера и таблице критических точек распределения Фишера-Снедекора при уровне значимости  $\alpha=0,05$  можем считать, что дисперсии равны. Следовательно, различие в фазе на поверхности эталона не влияет на поверку средств измерений с данной точностью.

#### **Полученные результаты**

По результатам проведенной работы было определено, что:

1. При поверке с применением эталонов, действующих на принципе фазового равновесия, возникает вероятность ошибки 1-го рода, не превышающая 1 %, при условии нормального закона распределения.

2. Влияние на поверку средств измерений по причине различия агрегатного состояния воспроизводимой эталоном и анализируемой прибором точек отсутствует при измерениях с данной точностью, следовательно, поверку можно считать достоверной.

#### **Литература**

1. ГОСТ 20060-2021. Газ природный. Определение температуры точки росы по воде.
2. ГОСТ Р 8.811-2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ФБУ «КРАСНОДАРСКИЙ ЦСМ» С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРАТОРОВ

Владислав Владиславович Бокатов

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Краснодарском крае и Республике Адыгея»  
(ФБУ «Краснодарский ЦСМ»)  
Краснодар, Российская Федерация  
bokatov.vv@krasnodarcsm.ru

## **Аннотация**

ФБУ «Краснодарский ЦСМ» за 2023 год произвел более десяти тысяч поверок различных цифровых мультиметров и вольтметров. В соответствии с методиками поверок для данных приборов необходимо проводить большое количество измерений. В связи с большим объемом работы остро стоит вопрос о рационализации труда поверителей и автоматизации части процессов по поверке средств измерений.

В статье освещена актуальность замены иностранного оборудования современными отечественными аналогами. Рассмотрены примеры автоматизации измерений при проведении поверки средств измерений на основе отечественного оборудования и программного обеспечения. Рассмотрена возможность создания и использования скриптов для проведения измерений в автономном режиме на калибраторах универсальных Н4-56 и Н4-57 производства ООО «КБ «ИС» (Россия, г. Краснодар).

С целью выявления влияния автоматизации измерений на время проведения поверки средств измерений проведен сравнительный анализ затраченного времени на измерения в ручных режимах и в автономных режимах сотрудниками с различным опытом работы и квалификации при проведении поверок средств измерений с интерфейсными разъемами и без них. На основании полученных результатов были сделаны выводы о практическом применении автоматизации измерений при проведении поверок.

**Ключевые слова:** метрология, автоматизация, поверка средств измерений, импортозамещение, создание скриптов поверки, автономное управление приборами

## **Annotation**

In 2023, the FSBI "Krasnodar CSM" conducted over ten thousand calibrations of various digital multimeters and voltmeters. According to the calibration methodologies for these devices, a large number of measurements must be performed. Due to the large volume of work, there is an urgent need to rationalize the labor of calibrators and automate some of the processes in the calibration of measuring instruments.

The article highlights the relevance of replacing foreign equipment with modern domestic equivalents. Examples of measurement automation in the calibration of measuring instruments based on domestic equipment and software are considered. The possibility of creating and using scripts for conducting measurements in autonomous mode on universal calibrators H4-56 and H4-57 produced by LLC "KB "IS" (Russia, Krasnodar) is discussed.

To identify the impact of measurement automation on the time spent calibrating measuring instruments, a comparative analysis of the time spent on measurements in manual and autonomous modes by employees with different levels of experience and qualifications was conducted for calibrations of measuring instruments with and without interface connectors. Based on the results, conclusions were drawn about the practical application of measurement automation in the conduct of calibrations.

**Key words:** metrology, automation, calibration of measuring instruments, import substitution, calibration script creation, autonomous instrument control

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

Проведение поверки многофункциональных средств измерений электрических величин занимает большое количество времени и ручного труда поверителя. На данный момент автоматизированные системы поверки реализованы в основном на основе импортного оборудования. В соответствии с указом президента Российской Федерации «О мерах по обеспечению технологической независимости и



безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» Федеральным бюджетным учреждениям следует ориентироваться на продукцию отечественного производства с использованием отечественного программного обеспечения.

### **Цель работы**

Целью работы является определение возможности автоматизации измерений при проведении поверки на основе отечественного оборудования и программного обеспечения для сокращения времени проведения поверки, рационализации труда поверителя.

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

ООО «КБ «ИС» (Россия, г. Краснодар) были разработаны калибраторы универсальные Н4-56 и Н4-57 (далее – калибраторы), которые имеют программное обеспечение, позволяющее проводить поверку в режиме автономного управления средств измерений. Данные калибраторы поддерживают стандарт SCPI-1999, Standart Commands for Programmable Instruments [1, 2].

Новизной данного метода является то, что для автоматизации проведения измерений не требуется подключение к ПК и использование стороннего программного обеспечения. Ранее аналогичные функции были доступны только с использованием импортного оборудования и/или стороннего программного обеспечения.

### **Задачи работы**

Оценить удобство, результативность, влияние на скорость проведения поверки используя калибраторы в режиме автономного управления средств измерений с интерфейсными разъемами (RS-232, Ethernet) и без интерфейсных разъемов.

### **Суть работы**

При проведении поверки средств измерений (цифровых вольтметров, мультиметров и др.) имеющих интерфейсные разъемы (RS-232 или Ethernet) на калибраторах универсальных Н4-56 и Н4-57 есть возможность использования последовательности команд (скрипта) SCPI для работы в полностью автоматическом режиме, с возможностью записи измеренных значений в электронную таблицу, которая легко экспортируется в протокол поверки. При использовании данного режима работы от оператора потребуется перевести калибратор в режим автономного управления, запустить нужный скрипт поверки с помощью панели управления калибратора.

Для приборов, которые имеют отдельные измерительные входы на ток, а также которые измеряют ток свыше 2А при создании скрипта следует учитывать остановки для переключения оператором измерительных проводов в нужные разъемы или переключение диапазонов на поверяемом приборе. После подтверждения оператора калибратор продолжит выполнение скрипта. Данная возможность позволит избежать перегрузки и выхода из строя оборудования.

После выполнения скрипта, необходимо подключить калибратор с помощью USB к ПК в режиме накопителя данных, скачать файл с результатами измерений в формате .csv, который легко преобразовать в таблицу Excel.

Для средств измерений без интерфейсных выходов есть возможность создания скрипта со всеми поверочными точками для поверки в полуавтоматическом режиме. Оператор вручную ведет протокол поверки, подтверждает на калибраторе кнопкой «Далее» переход к следующей измеряемой точке, при необходимости производит коммутационные переключения. Данный режим позволяет сократить время поверки, так как не требует ручного введения каждого значения величины.

Создание скриптов для автономного управления возможно как на компьютере, так и без него – непосредственно на калибраторе. В пункте меню «автономное управление» калибратора есть возможность создания скрипта путём последовательного ввода нужных величин и при необходимости дополнительных параметров. Таким образом, калибратор сформирует необходимый скрипт без подключения ПК. Данный способ предпочтителен для средств измерений, не имеющих интерфейсного выхода, и не требует от оператора знаний в написании программного кода.

Весь функционал создания скриптов для автономного управления доступен на компьютере с последующей записью его на встроенный накопитель прибора. Данный способ предпочтителен для средств измерений с интерфейсными выходами, так как позволяет не только управлять калибратором и поверяемым прибором, но и сохранять измеренные значения в память, освобождая оператора от необходимости ручной записи. Каждый созданный скрипт хранится в памяти калибратора и может использоваться неограниченное количество раз.

Калибраторы универсальные Н4-56 и Н4-57 позволяют отправлять управляющие команды не только на поверяемые с его помощью средства измерений, но и на эталоны единицы величины, с помощью которых производится поверка самих калибраторов.

На рисунке 2 приведен отрывок скрипта для автоматической поверки калибратора универсального Н4-56 в режиме воспроизведения напряжения постоянного и переменного тока. В качестве эталона использован калибратор-вольтметр универсальный Н4-12.

```

MMEM:NAME "Volt_",DATE," ",TIME,".csv"
MMEM:WRITELN 'Номинальное, Ед. изм., "Частота, Гц", Режим, Измеренное, Допуск, Погрешность, В допуске'
SERIAL:BAUD 9600
SER:TRAN 'MV\0D\0A'
PAUSE 100 ms
SER:TRAN 'RV2\0D\0A'
PAUSE 100 ms
SER:TRAN 'DV6\0D\0A'
PAUSE 100 ms
SER:TRAN 'T1\0D\0A'
CONF:VOLT:DC 0.000005
OUTP 1
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000016,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
CONF:VOLT:DC -0.000005
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000016,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
CONF:VOLT:DC 0.1
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000002,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
CONF:VOLT:DC -0.1
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000002,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
CONF:VOLT:DC 1
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000056,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
CONF:VOLT:DC -1
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000056,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
SER:TRAN 'RV3\0D\0A'
CONF:VOLT:DC 3
PAUSE 10
MMEM:WRITELN VOLT, ' ,B, , ,=ЧЗНАЧ (ПСТР (" ,SERIAL, '";2;9);" ."), 0.000136,=E:E-A:A,=ЕСЛИ (ABS (G:G)>F:F;"Нет";"+") '
CONF:VOLT:DC -3
PAUSE 10

```

Рис. 2.

На рисунке 3 отображен отрывок таблицы с результатами измерений.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Номинальное	Ед. Изм.	Частота Гц	Режим	Измеренное	Допуск	Погрешность	В допуске
2	0,000005	B			0,000012	0,000016	0,000007	+
3	-0,000005	B			0	0,000016	0,000005	+
4	0,1	B			0,100007	0,00002	0,000007	+
5	-0,1	B			-0,099994	0,00002	0,000006	+
6	1	B			1,000009	0,000056	0,000009	+
7	-1	B			-0,99999	0,000056	0,000010	+
8	3	B			3,00003	0,000136	0,000030	+
9	-3	B			-2,99998	0,000136	0,000020	+
10	4	B			4,00002	0,000176	0,000020	+
11	-4	B			-3,99998	0,000176	0,000020	+
12	5	B			5,0001	0,00028	0,000100	+
13	-5	B			-4,99975	0,00028	0,000250	+

Рис. 3.

### Полученные результаты

Для изучения влияния автоматизации на скорость проведения поверки было проведено:

1. Определение погрешности в режимах воспроизведения напряжения постоянного и переменного токов калибратора универсального Н4-56 с помощью скрипта (данный прибор оснащен интерфейсным разъемом) и полностью вручную.

2. Определение погрешности мультиметра В7-61 во всех режимах измерения с помощью скрипта (данный прибор не имеет интерфейсных разъемов) и полностью вручную.

Так как на скорость проведения поверки влияет квалификация и опыт работы поверителя было принято решение о проведении измерений несколькими сотрудниками:

Сотрудник № 1 – имеет большой опыт работы с калибратором;

Сотрудник № 2 – опытный поверитель, но с данным калибратором работал не так много;

Сотрудник № 3 – стажер, выполняющий работу под руководством наставника.

Полученные результаты представлены в таблице №1.

Таблица № 1

Определение погрешности в режимах воспроизведения напряжения постоянного и переменного токов калибратора универсального Н4-56				
Поверители	Затраченное время измерения в ручном режиме, с	Затраченное время измерения с помощью скрипта, с	Абсолютная экономия затраченного времени измерений с помощью скрипта по отношению к ручному режиму, с	Относительная экономия затраченного времени измерений с помощью скрипта по отношению к ручному режиму, %
Сотрудник №1	1197	715	482	40,27
Сотрудник №2	1264	716	548	43,35
Сотрудник №3	1423	715	708	49,75
Определение погрешности мультиметра В7-61 во всех режимах измерения				
Поверители	Затраченное время измерения в ручном режиме, с.	Затраченное время измерения с помощью скрипта, с.	Абсолютная экономия затраченного времени измерений с помощью скрипта по отношению к ручному режиму, с.	Относительная экономия затраченного времени измерений с помощью скрипта по отношению к ручному режиму, %
Сотрудник №1	621	485	136	21,9
Сотрудник №2	679	512	167	24,69
Сотрудник №3	781	543	238	30,47

Благодаря использованию автономного режима (с помощью скрипта) для проведения поверки приборов, имеющих интерфейсные выходы (RS232 или Ethernet) затраченное время на измерения сократилось в среднем от 40 % до 50 %. При этом поверитель во время выполнения автоматического скрипта имеет возможность заниматься другой работой. Дополнительно сокращается время на оформление протокола поверки за счет автоматически сформированной таблицы с результатами измерений. Для приборов, которые не имеют интерфейсных выходов, время проведения измерений сократилось в среднем от 20 % до 30 %. На время проведения измерений влияет множество факторов, в том числе вид, особенности оборудования и опыт работы поверителя с ним, скорость записи значений в протокол и другие факторы.

Для проведения поверки некоторых средств измерений в соответствии с методикой поверки требуется воспроизводить значения величин и/или диапазонов (например, измерение электрической ёмкости или индуктивности), которые не воспроизводят калибраторы ООО «КБ «ИС», в связи с этим полная автоматизация проведения измерений поверки таких приборов невозможна. В целях соблюдения требований методики поверки, измерение оставшихся значений величин и/или диапазонов производится с помощью дополнительного оборудования в ручном режиме. Но даже в таком случае, использование автономного режима работы калибраторов при поверке позволяет увеличить скорость работы, облегчить труд поверителя, помогает избежать ошибок при ручном вводе, уменьшить физический износ кнопок и панели управления прибора.

#### Литература

1. КБИС.411182.001 РЭ «Калибратор универсальный Н4-56. Руководство по эксплуатации», 160 с.
2. КБИС.411182.003 РЭ «Калибратор универсальный Н4-57. Руководство по эксплуатации», 144 с.

# ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМЫ ПРОТИВОЗАТАСКИВАТЕЛЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Андрей Петрович Ворфоломеев

Публичное акционерное общество «Сургутнефтегаз»,  
Сургут, Российская Федерация  
+7 (3462) 43-41-11, +7 (3462) 43-50-50, vorfolomeev\_ap@mail.ru

## **Аннотация**

*Зачастую для решения новых производственных задач требуется разработка собственного нестандартного оборудования, которое в отличие от имеющихся в обиходе средств измерений специализируется на решении конкретно поставленных задач, позволяет учесть все требования к объекту измерений и его функциональным возможностям.*

*Так для решения вопроса обслуживания системы противовзатаскивателя буровой установки, являющейся средством защиты персонала и дорогостоящего бурового оборудования от нештатных ситуаций, при подъеме талевого блока в процессе капитального или текущего ремонта скважин было разработано собственное средство измерений. Целью которого стали оперативная и точная локализации отказавших узлов, проверка работоспособности системы противовзатаскивателя в целом.*

*Необходимость разработки во многом обосновывается тем, что производитель системы противовзатаскивателя прекратил обслуживание своей продукции на территории Российской Федерации, не предоставив требуемых средств диагностики.*

*Разработанное средство измерений исходя из выполняемых функций получило название "Диагностический комплекс системы противовзатаскивателя буровой установки".*

*Собственная разработка позволила учесть не только требования к результатам измерений и особенности построения системы, но и обеспечить соответствующие условия эксплуатации, а подготовка сопроводительной документации сделала сроки освоения процесса диагностики системы противовзатаскивателя кратчайшими.*

## **Annotation**

*Often for solution of new production tasks it is necessary to develop own non-standard equipment, which unlike existing measuring instruments specializes on solution of specific tasks, allows to take into account all requirements to the object of measurement and its functional capabilities.*

*To solve the issue of servicing of the mobile rig crown protection system, which is a means of protecting personnel and expensive drilling equipment from emergency situations when lifting the hoist block in the process of well workover or servicing, we developed our own measuring device. The purpose of this tool was to localize the failed units promptly and accurately and to check the performance of the entire crown protection system.*

*The necessity of the development is justified by the fact that the manufacturer of the crown protection system stopped servicing its products in the territory of the Russian Federation without providing the required diagnostic tools.*

*The developed measuring tool, based on the performed functions, was named "Mobile rig crown protection system diagnostic complex".*

*The own development allowed to take into account not only the requirements to the measurement results and peculiarities of the system construction, but also to provide appropriate operating conditions, and preparation of the accompanying documentation made the time of mastering the process of diagnostics of crown protection system minimal.*

## **Актуальность в прикладном значении**

Для бурения боковых стволов широкое применение нашли мобильные буровые установки на базе подъемных агрегатов, применяемые для капитального и текущего ремонта скважин.

Для повышения безопасности с 2014 года подъемные агрегаты оснастили новой системой противовзатаскивателя буровой установки, включающей дополнительные средства автоматизации с целью предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций.

Установленные дополнительные средства автоматизации предназначены для самостоятельного срабатывания главного тормоза при достижении установленных пороговых значений высоты подъема талевого блока.

Документация, поставляемая в комплекте с подъемниками, помимо общего функционирования, подробно описывает уход за узлами агрегатов. При этом в процессе эксплуатации было выявлено, что в части автоматизации техническая документация охватывает обслуживание не в полном объеме. Обслуживание системы противозатаскивателя описано, ограничено, что не позволяет проводить его с требуемым качеством, а ремонт и оперативная локализация отказов вызывают большие затруднения.

Невозможность точного определения отказавшего узла системы обусловлена сложностью ее составляющих. Для выявления дефекта необходим целый комплекс средств измерений, полностью согласованных с измерительными узлами. А интенсивная эксплуатация подъемников и тяжелые климатические условия применения лишь способствуют их преждевременному износу.

Система противозатаскивателя управляет тормозом барабана лебедки талевого каната, от своевременного срабатывания которого зависит целостность подъемного агрегата и безопасность эксплуатирующего персонала. Ведение работ при отключенной или неисправной системе противозатаскивателя недопустимо. Выход ее из строя влечет простой подъемников, а недостоверность работы может привести к авариям и несчастным случаям.

### **Цель работы**

С целью обеспечения возможности технического обслуживания системы противозатаскивателя буровой установки, оперативной и точной локализации неисправных узлов системы в условиях работы подъемных агрегатов был разработан и изготовлен диагностический комплекс системы противозатаскивателя буровой установки.

Диагностический комплекс – средство измерений, разработанное с учетом всех функциональных требований системы противозатаскивателя. Он предназначен для определения работоспособности системы в сборе, интеграцией в нее и отдельных ее элементов посредством измерений соответствующих электрических сигналов.

Основой разработанного диагностического комплекса являются измерительные модули, цепи которых согласованы с системой противозатаскивателя.

Применение диагностического комплекса имеет большую практическую значимость в области охраны труда и промышленной безопасности, в части предупреждения возникновения аварий и инцидентов при производстве работ.

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

Внедренная система, разработана под конкретные типы подъемных агрегатов и является уникальной, средств диагностики у производителя не обнаружено.

Важность и обоснованность собственной разработки заключается в том, что система противозатаскивателя, как и применяемые подъемные агрегаты, являются техническими устройствами импортного производства, обслуживание которых сегодня возможно исключительно собственными силами.

Диагностический комплекс является нестандартным оборудованием, изготовленными специально для системы противозатаскивателя буровой установки, существующих аналогов комплексу нет.

### **Задачи работы**

К диагностическому комплексу перед разработкой были выдвинуты основные требования. Комплекс должен:

1. обладать нормированными метрологическими характеристиками по точности, не уступающими средствам измерений, входящим в состав системы противозатаскивателя;
2. обеспечить возможность диагностики системы, как в сборе, так и отдельных ее узлов;
3. эксплуатироваться в тех же условиях, что и подъемные агрегаты;
4. иметь в составе эксплуатационную документацию, описывающую его работу и процесс диагностики системы для ремонтного персонала.

### **Суть работы**

Основные элементы системы противозатаскивателя буровой установки показаны на рисунке 1.

В систему входят: блок управления, датчик положения (кодер лебедки), преобразователь напряжения постоянного тока (12 В в 24 В) и соленоидный клапан главного тормоза.

Преобразователь напряжения изготавливается в неремонтопригодном и необслуживаемом исполнении. Контроль исправности осуществляется мультиметром в режиме измерения напряжения постоянного тока под нагрузкой и без.

Подробное описание обслуживания соленоидного клапана главного тормоза имеется в технической документации и не требует дополнительных доработок.

Методы определения исправности датчика положения и блока управления в технической документации не описаны, отсутствовали технология и приспособления для их тестирования в рабочих

условиях. В процессе обслуживания не было возможности определить точность распознавания системой положения лебедки (точность перемещения).

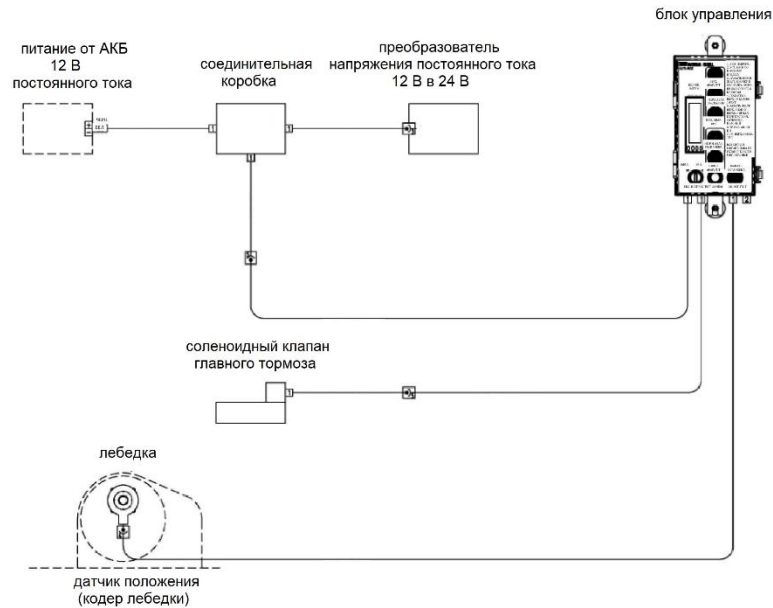


Рис. 1. Система противозатаскивателя

Решением выявленных проблем стала разработка диагностического комплекса системы противозатаскивателя буровой установки, а изучение характеристик измерительных цепей и функционирования узлов позволило изготовить его полностью согласованным с системой противозатаскивателя, сделать модули идентичными.

Диагностический комплекс состоит из двух блоков (рисунок 2 – 3), которые в зависимости от необходимости могут использоваться, как вместе, так и по отдельности.



Рис. 2. Диагностический комплекс Блок I



Рис. 3. Диагностический комплекс Блок II

Блок I предназначен для проверки датчиков положения. Для исключения воздействия питающей цепи системы на результат измерений, он оснащен встроенной аккумуляторной батареей. Вольтметр, входящий в состав блока, позволяет контролировать поочередно уровень выходных сигналов датчиков, напряжение сети системы (с преобразователя напряжения), заряд аккумуляторной батареи.

Блок II предназначен для проверки блока управления. Генератор, входящий в состав блока, имитирует датчик положения, воспроизводя сигналы по двум измерительным каналам, а счетчик импульсов останавливает генерацию в заданных точках, нормируя достижение уровней. Подключение блока к системе производится вместо датчика положения, позволяя контролировать всю линию коммутации системы противозатаскивателя.

Измерительные цепи диагностического комплекса защищены, что не позволит неисправной системе вывести его из строя.

Подробное описание технических (таблица 1), метрологических (таблица 2) характеристик комплекса, его эксплуатация и методика диагностики системы противозатаскивателя описаны в

сопроводительном эксплуатационном документе "Диагностический комплекс системы противозатаскивателя буровой установки. Руководство по эксплуатации. БЛМ.РТИ.0001.00 РЭ".

Данное руководство позволяет ознакомившемуся с ним ремонтному персоналу без дополнительного обучения с легкостью использовать комплекс, подчеркивает слабые места системы, на которые необходимо обратить особое внимание.

Таблица – 1 Технические характеристики диагностического комплекса

Наименование	Параметр
<b>Условия эксплуатации</b>	
температура окружающего воздуха	от -35 до 45 °С
относительная влажность воздуха	не более 80 %
атмосферное давление	от 84,0 до 106,7 кПа
<b>Электропитание</b>	
встроенная аккумуляторная батарея	24 В, 1200 мА·ч
напряжение питания от сети переменного тока	220 В ±10 %, 50 Гц ±2 %
при использовании сетевого адаптера	
напряжение питания от бортовой сети	24 В ±4,8 В
<b>Механические параметры</b>	
габаритные размеры, мм	Блок I – 91x251x291 Блок II – 100x255x290
масса, кг	Блок I – не более 2 Блок II – не более 1,5
Приведенные эксплуатационные характеристики обусловлены входящими в состав диагностического комплекса модулями	

Таблица – 2 Метрологические характеристики диагностического комплекса

Наименование блока	Диапазон измерений	Предел допустимой погрешности
Блок I	<b>Измерение напряжения</b>	
	0...200 В	$\delta = \pm 0,08 \% \cdot U_d$
	<b>Измерение уровня</b>	
	2,000...10,00 (соответствует 0...100 %)	не нормируется
	<b>Счет импульсов</b>	
от 2000 имп	$\Delta = \pm 1$ имп	
Блок II	<b>Генерация по двум каналам</b>	
	частота 1 кГц...68 МГц амплитуда 24,0 В сдвиг фаз 0°...360°	$\Delta = \pm 0,5$ В
	число генерируемых импульсов регулируется счетчиком импульсов	$\Delta = \pm 1$ имп
	<b>Счет импульсов</b>	
1...999999 имп	$\Delta = \pm 1$ имп	

Диагностический комплекс испытан на работу при низкой температуре окружающей среды, как в условиях лаборатории с применением климатической камеры, так и в условиях эксплуатации.

Так же комплекс обладает функцией самотестирования, позволяющей доверять результатам его работы в процессе диагностики системы, а конструктивное исполнение не позволяет влиять субъективному фактору на результат.

Масса диагностического комплекса в комплекте не превышает 5 кг, что не вызывает дополнительных трудностей при транспортировке.

Система противозатаскивателя прошедшая испытания на диагностическом комплексе гарантированно срабатывает при достижении установленных пороговых значений, защищая подъемный агрегат и здоровье эксплуатирующего персонала.

#### Полученные результаты

С момента внедрения диагностического комплекса в работу и по сегодняшний день не зафиксировано случаев возникновения нештатных ситуаций, вызванных неисправностью системы



противозатаскивателя буровой установки, следствиями которых могли бы стать выходы из строя дорогостоящего оборудования и несчастные случаи.

С применением диагностического комплекса освоен новый вид работ по ремонту датчиков положения. Число отремонтированных датчиков уже составило более 150 единиц.

**Литература**

1. Мобильная буровая установка. Эксплуатация и техобслуживание. Р31665-ОМ-2014-000, 2014, 93 с.
2. Противозатаскиватель буровой установки. Руководство по эксплуатации. 1064251-FDD, 2014, 96 с.

# АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ЕДИНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ С РАЗНЫМИ СТРУКТУРАМИ СПЕКТРА

Тамара Вячеславовна Герасимова

Белорусский государственный институт метрологии  
Минск, Республика Беларусь  
+ 375 17 397 51 17, +375 17 244 99 38, tvgerasimova@belgim.by

## **Аннотация**

*В данной статье представлены результаты оценивания неисключенной систематической относительной погрешности воспроизведения единицы коэффициента гармоник Национального эталона единицы коэффициента гармоник Республики Беларусь на разных структурах спектра выходного измерительного сигнала калибратора.*

*Результаты данных исследований будут использоваться для дальнейшего улучшения метрологического обеспечения в области средств воспроизведения и измерения коэффициента гармоник низкочастотных синусоидальных сигналов.*

**Ключевые слова:** *национальный эталон единицы коэффициента гармоник, неисключенная систематическая относительная погрешность, калибратор, метрологическое обеспечение, коэффициент гармоник, спектр сигнала*

## **Annotation**

*This article presents the results of the evaluation of the non-excluded systematic relative error in reproducing the harmonic factor unit by the national standard of the harmonic factor unit of the Republic of Belarus on different structures of the spectrum of the output measurement signal of the calibrator.*

*The results of the research will be used for further improvement of metrological support in terms of instruments for reproducing and measuring the harmonic factor of low-frequency sinusoidal signals.*

**Key words:** *national standard of the harmonic factor unit, non-excluded systematic relative error, calibrator, metrological support, harmonic factor, spectrum of the signal*

## **Актуальность в прикладном значении**

Для радиотехнических сигналов важны спектральный состав сигнала и коэффициент гармоник, как характеристика, определяющая степень отличия формы реального сигнала от идеальной синусоиды [1].

Для метрологического обеспечения средств измерения (СИ) коэффициента гармоник (КГ) в Республике Беларусь создан Национальный эталон единицы коэффициента гармоник. Эталон построен с использованием меры (калибратора) и компаратора, с помощью которого размер КГ передается нижестоящим эталонным и рабочим СИ в требуемых пределах и диапазоне частот. Калибратор эталона может воспроизводить спектрально чистый сигнал первой гармоники, а также сигналы с разными структурами спектра [2].

На территории Республики Беларусь для контроля состояния СИ КГ в диапазоне частот от 10 Гц (20 Гц) до 200 кГц используются установки СК6-10, К2С-57, которые характеризуются формированием выходного сигнала со спадающим спектром по закону  $\frac{1}{nF}$ . Исследования эталона проводились в сигнале калибратора с аналогичным спектром, как наиболее универсальном при оценке характеристик данных эталонных установок.

В последнее время на рынке СИ стали появляться новые современные калибраторы-измерители, генераторы-калибраторы, в которых реализованы цифровые методы синтеза сигналов с нормируемыми КГ и различным спектральным составом. Возникает необходимость учитывать и выбирать сигнал с предпочтительным спектром из имеющихся в калибраторе Национального эталона при использовании для передачи единицы КГ поверяемому СИ.

Требования к спектру и форме выходного сигнала калибратора диктуются компаратором эталона и его характеристиками [2]. Для минимизации неисключенной систематической погрешности (НСП)

передачи единицы коэффициента гармоник КГ при компарировании сигналов спектр сигнала калибратора должен быть максимально приближен к спектру исследуемого сигнала.

Прикладное значение выполненных исследований заключается в количественной оценке относительной НСП воспроизведения КГ Национальным эталоном Республики Беларусь на различных структурах спектра выходного сигнала калибратора.

#### **Цель работы**

Оценить относительную НСП воспроизведения КГ калибратором Национального эталона при формировании выходных сигналов со следующими структурами спектра:

- спектр  $K_4$  (содержащий первую и четвертую равновеликие гармоники);
- спектр  $K_8$  (содержащий первую и восьмую равновеликие гармоники);
- спектр  $K_2=K_4=K_8$  (содержащий первую и равновеликие вторую, четвертую и восьмую гармоники),
- спектр  $K_2=K_4$  (содержащий первую и равновеликие вторую и четвертую гармоники).

#### **Практическая (прикладная) значимость**

Практическая значимость результатов исследований связана с количественной оценкой относительной НСП воспроизведения КГ Национальным эталоном единицы КГ Республики Беларусь при формировании калибратором выходных сигналов с разными структурами спектра.

Результаты работы будут использоваться при поверке и калибровке нового поколения средств воспроизведения и измерения КГ, поступающих в Республику Беларусь.

#### **Задачи работы**

Рассчитать количественную оценку относительной НСП воспроизведения единицы КГ при формировании калибратором сигналов с разными структурами спектра и вклады источников неопределенности.

#### **Суть работы**

Относительная НСП воспроизведения КГ Национальным эталоном Республики Беларусь для разных структур спектра выходного сигнала обусловлена источниками, специфическими для данного эталона и определяется по формуле

$$A_0 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3,$$

где  $A_0$  – относительная НСП воспроизведения КГ, отн. %;

$\delta_1$  – погрешность из-за неполной компенсации первой гармоники в сигнале высших гармоник, отн. %;

$\delta_2$  – погрешность из-за неточности уравнивания среднеквадратического значения напряжения первой и напряжения высших гармоник в реперной точке КГ = 100 %, отн. %;

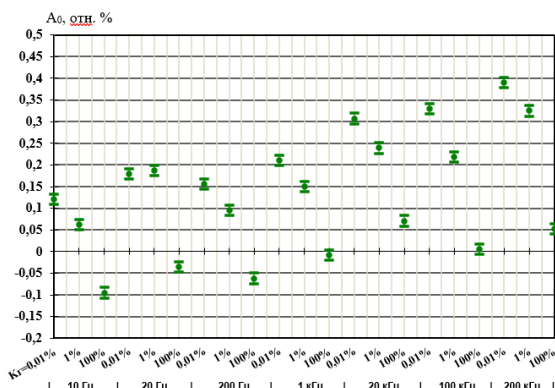
$\delta_3$  – погрешность встроенного делителя напряжения, отн. %.

Измерения проводились и оценивались на частотах первой гармоники 10; 20; 200 Гц; 1; 20; 100; 200 кГц при структурах спектра  $K_4$ ,  $K_8$ ,  $K_2=K_4=K_8$  и  $K_2=K_4$ , в соответствии с разработанной в БелГИМ методикой калибровки с использованием входящих в состав эталона мультиметра 3458А и анализаторов спектра U8903В, E4402В.

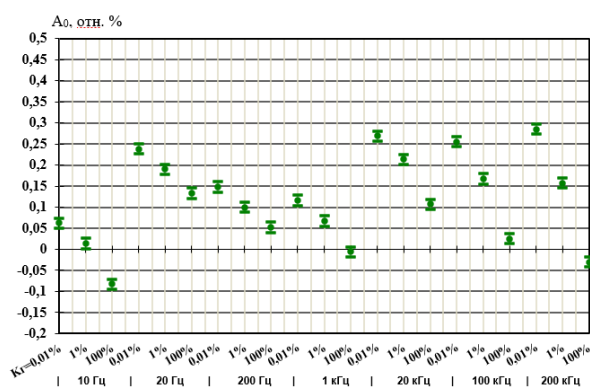
Достоверность оценивания неопределенности измерений при исследованиях была подтверждена результатами дополнительных сличений на спадающем спектре по закону  $\frac{1}{nF}$ , проведенными в 2019 году в рамках КООМЕТ с участием эталонов единицы КГ Российской Федерации и Республики Беларусь.

#### **Полученные результаты**

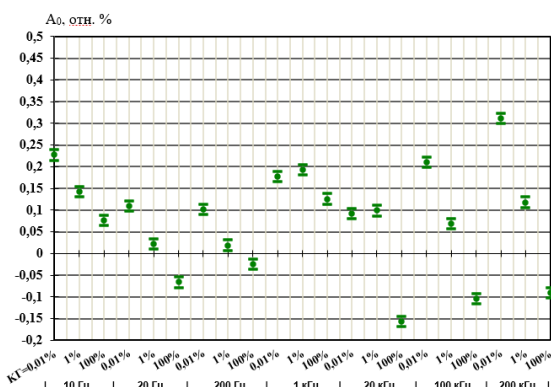
Ниже (в виде графиков на рис. 1) приведены полученные результаты экспериментальных исследований относительной НСП воспроизведения КГ  $A_0$  калибратором Национального эталона единицы коэффициента гармоник Республики Беларусь при спектрах  $K_4$ ,  $K_8$ ,  $K_2=K_4=K_8$  и  $K_2=K_4$  и расширенная неопределенность результата измерений.



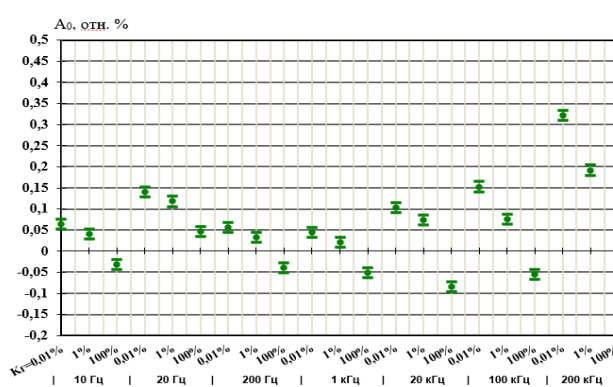
а) спектр  $K_4$



б) спектр  $K_8$



в) спектр  $K_2=K_4=K_8$



г) спектр  $K_2=K_4$

- рассчитанное значение относительной НСП  $A_0$ , отн. %;
- верхняя/нижняя плашка расширенной неопределенности результата измерений, отн. %

Рис. 1 — Результаты оценки относительной НСП воспроизведения коэффициента гармоник  $A_0$  и расширенная неопределенность измерений при разных структурах спектра

В результате проведенных исследований установлено, что максимальное значение относительной НСП воспроизведения КГ при неопределенности измерений 0,024 отн. % при уровне доверия 0,95 и коэффициенте охвата 2 при структурах спектра:

- $K_4$  не превышает 0,390 отн. %;
- $K_8$  не превышает 0,285 отн. %;
- $K_2=K_4=K_8$  не превышает 0,312 отн. %;
- $K_2=K_4$  не превышает 0,322 отн. %.

Во всех динамическом и частотном диапазонах обеспечен не менее чем двукратный запас точности, что позволяет контролировать точность измерений в соответствии с требованиями Государственного стандарта Республики Беларусь ГОСТ 8.110-97 новых перспективных СИ, воспроизводящих и измеряющих КГ синусоидального сигнала на разных структурах спектра [3].

### Литература

- 1 А.М. Федоров, А.И. Сняков. Влияние формы электрических сигналов на погрешность измерения напряжения // Квалификация и качество — 2003, № 4.
- 2 Эталон единицы коэффициента гармоник. Руководство по эксплуатации РПИС.411734. 005-01 РЭ.
- 3 ГОСТ 8.110-97. Государственная поверочная схема для средств измерений коэффициента гармоник.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Виталий Ярославович Головий

РУП «Брестский ЦСМС»,  
Брест, Республика Беларусь  
+375336404046, wetaluk@gmail.com

## **Аннотация**

*В статье рассмотрены современные методы прогнозирования развития техники и технологий. Выявлены положительные стороны использования методов прогнозирования, их недостатки, а также возможность применения описанных методов для метрологических служб и производственных технологических процессов.*

**Ключевые слова:** технологии, прогнозирование, анализ, инновации, развитие, техника, будущее, прогресс, наука, метрология

## **Annotation**

*The article discusses modern methods for forecasting the development of equipment and technologies. The positive aspects of using forecasting methods, their disadvantages, as well as the possibility of using the described methods for metrological services and production processes have been identified*

**Key words:** technology, forecasting, analysis, innovation, development, technology, future, progress, science, metrology

## **Введение**

Техника, а соответственно и технологии в жизни современного человека – неотъемлемая часть его жизни. Невозможно представить дальнейшее существование без технологий, упрощающих нашу жизнь. В свою очередь, вслед за развитием технологий, техника неумолимо меняется на наших глазах. Для того, чтобы развитие оставалось эффективным и приносило пользу, необходимо внедрение в производство прогнозирования технологий, что позволит определить правильный вектор дальнейшего развития. Определение и изучение методов, выявление ряда достоинств и недостатков методов прогнозирования – являются задачей современной промышленности.

Прогнозирование — это определение того, что произойдет в будущем, путем анализа уже полученного опыта [1]. Также прогнозирование можно назвать инструментом планирования, который помогает справиться с неопределенностью того, что может произойти. Прогнозирование основывается на прошлых и текущих данных и анализе тенденций [2].

Компании, экономисты и инвесторы часто используют прогнозирование, чтобы распределить свои ресурсы, подготовить отчеты, выстроить дальнейшую модель работы, спрогнозировать спрос на товары и услуги.

Чтобы справиться с растущим разнообразием и сложностью задач прогнозирования, в последние годы было разработано много методов. Каждый из них имеет свое специальное назначение, и необходимо соблюдать осторожность, чтобы выбрать правильную технику для конкретной нужды. Менеджер, как и прогнозист, играет определенную роль в выборе техники; и, чем лучше они понимают диапазон возможностей прогнозирования, тем выше вероятность того, что усилия по прогнозированию принесут свои плоды.

Выбор метода зависит от многих факторов – задачи прогноза, актуальности и доступности исторических данных, желаемой степени точности, прогнозируемого периода времени, затрат / выгоды прогноза для компании, и время, доступное для проведения анализа. Эти факторы должны взвешиваться постоянно и на разных уровнях. В первую очередь необходимо выбрать метод, который наилучшим образом использует те данные, которые имеются.

Прогнозирование применяется для подготовки стратегии исследований и разработок. Вследствие чего, производство определяет, на каких технологиях в заданный промежуток времени должно сосредоточиться, а от каких технологий можно отказаться. При этом, рабочие характеристики любой машины, продукта или операционной системы обычно улучшаются с небольшими непрерывными приращениями с течением времени. То, что в технологии может показаться прогрессом «пошаговой функции», обычно представляет собой как ряд небольших достижений, которые не стоит вводить по отдельности, пока они не внесут существенных изменений в общую технологию. Кроме того, технология обычно включает в себя множество конкурирующих устройств, каждое из которых имеет своеобразный баланс производительности и экономических характеристик.

Прогнозирование технологий для метрологии – очень важная задача. Стоимость современных высокоточных эталонов настолько велика, что зачастую лаборатории выбирают между целыми направлениями своей деятельности, что инвестировать в модернизацию эталонной базы. Неверное прогнозирование спроса или тенденций рынка моментально отразится на экономических показателях предприятия. А несвоевременность обновления оборудования может нанести ущерб охвату заказчиков.

### **Современные методы прогнозирования технологии**

Наиболее эффективные методологии прогнозирования технологии основаны на тщательном анализе опыта в сочетании с пониманием компетентных людей. Каждый метод требует наблюдений и измерений основных данных, тенденций и взаимодействий. И каждый из методов подвержен собственным ошибкам в данных и естественным ограничениям своих человеческих интерпретаторов. В этом смысле технологические прогнозы не лучше и не хуже, чем их экономические, рыночные или финансовые аналоги.

Оценка спроса – один из простейших методов, основанный на прогнозировании спроса на категорию средств измерений, которые будут востребованы в ближайшее время. Так, например, после выхода изменений в законодательство, можно спрогнозировать повышенный спрос на определенный тип СИ и уже исходя от полученных данных развивать возможности лаборатории под конкретную категорию приборов.

Демографический и социологический анализ помогает сделать вывод на основе данных о демографической ситуации и существующих проблемах социума в конкретно выбранном регионе. В данном случае, при обнаружении существенной потребности в развитии целого направления может открыться для компании большой рынок вследствие уникальности предложения.

Компании разрабатывают множество других методов для анализа возможностей развития. Одним из наиболее интересных методов является моделирование пределов развития технологии. Например, рассматривается процесс проведения метрологической оценки уже имеющимся оборудованием, но с применением устройства или явления, доведённого до его теоретических пределов, а затем изучаются последствия и полученный экономический эффект. Таким образом, если полученный эффект покрывает расходы и затраты на реализацию этой технологии, то её развитие считается целесообразным.

Прогнозирование технологических точек переключения помогает определить критические характеристики производительности, которые позволят одной технологии заменить другую в данном направлении [3]. При использовании точек для установки целевых показателей для прогнозирования необходимо внимательно следить за динамикой требований. Не менее важным в применении этого подхода является выбор правильных факторов производительности для анализа. Истории технологий наполнены такими ошибками:

Успешный производитель поршневых двигателей для самолетов проигнорировал турбореактивные технологии, потому что считал их не такими эффективными. И вскоре, после выхода первых самолётов с турбореактивной тягой, авиакомпании начали спешно переходить на самолёты с таким видом двигателя, потому как они были экономичнее, а значит, можно было стать лучше и дешевле конкурентов, а как следствие – больше заработать.

Метод диффузионных исследований основывается на отслеживании потенциала технологий. Например, из-за большой сложности изготовления и высокой стоимости редкоземельных элементов, используемых при производстве прецизионных эталонов, экономический эффект от приобретения нового оборудования будет сложно достигим. В таком случае можно спрогнозировать высокий спрос на это оборудование вследствие развития технологий, позволяющих снизить затраты при производстве оборудования.

Системный анализ предлагает несколько очень полезных подходов для анализа будущего технологий. Этот подход может помочь выявлять слабые стороны существующих операционных систем. Этот подход основывается на определении потенциальных проблем в существующем процессе на основе уже полученного опыта. Например, заранее определить слабое место в техническом процессе, выделив слабое звено. Как результат, потребуется либо существенное изменение процесса, которое поможет избежать возможной поломки, либо замены имеющегося оборудования, чтобы получить наиболее эффективную цепочку процесса.

#### **Недостатки методологий прогнозирования**

Часто небольшой технологический прорыв может спровоцировать бурный рост открытий в этой отрасли, из-за чего могут быть неправильно спрогнозированы сроки для демографического и социологического анализа, а также потребность, которая может резко превысить уровень предложения в этой области [4]. Для достижения наилучшего результата в прогнозировании и исключения данного недостатка, стоит моделировать дополнительно анализ на простой системе, где результат будет однозначным.

Развитие техники и технологий порождает повышенный спрос на современные компоненты, а производители последних зачастую не могут обеспечить спрос в требуемом количестве [5]. Такой дефицит обуславливает завышенную стоимость оборудования, в которых используется это оборудование. Так, например, развитие микропроцессоров и повсеместное их использование повлияло на складские запасы процессоров. Это обернулось отсутствием поставок для производителей техники, что, в свою очередь, привело к повышенной стоимости продукции. Такие глобальные проблемы сложно спрогнозировать, и они носят единичный характер.

#### **Целесообразность прогнозирования технологий в метрологии**

Наибольший эффект от прогнозирования технологий может быть получен только в случае комбинирования описанных выше методов. Таким образом, чем больше полученных исходных данных будет принято во внимание, тем точнее можно будет спрогнозировать экономический эффект от вложенных трудозатрат и средств в модернизацию выбранного направления, будут определены слабые места существующих технологических процессов и выявлены методы их улучшения.

Метрологические службы наиболее зависимы от развития технологий, так как вся их работа зависит не только от требований заказчиков в обеспечении необходимой точности проводимых измерений, но и от метрологических возможностей, которые могут предоставить эти метрологические службы. Паритет в данном случае – это наивысшая оценка работы по прогнозированию спроса и оценке требуемых критериев для предприятия. Изучив возможности современной методологии прогнозирования, становится понятно, что технические и метрологические возможности средств измерений напрямую связаны с технологическим потенциалом производителей. Оценив возможный спрос на услугу, можно сделать вывод, стоит ли развивать направление и следовать самым новым технологическим тенденциям или подождать удешевления модернизации процесса и роста спроса на данный вид оказываемой услуги.

#### **Литература**

1. Технологическое прогнозирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economics.studio/biznes-planirovanie/tehnologicheskoe-prognozirovanie-77682.html>. – Дата доступа: 16.03.2020.
2. What is forecasting? Definition and meaning - Market Business News [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marketbusinessnews.com/financial-glossary/forecasting-definition-meaning/>. – Дата доступа: 03.03.2020.
3. Федоров В.К. Методы технологического прогнозирования в инновационных производственных процессах / В.К. Федоров, А.В. Луценко, Д.А. Рыжов, С.В. Сергеев.
4. Евсеенко А.В. Препятствия и риски в осуществлении инноваций в современной экономике крупного региона. Науковедение. /А.В. Евсеенко, Г.А. – 2003. – 61-78 с.
5. Соловьева Ю.В. Технологическое прогнозирование: проблемы и методы. – Российский университет дружбы народов. –М.:РУДН,2016. – 9 с.
6. Современные подходы к прогнозированию техники и технологии. Электронная презентация. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://prezi.com/trm6bg5\\_drqi/presentation/](https://prezi.com/trm6bg5_drqi/presentation/) . – Дата доступа: 25.03.2020.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРОВОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА

Александр Андреевич Голополосов

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений»  
(ФГБУ «ВНИИОФИ»),  
Москва, Российская Федерация  
+7(915)452-21-67, golopolosov@vniiofi.ru

## **Аннотация**

*В рамках работ по совершенствованию Государственного первичного эталона единицы угла вращения плоскости поляризации (ГЭТ 50-2008) проводилось исследование возможных источников погрешности измерений в системе цифрового дифференциального поляриметра. В настоящей работе рассмотрены возможные причины возникновения погрешностей измерений и сделаны предположения о механизме их влияния. Предложены экспериментальные способы оценки влияющих факторов. В результате работы представлены экспериментальные данные и соответствующие из них выводы.*

## **Annotation**

*As part of the work to improve the State primary standard of the unit of rotation angle of the plane of polarization (GET 50-2008), a study was carried out of possible sources of measurement error in the digital differential polarimeter system. In this paper, possible causes of measurement errors are considered and assumptions are made about the mechanism of their influence. Experimental methods for assessing influencing factors are proposed. As a result of the work, experimental data and the corresponding conclusions are presented*

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

Поляриметрические измерения используются во многих областях науки и техники. В оптических приборах различного назначения часто применяют поляризационные материалы, для контроля качества которых требуются высокоточные измерения [1]. Вопрос оценки точности так же исследуется и при спектральных поляриметрических измерениях [2].

## **Цель работы**

Повышение точности измерений единицы угла вращения плоскости поляризации в системе цифрового дифференциального поляриметра.

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

Полученные результаты позволят выработать требования и рекомендации для проведения работ по совершенствованию эталонной базы для поляриметрических измерений.

## **Задачи работы:**

1. Определение факторов, влияющих на результат измерений.
2. Экспериментальная оценка влияющих факторов.
3. Формирование предложений по способу повышения точности измерений.

## **Суть работы**

Данная работа выполнена в рамках совершенствования Государственного первичного эталона единицы угла вращения плоскости поляризации (ГЭТ 50-2008).

Суть поляриметрических измерений заключается в измерении угла вращения плоскости поляризации (УВП) света, прошедшего через оптически активную среду [3]. Большинство современных устройств для измерения УВП используют методы, основанные на модуляции поляризованного излучения, прошедшего через объект измерения. Среди этих методов можно выделить метод дифференциальной фазовой поляриметрии [4] как обладающий наименьшей чувствительностью к шумам [5]. Суть метода заключается в получении гармонических сигналов от двух поляризованных лучей света, которые пропускают через один вращающийся анализатор. При этом один из лучей проходит через объект измерения. Вращающийся с постоянной скоростью анализатор модулирует проходящий поток излучения и формирует на фотоприемниках гармонические сигналы, описываемые законом Малюса [6]. Значение УВП оказывается пропорционально сдвигу фаз между опорным и объектным сигналами. В данной работе использовалась схема цифрового дифференциального поляриметра (рис. 1), аналогичная той, что используется в ГЭТ 50-2008.

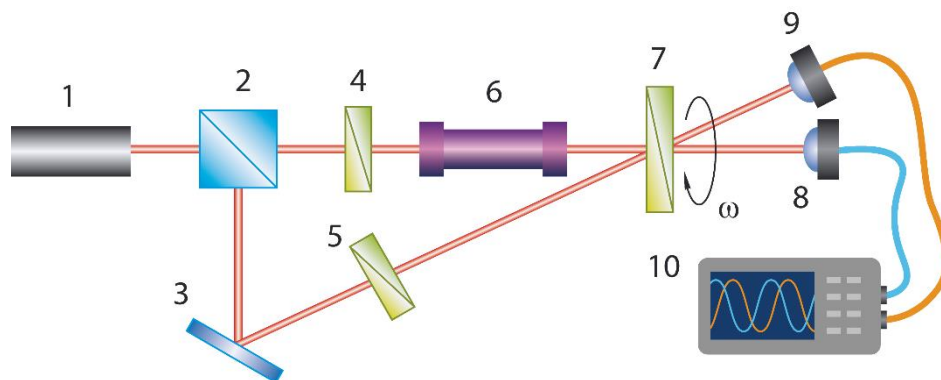


Рис 1. Схема цифрового дифференциального поляриметра: 1 – источник излучения; 2 – светоделитель; 3 – неподвижное зеркало; 4, 5 – поляризаторы; 6 – исследуемая поляриметрическая пластина в оправе; 7 – вращающийся анализатор; 8, 9 – фотоприемники; 10 – фазометр

Для передачи единицы (УВПИ) средствам измерений используются поляриметрические пластины, которые представляют собой тонкие плоскопараллельные пластины из кристаллического кварца, установленные в металлическую оправу [7]. Оправа выполнена в форме, имитирующей кювету, которая используется при поляриметрических измерениях. Согласно методике поверки поляриметров [8] измерения поляриметрических пластин проводятся в нескольких положениях при прокручивании пластины вокруг оптической оси измерительного устройства. Было определено, что такая операция может приводить к существенному разбросу результатов измерения.

Это может быть связано либо с неоднородностью самой поляриметрической пластины, либо с её отклонением от перпендикулярности относительно оси оправы. Неоднородность поляриметрической пластины может приводить к тому, что в разных точках пластины значение УВПИ может немного отличаться. В этом случае было предложено использовать широкий световой пучок, который будет захватывать большую площадь пластины и, там самым, усреднять значение УВПИ в разных точках пластины. Отклонение от перпендикулярности может вызывать изменение УВПИ при падении излучения на пластину под разными углами. При этом следует учитывать, что данные факторы не взаимоисключающие, то есть, при отклонении от перпендикулярности, неоднородность пластины, при её наличии, может сказываться как сильнее, так и слабее.

Большинство коммерческих поляриметров используют некогерентные источники излучения, а в ГЭТ 50-2008 используется гелий-неоновый лазер. Основным достоинством лазерного источника для поляриметрических измерений является хорошая монохроматичность и стабильность длины волны во времени. Однако, использование лазера может приводить к паразитной интерференции от граней поляриметрической пластины, что будет искажать сигнал и вносить дополнительные ошибки измерений.

Таким образом эксперименты было решено проводить для двух источников излучения: гелий-неонового лазера и узкополосного светодиода. При этом для лазерного источника измерения проводилась как в узком пучке, то есть идущим напрямую из лазера, так и в расширенном пучке. Для светодиода использовался только широкий пучок. В ходе экспериментов в одной серии измерений поляриметрическую пластину наклоняли, а в другой прокручивали. Изменение положения пластины проводилось с постоянным угловым шагом. В обоих случаях в каждом положении пластины проводились измерения. Все измерения проводились на одной и той же пластине. В качестве критерия оценки влияния условий эксперимента рассматривалось среднее квадратическое отклонение (СКО) серии измерений.

### Полученные результаты

Результаты экспериментов представлены на рисунках и в таблице 1.

Таблица 1

Вид серии измерений	СКО, °		
	Лазер с узким пучком	Лазер с широким пучком	Светодиод
Наклон пластинки	0.0115	-	0.0050
Прокручивание пластинки	0.0078	0,0061	0.0005

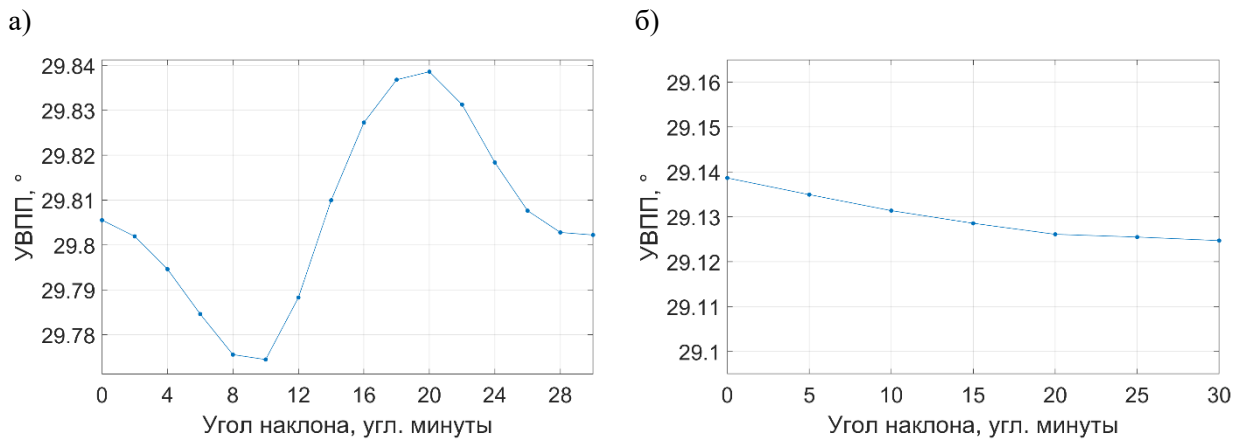


Рис.2 Результаты измерений при наклоне пластины: а) лазер с узким пучком; б) светодиод

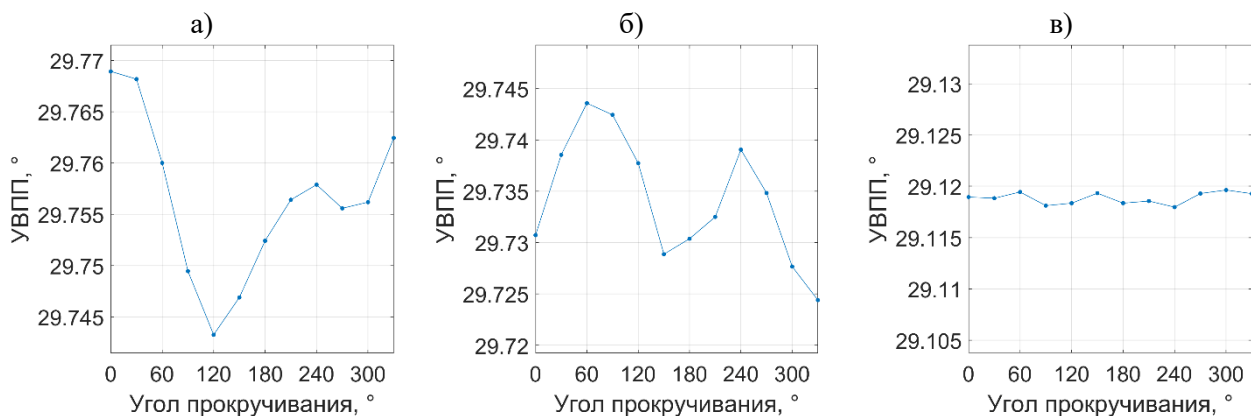


Рис.3 Результаты измерений при прокручивании пластины: а) лазер с узким пучком; б) лазер с широким пучком; в) светодиод

По результатам можно сделать вывод, что в системе цифрового дифференциального поляриметра использование некогерентного источника может позволить уменьшить чувствительность к качеству мер в виде кварцевых пластин и приблизить условия измерений к рабочим средствам измерения. При этом когерентный источник можно рассматривать для первичного контроля качества пластин.

#### Литература

1. Хасанов Т. Измерение оптических постоянных подложек на основе отражения // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2011. Т. 8, № 3. С. 62–71.
2. Gennady Vishnyakov, Alexander Yurin, Alexander Golopolosov, Vladimir Minaev, A differential phase spectropolarimeter for measuring optical rotatory dispersion, *Optics & Laser Technology*, Volume 169, 2024, 109976.
3. Волкова Е. А. Поляризационные измерения. М.: Изд-во стандартов, 1974. 156 с.
4. Вишняков Г. Н., Левин Г. Г., Ломакин А. Г. Измерение угла вращения плоскости поляризации методом дифференциальной поляриметрии с вращающимся анализатором // *Оптический журнал*. 2011. Т. 78, № 2. С. 53–60.
5. Вишняков Г. Н., Юрин А. И., Минаев В. Л., Голополосов А. А. Анализ погрешности алгоритма обработки сигналов дифференциального фазового поляриметра // *Известия вузов. ПНД*. 2023. Т. 31, № 4. С. 408–420.
6. Javorskij B. M., Detlaf A. A. *Spravochnik po fizike*. 4-e izd. M.: Nauka, 1968. 940 s.
7. ГОСТ 22409-77 «Пластинки поляриметрические. Технические требования».
8. ГОСТ 8.258-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Поляриметры и сахариметры. Методика поверки».

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСС И ЕДИНИЦЫ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

Ольга Владимировна Довыденко

ФАУ «ЦАГИ»  
Жуковский, Российская Федерация  
+7 498 4832554, metrology@tsagi.ru

## **Аннотация**

*Предложена система метрологического обеспечения стендов для измерений массы, координат центра масс и моментов инерции, позволяющая проводить их испытания в целях утверждения типа и поверку с помощью наборов эталонных мер. Каждая эталонная мера воспроизводит одновременно единицу массы, единицу длины в области измерений координат центра масс и единицу момента инерции. Разработана методика измерений характеристик эталонных мер и их комплектов и математическая модель измерений, основанные на аналитических принципах определения координат центра масс и моментов инерции однородных тел вращения правильной геометрической формы. Установлены технические требования к эталонным мерам, позволяющие минимизировать их погрешности. Разработана схема передачи единиц величин от государственных первичных эталонов массы и длины к стендам с помощью эталонов, методика поверки эталонов и методика поверки стендов. Создана линейка эталонов, прошедших утверждение в Росстандарте, с их помощью утверждены типы трех стендов.*

**Ключевые слова:** *координата центра масс, момент инерции, масса, эталон, поверка, погрешность, неопределенность измерений*

## **Annotation**

*A system of metrological support of stands for measuring mass, coordinates of mass center and moments of inertia is proposed that allows its testing for type approval and verification with the reference measures. Each reference measure reproduces of both mass, coordinates of the center of mass, and moments of inertia. The method of measuring characteristics of reference measures and their sets and mathematical model of measurements based on analytical principles of determining the coordinates of the center of mass and moments of inertia of homogeneous bodies of rotation of correct geometric shape are developed. Technical requirements to the reference measures allowing to minimize their errors are established. The scheme of transferring units from the state primary standards of mass and length to the stands with the help of standards, the method of verification of standards and the method of verification of stands are developed. A line of measurement standards was created and approved by Rosstandart, the types of three stands were approved with their help*

**Key words:** *coordinate of the center of mass, moment of inertia, mass, measurement standard, verification, error, measurement uncertainty*

## **Введение**

### **Актуальность работы**

Задачи управления траекторией движения летательных аппаратов (спутников, ракет), обеспечения их управляемости и устойчивости, стабилизации параметров движения построены на решении уравнений динамики полета [1]. Решение этих уравнений невозможно без знания характеристик геометрии масс летательных аппаратов: массы, координат центра масс (далее – ЦМ) и моментов инерции (далее – МИ). Для определения этих характеристик экспериментальными методами, которые дают более точные результаты в сравнении с расчётными, создаются специализированные измерительные устройства (далее – стенды) [2-4]. Весь класс таких устройств объединяет общая проблема, связанная с отсутствием эталонов единицы длины в области измерений координат центра масс и единицы момента инерции. Данное обстоятельство исключает возможность поверки стендов, приводит к ряду трудностей в обеспечении прослеживаемости измерений и выполнении законодательных и нормативных требований к ним. Отсутствие эталонов и научно-методических основ обеспечения прослеживаемости измерений характеристик геометрии масс послужили предпосылкой к выбору цели и задач исследования.

Данная работа посвящена разработке и исследованию эталонов единиц массы, длины в области измерений координат ЦМ и МИ (далее – эталоны), а также разработке достоверного и эффективного принципа обеспечения прослеживаемости измерений характеристик геометрии масс к государственным первичным эталонам.

### **Цель и задачи**

Целью работы является разработка научно обоснованных методов и средств обеспечения прослеживаемости измерений характеристик геометрии масс к государственным первичным эталонам.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи: разработка научно обоснованной концепции и конструкции эталонов, разработка и исследование их математических моделей; выявление взаимосвязей между конструктивными, эксплуатационными и физическими особенностями эталонов и их инструментальной погрешностью; разработка методики косвенных измерений характеристик геометрии масс эталонов; апробация эталонов и методов определения их метрологических характеристик, включая разработку локальной поверочной схемы, методики их поверки и методики поверки стендов.

### **Научная новизна и практическая значимость**

Разработан и научно обоснован новый принцип обеспечения прослеживаемости измерений характеристик геометрии масс, основанный на поверке стендов универсальными эталонами модульной конструкции [5]; разработана многофакторная математическая модель эталонов, унифицированная для построения алгоритма программной обработки данных при их поверке; впервые установлены взаимосвязи между конструктивными и эксплуатационными требованиями к эталонам и их инструментальными погрешностями; предложена методика определения характеристик геометрии масс эталонов косвенными измерениями.

Внедрение данного подхода на практике позволяет повысить достоверность подтверждения метрологической исправности стендов, осуществлять подтверждение их метрологических характеристик во всем диапазоне измерений, снизить финансовые и временные затраты на их метрологическое обслуживание, сформулировать для проектируемых эталонов рекомендации по выбору допусков формы и расположения, взаимно увязанных с допусками на размеры и категорией точности эталонов.

### **Концепция эталонов**

#### **Конструкция**

Эталон (рисунок 1) представляют собой набор многозначных мер и предназначены для воспроизведения одновременно трех единиц величин – единицы массы, единицы длины в области измерений координат ЦМ и единицы МИ относительно трех координатных осей. Все эталонные меры, включая крепежные элементы, имеют форму, образованную простыми телами вращения (цилиндрами). При поверке стенда несколько эталонных мер закрепляют на его измерительной платформе, образуя при этом конфигурации, воспроизводящие величины в контрольных точках диапазона измерений стенда. Предложенная конструкция защищена патентом РФ.



Рис. 1 – Эталон НКМ-50, ЦАГИ

### **Математическая модель**

Математическая модель эталонов разработана на базе уравнений для нахождения центра тяжести объема однородного твердого тела, а также аналитических формул для вычисления МИ цилиндра и теоремы Гюйгенса-Штейнера о параллельных осях с применением метода разбиения на конечные части и метода отрицательных масс. Введение коэффициентов типа и расположения элементов, представление расстояний, определяющих положение элементов, в виде функциональной зависимости от других размеров позволило унифицировать модель для построения алгоритма программной обработки данных при поверке эталонов. Предложена концепция универсального программного обеспечения для расчета

метрологических характеристик эталона «MS\_NKM», которая позволяет уменьшить трудоемкость процесса вычислений и субъективные ошибки от влияния оператора при вычислениях. Модель учитывает влияние неоднородности материала, погрешностей изготовления и температурного линейного расширения:

$$x_{20} = \left\{ \left[ \left( \sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j k_{xj} (Hx_j + h_j / 2) \right) / \left( \sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j \right) \right] + q_n \right\} \cdot q_{t20}$$

$$Ix = 10^{-15} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot \sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j \left( \frac{d_j^2}{8} + Hy_j^2 + Hz_j^2 \right)$$

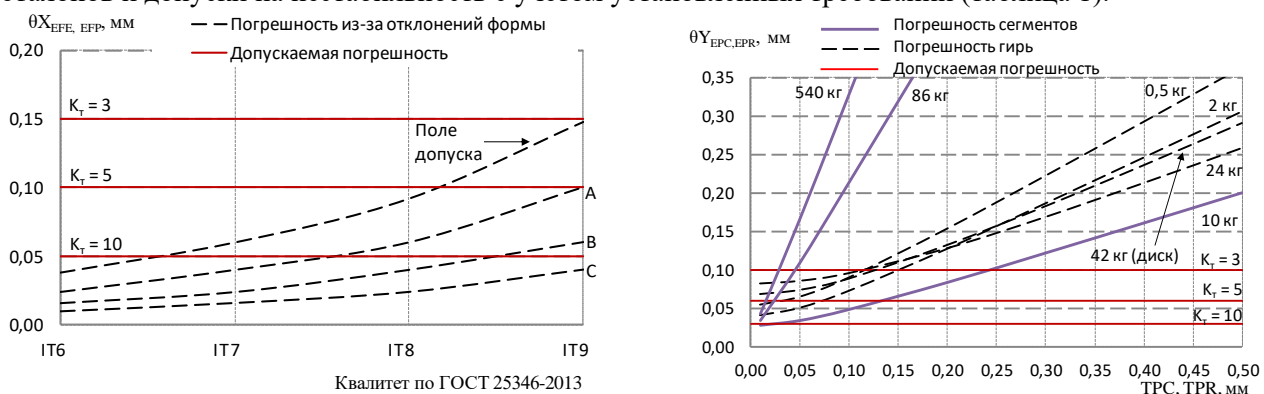
$$Iy = 10^{-15} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot \sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j \left( \frac{d_j^2}{16} + \frac{h_j^2}{12} + \left( k_{xj} (Hx_j + h_j / 2) - x \right)^2 + Hz_j^2 \right)$$

$$Iz = 10^{-15} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot \sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j \left( \frac{d_j^2}{16} + \frac{h_j^2}{12} + \left( k_{xj} (Hx_j + h_j / 2) - x \right)^2 + Hy_j^2 \right)$$

где  $x_{20}$  – вертикальная координата ЦМ эталонной меры в собственной системе координат при 20 °С (горизонтальные координаты ЦМ  $y, z$  эталонной меры в собственной системе координат равны нулю);  $k_j$  – коэффициент типа  $j$ -того элементарного цилиндра ( $k_j = 1$  для валов;  $k_j = -1$  для отверстий);  $d_j, h_j$  – диаметр и высота каждого  $j$ -той элементарного цилиндра, на которые условно разбита эталонная мера (осредненные по нескольким сечениям);  $k_{xj}$  – коэффициент расположения  $j$ -того элементарного цилиндра по оси  $X$ ;  $Hx_j, Hy_j$  и  $Hx_j$  – расстояния, определяющие положение элементов;  $r$  – количество элементарных цилиндров, на которые условно разбита эталонная мера;  $q_n$  – поправка на неоднородность материала;  $q_{t20}$  – температурная поправка;  $\rho$  – плотность эталонной меры;  $Ix, Iy, Iz$  – центральные МИ эталонной меры.

### Инструментальная погрешность эталонов

Выявлены и проанализированы источники погрешностей и законы их накопления в комплектах эталонных мер. Установлены взаимосвязи между требованиями к эталонам и их инструментальными погрешностями (пример для погрешностей эталона  $\theta X_{EFE,EFP}$  и  $\theta Y_{EPC,EPR}$ , обусловленных отклонениями плоскостности EFE, профиля продольного сечения EFP, соосности EPC и перпендикулярности EPR в зависимости от качества по ГОСТ 25346-2013 и допусков на отклонения от соосности TPC и от перпендикулярности TPR приведен на рисунке 2). Сформулированы рекомендации по выбору допусков на размеры и требования к качеству поверхности. Получены оценки инструментальной погрешности эталонов и допуски на нестабильность с учетом установленных требований (таблица 1).



A, B, C – уровни относительной геометрической точности по ГОСТ 24643-81;

$K_T = \Delta_{\text{доп}}/\theta$  – коэффициент запаса точности;  $\Delta_{\text{доп}}$  – пределы допускаемой погрешности эталона;  $\theta$  – оцениваемая составляющая погрешности эталона

Рис. 2 – Погрешности эталона  $\theta X_{EFE,EFP}$  и  $\theta Y_{EPC,EPR}$

Таблица 1 – Погрешность эталонов

Воспроизводимая величина	X, мм,	Y, Z, мм	Ix, Iy, Iz, %
Пределы допускаемой погрешности стенда	±1,5	±1,0	±1,0
Пределы допускаемой погрешности эталона, в т.ч.:	±0,5	±0,33	±0,33
- инструментальная погрешность	±0,12	±0,09	±0,05
- нестабильность	±0,25	±0,15	±0,15

#### Методика измерений характеристик эталонов и поверочная схема

Методика измерений координат ЦМ и МИ эталонов основана на аналитических принципах определения этих величин для однородных тел вращения правильной геометрической формы [6]. Получены зависимости неопределенности измерений от погрешности применяемых средств измерений и сформулированы рекомендации по их выбору. Рассмотрены и оценены источники неопределенности, обусловленной введением поправок, наличием фасок, округлениями при вычислениях, выталкивающей силой воздуха, дана оценка расширенной неопределенности измерений (таблица 2).

Таблица 2 – Расширенная неопределенность измерений

Измеряемая величина	X, мм	Y, Z, мм	Ix, Iy, Iz, %
Расширенная неопределенность измерений	0,095	0,03	0,11

Разработана и согласована с ВНИИМС локальная поверочная схема передачи единиц величин к предложенным рабочим эталонам от государственных первичных эталонов единицы массы ГЭТ 3-2020 и единицы длины ГЭТ 2-2021 методом косвенных измерений. Характеристики эталонов позволяют обеспечить соотношение показателей точности средств поверки и поверяемых стенов «1:3».

#### Результаты

В рамках работы созданы эталоны (таблица 3), методики их поверки МП 4.28.013-2020, МП 4.28.026-2022, методики поверки стенов МП 4.28.001-2015, МП 4.28.027-2022. Разработаны технические требования к эталонам. Результаты применены при утверждении типа стенов для ФГУП «ВНИИА» и АО «НПО Лавочкина» (регистрационные номера 62420-15, 72575-18, 87444-22).

Таблица 3 – Утвержденные эталоны

Эталон, регистрационный номер	Масса	Координата ЦМ	МИ
Эталон стенда МЦИ-1200М1, 3.1.АЗО.0252.2015 (ВНИИА)	24...1193 кг	37...1232 мм	0,1...552,8 кг·м <sup>2</sup>
НКМ-50, 81928-21 (ЦАГИ)	1...57 кг	13...555 мм	0,15...7,4 кг·м <sup>2</sup>
НКМ-500, 86973-22 (АО «НПО Лавочкина»)	10...547 кг	10...1767 мм	-
Пределы допускаемой погрешности	$\delta = 0,0025...0,5 \%$	$\Delta = 0,2...1,0 \text{ мм}$	$\delta = 0,3...0,5 \%$

#### Заключение

Результаты исследования позволили повысить достоверность контроля метрологических характеристик стенов, обеспечив полный охват диапазона измерений (5-6 точек вместо 1-2); существенно (в 5-10 раз) снизить затраты на их метрологическое обслуживание; уменьшить инструментальную погрешность эталонов в 3-4 раза, а также разработать технические требования к эталонам, позволяющие достигнуть погрешности 0,50 мм для вертикальных координат центра масс, 0,33 мм для горизонтальных координат центра масс и 0,33 % для моментов инерции.

#### Литература

- [1] Гутник С.А. Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами ориентации: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.02.01/Гутник Сергей Александрович. М., 2019. 48 с.
- [2] Boyton R. Measuring weight and all three axes of center of gravity of rocket motor without having to re-position the motor // Proceeding of the 61th Annual Conference of the Society of Allied Weight Engineers, Virginia Beach, Virginia, USA, May 20–21, 2002, 22 p.
- [3] Geng J., Langelaan J. W. Estimation of Inertial Properties for a Multilift Slung Load [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.2514/1.G005365> (дата обращения: 27.01.2022).
- [4] Gobbi M., Mastinu G., Preati G. A method for measuring the inertia properties of rigid bodies // Mechanical Systems and Signal Processing Volume 25, Issue 1, January 2011, Pages 305-318 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.09.004>. (дата обращения: 27.01.2022).
- [5] Довыденко О.В., Самойленко А.И., Петроневич В.В. Система метрологического обеспечения прослеживаемости измерений характеристик геометрии масс // Измерительная техника. 2020. № 12. С. 28-34. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-12-28-34>.
- [6] Довыденко О.В. Метод измерений массы, координат центра масс и моментов инерции специальных эталонов модульной конструкции при их поверке // Приборы. 2021. № 11. С. 40-48.



# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ И ВОЛНОВОГО ЧИСЛА В СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Александр Юрьевич Дунаев

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений»  
(ФГБУ «ВНИИОФИ»),  
Москва, Российская Федерация  
+7 495 437 37 00, dunaev@vniiofi.ru

## **Аннотация**

*Приведены существующие методы метрологической аттестации шкалы длин волн спектрофотометрической аппаратуры оптического диапазона. Приведены недостатки утвержденной Государственной поверочной схемы единицы длины в части методов передачи единицы волны к светофильтрам.*

*Разработана и утверждена локальная поверочная схема ВНИИОФИ для средств измерений длины волны в диапазоне от 0,2 до 300,0 мкм и волнового числа в диапазоне от 50000 до 33,33 см<sup>-1</sup> – спектрофотометров и фурье-спектрометров.*

*Прецизионный Фурье-спектрометр, позволяющий проводить измерения спектров пропускания в диапазоне длин волн от 0,2 до 300,0 мкм, аттестован в ранге рабочего эталона 1 разряда с использованием эталонных источников излучения – спектральной лампы видимого диапазона и лазеров ближнего инфракрасного диапазона.*

*Меры длины волны и волнового числа в диапазоне от 0,25 до 20,0 мкм на основе светофильтров аттестованы в ранге рабочего эталона 2 разряда.*

*Предложены исправления в Государственную поверочную схему для средств измерений длины волны с целью обеспечения единства измерений в спектрофотометрии.*

**Ключевые слова:** *спектрофотометрия, длина волны, волновое число, эталон, фурье-спектрометр, светофильтр, поверочная схема, сличения*

## **Annotation**

*The existing methods of the wavelength scale metrological certification for optical range spectrophotometric equipment are presented. The shortcomings of the approved State verification scheme for units of length in terms of wavelength dissemination methods to optical filters are presented.*

*VNIIOFI local verification scheme of for wavelength measuring instruments in the range from 0.2 to 300.0 μm and wavenumber measuring instruments in the range from 50000 to 33.33 cm<sup>-1</sup> - spectrophotometers and Fourier spectrometers has been developed and approved.*

*The precision Fourier spectrometer that allows spectral transmittance measurements in the wavelength range from 0.2 to 300.0 μm is certified as a of the 1st class working standard using standard radiation sources - a visible spectral lamp and near-infrared lasers.*

*Wavelength and wavenumber measures in the wavelength range from 0.25 to 20.0 μm based on optical filters are certified as a 2nd class working standard.*

*Corrections to the State Verification Scheme for wavelength measuring instruments in order to assure measurements in spectrophotometry have been proposed.*

**Key words:** *Spectrophotometry, wavelength, wavenumber, FTIR-spectrometer, standard, optical filter, verification scheme*

## **Цель работы**

Практическая реализация методов передачи единицы длины волны к средствам спектрофотометрических измерений с прослеживаемостью к первичным эталонам единиц длины.

## **Задачи работы**

Разработка системы для высокоточных измерений мер длины волны и волнового числа, применяемых для метрологической аттестации спектрофотометрической аппаратуры.

### **Научная новизна и практическая значимость**

Реализован метод передачи единицы длины волны от эталонных спектральных источников излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазонов к светофильтрам широкого спектрального диапазонов с использованием фурье-спектрометра. Разработана и утверждена локальная поверочная схема ВНИИОФИ для средств измерений длины волны и волнового числа, в соответствии с которой утверждены типы ряда средств измерений – светофильтров.

Представленный метод передачи позволит достигнуть качественного результата при проведении международных дополнительных сличений длины волны спектрально-селективных пропускающих материалов СООМЕТ 878/RU/23.

### **Суть работы**

Для градуировки шкалы длин волн спектрофотометров наибольшее применение получили меры длины волны – стандартные образцы спектра поглощения и пропускания, основанные на принципе ослабления потока излучения на определенных длинах волн (ДВ). Эти меры включают различные газы, растворы и твердые материалы [1]. Спектральные свойства таких мер стабильны во времени, спектр поглощения практически не меняется в зависимости от температуры. В видимом, ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра широко используются спектрально-селективные фильтры на основе стекла марки ПС-7, кристаллов ТАС-1 и НГГ. Для проведения метрологической аттестации спектрофотометров среднего инфракрасного диапазона наиболее часто применяют меры на основе тонких пленок полистирола и индена [2]. Наиболее часто эти средства измерений (СИ) измеряют в волновых числах (ВЧ) – обратных сантиметрах. Эта единица величины допускается к применению в Российской Федерации (РФ) на основании ГОСТ 8.417-2002.

В соответствии с Государственной поверочной схемой (далее – ГПС) для средств измерений длины для поверки рабочих эталонов (РЭ) 2 разряда на основе мер ДВ – светофильтров методом сличения с помощью компаратора применяют РЭ 1 разряда на основе спектральных ламп в ДВ волн от 0,4 до 0,7 мкм. На практике такой метод передачи не был реализован. Существующий метод экстраполяции на основе дифракционного спектрометра сложен, неточен, требует наличия светосильной системы с малым спектральным разрешением и не позволяет проводить экстраполяцию в коротковолновую область спектра. В связи с этим является актуальной задача по разработке измерительной системы широкого спектрального диапазона для аттестации мер ДВ и ВЧ на основе светофильтров.

Для решения указанной задачи предложено применение фурье-спектрометра Bruker Vertex 80V, позволяющего производить измерения спектров пропускания в диапазоне от 0,2 до 300,0 мкм. Основным элементом фурье-спектрометра – интерферометр Майкельсона [3], в котором одно из зеркал движется с постоянной скоростью вдоль оптической оси прибора. Метод измерения ДВ с использованием интерферометра Майкельсона относится к методам, оценивающим фазу интерференционных полос. Идея метода основана на последовательном вводе в интерферометр лучей эталонного источника излучения и источника широкополосного измерительного излучения. Основным преимуществом такой системы является то, что она позволяет с высокой точностью измерять ДВ источников света средней или низкой когерентности [4].

Для установления порядка передачи единиц ДВ и ВЧ во ВНИИОФИ была разработана и утверждена локальная поверочная схема для СИ ДВ в диапазоне от 0,2 до 300,0 мкм и ВЧ в диапазоне от 50000 до 33,33 см<sup>-1</sup> (далее - ЛПС). Эталонными источниками излучения выбраны спектральная лампа ДРГС-12, аттестованная в ранге РЭ 1 разряда в соответствии с ГПС, и частотно-стабилизированные лазеры ближнего инфракрасного диапазона из состава ГЭТ 170 2024 [5]. По результатам измерений длин волн эталонных источников излучения производится расчет поправочного множителя к результату измерений ДВ [6]. Основываясь на свойство масштабирования преобразования Фурье, проводимого в спектрометре, можно утверждать, что действительное значение длины волны прямо пропорционально измеренному значению. Для расчета поправочного множителя применяется метод наименьших квадратов. Для проведения расчетов требуется измерение не менее двух длин волн. После проведения процедуры измерения длин волн эталонных источников излучения хранение и воспроизведение единиц ДВ и ВЧ обеспечивается с использованием внутреннего гелий-неонового лазера фурье-спектрометра. Для создания широкополосного измерительного излучения, необходимого для регистрации спектров пропускания светофильтров, и регистрации оптического излучения применяются технические средства и части фурье-спектрометра, указанные в таблице 1. Все используемые источники излучения устанавливаются на внешний порт излучения фурье-спектрометра с целью устранения погрешности несовмещения эталонного и измерительного лучей. Схема измерительной установки приведена на рисунке 1.

Таблица 1. Применяемые источники широкополосного излучения и приемники излучения в зависимости от диапазона измерений

Диапазон длин волн, мкм	0,2-0,4	0,4-1,0	1,0-2,5	2,5-20,0	20-125	125-300
Источник	Дейтериевая лампа	Галогеновая лампа		Высокотемпературная модель черного тела		Ртутная лампа
Приемник	Фотодиод (ФД) GaP	ФД Si	ФД InGaAs	Пирозлектрический	Болометр	

Измерительная установка на основе фурье-спектрометра утверждена в качестве Государственного рабочего эталона единиц ДВ в диапазоне от 0,20 до 300,00 мкм и ВЧ в диапазоне от 50000 до 33,33 см<sup>-1</sup> с регистрационным номером № 3.1.ZZA.0133.2023 на основании Приказа Росстандарт) №799 от 12.04.2023. Доверительные границы абсолютной погрешности измерений ДВ составляют от 2,5·10<sup>-6</sup> при 0,2 мкм до 3,5·10<sup>-3</sup> мкм при 300 мкм.

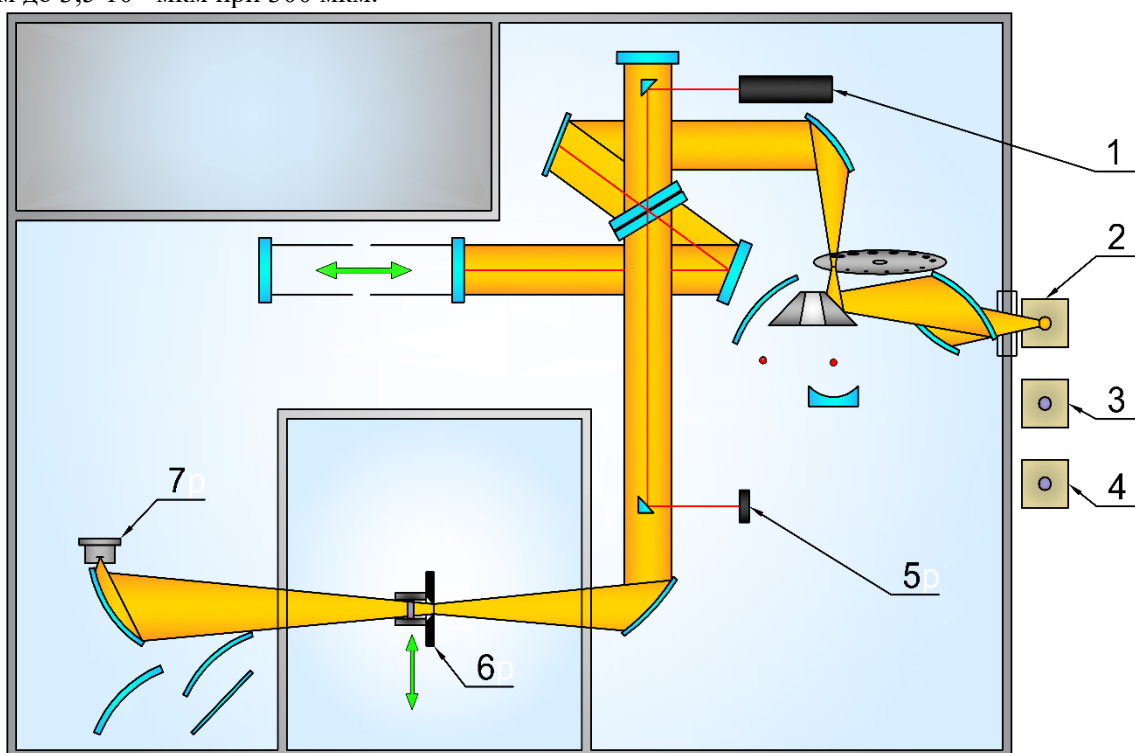


Рис. 1. Схема измерительной установки на основе фурье-спектрометра

1 – внутренний гелий-неоновый лазер, 2 – источник широкополосного излучения, 3 – лампа ДРГС-12, 4 – лазер ближнего инфракрасного диапазона из состава ГЭТ 170 2024, 5 – приемник излучения гелий-неонового лазера, 6 – исследуемая мера длины волны (светофильтр), 7 – приемник оптического излучения

При проведении измерения ДВ и ВЧ мер на основе светофильтров последовательно регистрируются спектральный поток источника широкополосного излучения с установленным светофильтром и без него. Отношением этих спектральных потоков будет являться спектральный коэффициент пропускания. Таким образом реализуется метод прямых измерений.

С использованием аттестованной установки были произведены измерения светофильтра НГГ в диапазоне от 0,25 до 2,50 мкм и пленки полистирола в диапазоне от 4000 до 500 см<sup>-1</sup>. По результатам проведенных измерений были выбраны длины волн поглощения, которые предпочтительны для градуировки шкалы длин волн спектрометров. Критическими условиями, которые должны быть соблюдены при выборе линий поглощения светофильтра, являются:

- малая полуширина линии;
- симметричность линии;
- воспроизводимость результатов измерений.

Таким образом, произведена аттестация РЭ 2 разряда, утвержденного Приказом Росстандарта №1924 от 15.09.2024 с регистрационным номером № 3.1.ZZA.01363.2023. Метрологические характеристики утвержденного эталона приведены в таблице 2.

Таблица 2. Метрологические характеристики эталона 3.1.ZZA.0136.2023

Светофильтр	НГГ			Полистирол
	0,25-0,90	0,9-2,0	2,0-2,5	
Диапазон ДВ, мкм	0,25-0,90	0,9-2,0	2,0-2,5	2,5-20,0
Предел допускаемой погрешности ДВ, мкм	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4} - 1,7 \cdot 10^{-2}$
Диапазон ВЧ, см <sup>-1</sup>	40000-11111	11111-5000	5000-4000	4000-500
Предел допускаемой погрешности ВЧ, см <sup>-1</sup>	6,4-0,5	0,5	0,50-0,32	0,5

### Полученные результаты

С применением разработанного и утвержденного РЭ 1 разряда единиц ДВ и ВЧ в настоящее время проводятся испытания с целью утверждения типа средств измерений – комплекта светофильтров КНС-10.М и обновленной Меры волновых чисел МВЧ-001.

В настоящее время ВНИИОФИ является пилотом международных дополнительных сличений КООМЕТ 878/RU/23 в области «Фотометрия и радиометрия» по длине волны спектрально-селективных пропускающих материалов в диапазоне от 0,25 до 2,5 мкм. Представленный метод передачи единицы длины волны позволит достигнуть качественного результата при проведении этих сличений.

Однако утвержденная ЛПС не устанавливает порядок передачи единиц ДВ и ВЧ за пределами ВНИИОФИ. Должен быть предложен проект части Государственной поверочной схемы для средств измерений длины волны и волнового числа, которая позволит передавать указанные единицы величин к средствам измерений в широком диапазоне длин волн с применением рабочих эталонов.

Пределы допускаемых погрешностей должны соответствовать реально устоявшейся практике – значения должны быть увеличены на 2-4 порядка. Подавляющее большинство утвержденных эталонов и средств измерений длины волны в спектродетекции нормируются не относительной, а абсолютной погрешностью. Малая разрядность утвержденной ГПС длины не позволяет разделять типы мер по точности и, таким образом, передавать единицу от высокоточных мер к мерам средней и низкой точности методом сличения с помощью компаратора, реализованном на дифракционном спектродетекторе.

### Литература

1. Скоков И.В. Оптические спектральные приборы: Учеб. пособие для вузов / И.В. Скоков. – Москва: Машиностроение, 1984. – 240 с.
2. ГОСТ 8.229-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Спектрофотометры инфракрасные. Методика поверки»/ Стандартиформ, 2013.
3. Инфракрасная фурье-спектрометрия: учебное пособие / А.И. Ефимова, В.Б. Зайцев, Н.Ю. Болдырев, П.К. Кашкаров. – Москва: Физический факультет МГУ, 2008. – 133 с.
4. Marek Dobosz. Overview of the laser-wavelength measurement methods / Marek Dobosz, Mariusz Kożuchowski // Optics and Lasers in Engineering. – 2017. – № 98. – pp. 107-117.
5. Эталонная база ВНИИОФИ в области волоконно-оптических систем передачи информации/ А.И. Глазов, В.В. Григорьев, В.С. Иванов, В.Е. Кравцов, А.К. Митюрёв// Фотон-экспресс – 2015 – №8 (128) – стр. 18-21.
6. Государственный рабочий эталон 1-го разряда единиц длины волны в диапазоне от 1,25 до 20,00 мкм и волнового числа в диапазоне от 500 до 8000 см<sup>-1</sup> / А.Ю. Дунаев, В.С. Бормашов, С.П. Морозова, В.Р. Гаврилов // Измерительная техника. – 2020 – № 10 – стр. 3-8.

# СТЕНД КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ (БАС)

Артем Вячеславович Журавлев

Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний  
им. А.М. Муратшина в Республике Башкортостан»  
Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация  
svusoka@yandex.ru

## **Аннотация**

*В данной статье рассмотрены вопросы и предложены концептуальные решения объективной оценки безопасности применения и комплексных методов оценки метрологических и технических характеристик БАС при проведении наземных и имитационных лётных испытаний.*

*Научные исследования в данном направлении подразумевают создание международного сообщества для совместных научно-исследовательских работ, сотрудничества и обмена опытом.*

*В статье рассматривается концепт стенда для контроля характеристик беспилотных авиационных систем. Стенд позволит создать условия испытаний беспилотных авиационных систем на влияния внешних факторов, таких как положительная и отрицательная температура окружающего воздуха, повышенная влажность воздуха, влияние скорости ветра с заданного направления, без влияния на окружающую среду за счет замкнутого контура и циркуляции воздуха внутри системы. Оценка поведения беспилотной авиационной системы в смоделированных ситуациях с применением имитатора Глобальной навигационной спутниковой системы совместно с другими системами из состава стенда. Проведение оценки возможности беспилотной авиационной системы удерживать заданную высоту и восстановить управляемость в результате отказа двигателя.*

*Реализация и внедрение перечисленных концептов позволит сделать шаг к безопасным полетам беспилотных авиационных систем.*

## **Annotation**

*This article discusses issues and proposes conceptual solutions for objective assessment of the safety of use and comprehensive methods for assessing the metrological and technical characteristics of UAS during ground and simulated flight tests.*

*Scientific research in this direction implies the creation of an international community for joint research, cooperation and exchange of experience.*

*The article discusses the concept of a stand for monitoring the characteristics of unmanned aircraft systems. The stand will create conditions for testing unmanned aircraft systems on the influence of external factors, such as positive and negative ambient temperatures, increased air humidity, the influence of wind speed from a given direction, without affecting the environment due to the closed loop and air circulation within the system. Assessment of the behavior of an unmanned aircraft system in simulated situations using a Global Navigation Satellite System simulator together with other systems from the stand. Assessing the ability of an unmanned aircraft system to maintain a given altitude and restore controllability as a result of engine failure.*

*The implementation and implementation of the listed concepts will make it possible to take a step towards safe flights of unmanned aircraft systems.*

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

С 1 января 2024 г. в Российской Федерации стартовал национальный проект «Беспилотные авиационные системы» (БАС). Проект определяет стратегию развития беспилотной авиации на период до 2030-2035 гг. В ближайшее время в стране появится перспективная самостоятельная отрасль экономики, связанная с созданием и использованием гражданских беспилотников. Национальный проект БАС станет основным управленческим механизмом реализации принятой стратегии. [1]

На сегодняшний день не решена задача по обеспечению безопасности использования беспилотных авиационных систем. БАС – средство повышенной опасности. Чтобы не подвергать жизни людей риску, необходимо непосредственное участие Росстандарта в проведении испытаний.

### **Цель работы**

Рассмотрение вопросов объективной оценки безопасности применения и комплексных методов оценки метрологических и технических характеристик БАС при проведении наземных и имитационных лётных испытаний.

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

Научные исследования в данном направлении подразумевают создание международного сообщества для совместных научно-исследовательских работ, сотрудничества и обмена опытом.

Внесение вклада в обеспечение безопасности полетов БАС при проведении испытаний и эксплуатации путем установления для БАС эксплуатационных ограничений по результатам испытаний. Предотвращение появления фальсификации и контрафакции в данной отрасли экономики.

Испытаниям по оценке маневренности современных летательных аппаратов (далее – ЛА) всегда предшествует сложная работа по математическому моделированию их полета на предельных режимах и определению условий потери устойчивости, которые могут привести к штопору, появлению сильных вибраций и разрушению ЛА, либо повреждению отдельных его конструктивных элементов. [2] Стенд контроля характеристик БАС (далее – Стенд) позволит: 1) Визуально моделировать ситуации и создавать условия приближенные к реальным для выявления скрытых отказов, подтверждения заявленных и определения фактических характеристик;

2) Предотвратить несчастные случаи и исключить затраты на восстановление испытуемого образца в результате отказа узлов или компонентов при летных испытаниях; 3) Выполнять экспериментальные работы, юстировку, калибровку узлов и компонентов БАС; 4) Проводить обучение управлению и предполетную подготовку.

### **Задачи работы**

1. Разработать концептуальную модель стационарного Стенда для проведения комплексных наземных и имитационных летных испытаний БАС, которые включают в себя контроль технических и метрологических характеристик, определение устойчивости БАС к внешним воздействиям.

2. Разработать концепцию программы и методики испытаний (далее – ПИ и МИ), которые будут определять цель, объем и порядок проведения, а также условия выполнения работ, связанных с всесторонней оценкой, испытываемой БАС и определением ее характеристик.

3. Осуществить опробование ПИ и МИ с применением испытываемого образца БАС и функционирующего макета Стенда.

### **Суть работы**

Предложено концептуальное решение по созданию стенда контроля характеристик беспилотных авиационных систем. Стенд позволит создать условия испытаний БАС на влияния внешних факторов, таких как положительная и отрицательная температура окружающего воздуха, повышенная влажность воздуха, обледенение, влияние скорости ветра с заданного направления, без влияния на окружающую среду за счет замкнутого контура и циркуляции воздуха внутри системы. Оценка поведения БАС в смоделированных ситуациях с применением имитатора Глобальной навигационной спутниковой системы (далее – ГНСС) совместно с другими системами из состава Стенда. Проведение оценки возможности БАС удерживать заданную высоту и восстановить управляемость в результате отказа двигателя.

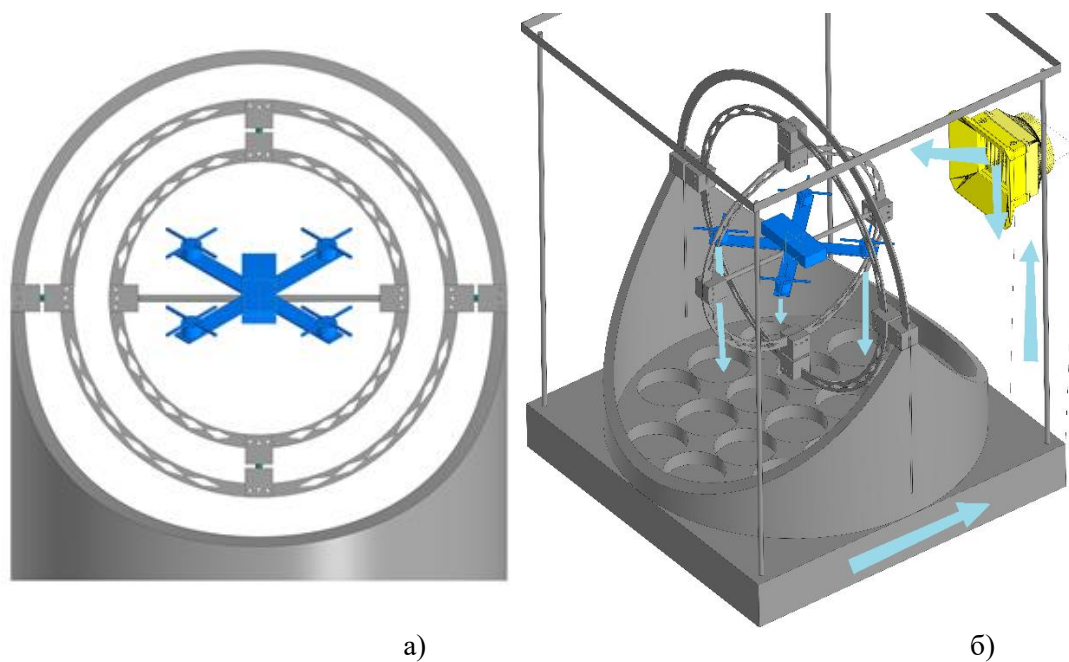


Рис. 1. а) Карданов подвес. б) Принцип работы вентиляционной системы Стенда

Стенд состоит из:

- Трех сбалансированных (астатических) степеней свободы (рамок карданова подвеса), где момент внешних сил практически отсутствует, за счет подшипников с незначительным трением, обеспечивающих свободное движение [3] испытываемого образца БАС по осям.

- Климатической камеры. Предназначена для моделирования воздействия условий окружающей среды на БАС.

- Вентиляционной системы. Применяется для отвода и ослабления воздушных потоков, выпускаемых системой Стенда и двигателями БАС.

- Аэродинамической трубы. Предназначена для имитации ветровой нагрузки и аэродинамического сопротивления.

- Имитатора ГНСС. Предназначен для имитации приёмника ГНСС, установленного на БАС и оценки возможностей БАС обрабатывать статические и динамические навигационные данные.

- Персонального компьютера (ПК) и программного обеспечения (ПО). Обеспечивает управление узлами стенда и выполняет обработку информации, поступающей от средств измерений и систем.

Испытательный Стенд оснащен:

- Тензометрическими датчиками. Выполняют функцию измерения значений приложенной нагрузки на ось подвеса. Рациональная схема размещения тензометрических датчиков, позволят определить значение максимальной полезной нагрузки (взлётной массы) БАС, а также нагрузку на конструкцию БАС при выполнении и оценке маневренности и торможений.

- Датчиками вибрации и микрофоном шумомера. Предназначены для измерения соответствующих значений параметров, исходящих от двигателей БАС в процессе работы.

- Тахометрами. Предназначены для измерения частоты вращения двигателей во время проведения испытания БАС.

- Акселерометрами. Выполняют передачу значений статического гравитационного ускорения по трём осям, которое позволит определить значения ускорения, угла наклона и направление БАС относительно гравитационного поля Земли. [4]

- Датчиками температуры и относительной влажности. Позволяют контролировать значения условий воздействия окружающей среды на испытываемый образец БАС.

- Анемометрами. Предназначены для контроля воздействий воздушных потоков на испытываемый образец БАС и вентиляционную систему.



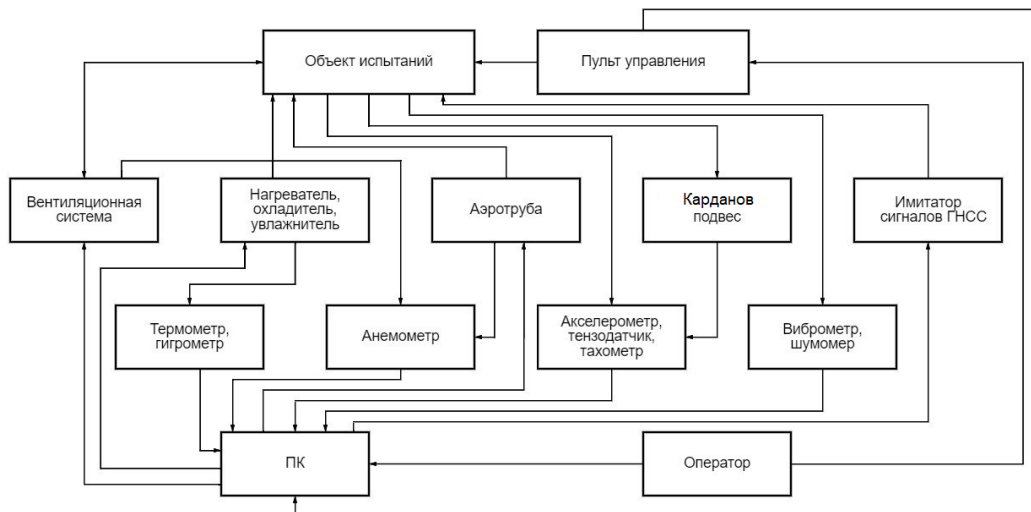


Рис. 2. Структурная схема Стенда

### Принцип работы:

Испытания должны проводиться при закрытой климатической камере. Установленная на Стенде БАС может свободно выполнять маневры такие как: крен, тангаж, рысканье и другие отклонения от горизонта относительно Земли за счет рамок карданова подвеса.

При воздействии на стики пульта управления БАС фиксируются следующие параметры: направление, расстояние и ускорение перемещения по осям X и Y. Заданные параметры с пульта управления сравниваются с фактическими параметрами движения БАС на стенде, полученные посредством датчиков (тензодатчиков, тахометров, акселерометров). Определяется согласованность, время отклика БАС на воздействия пульта управления, относительная погрешность.

Лобовое сопротивление воздуха и имитация ветровой нагрузки создается с применением аэродинамической трубы. Сила воздушного потока регулируется с применением анемометров и приводится в действие в момент отправки управляющего сигнала с пульта управления БАС.

Завихрения воздушного потока, создаваемые движителями БАС при изменении частоты вращения, сводятся к минимуму, за счет отводящих вентиляторов циркулирующей вентиляционной системы. Ослабленный воздушный поток, пройдя через ряд клапанов избыточного давления, возвращается в камеру. Так же с применением климатической камеры и за счет циркуляции воздушных потоков происходит конвекционное ускорение процесса набора требуемой для испытания температуры и влажности, что позволяет имитировать набор высоты и снижение БАС.

Испытуемая БАС получает в систему управления навигационную информацию в формате сообщения протокола NMEA [5], которые представляют собой сигналы от имитатора ГНСС с заданной точностью и частотой, содержащие данные о её имитируемом местоположении. Действия пульта управления сопровождаются изменением передаваемой в систему управления БАС информации в формате NMEA сообщений, принимаемой из трехмерной матрицы данных, представляющей собой виртуальный полигон. Каждая точка виртуального полигона имеет уникальные данные координат местоположения и высоты над уровнем моря. Каждая строка данных NMEA сообщения формируется в зависимости от принятой информации с датчиков стенда.



Рис. 3. Работа виртуального полигона на примере траектории движения БАС. Сформированная строка навигационных данных в формате NMEA сообщения



### **Полученные результаты**

1. Разработан концепт стационарного Стенда для проведения комплексных наземных и имитационных летных испытаний БАС, которые включают в себя определения технических и метрологических характеристик, устойчивости к внешним воздействиям.

2. Разработан концепт ПИ и МИ, которые позволяют определить цель, объем и порядок проведения испытаний, а также условия выполнения работ, связанных с всесторонней оценкой, испытываемой БАС и определением ее характеристик.

3. Проведены экспериментальные испытания по ПИ и МИ с применением испытываемого образца БАС и функционирующего макета Стенда.

Реализация и внедрение перечисленных концептов позволит сделать шаг к безопасным полетам БАС.

### **Литература**

1. Правительство России. Национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [Электронный ресурс]. [<http://government.ru/rugovclassifier/906/events/>] (дата обращения: 11.04.2024).

2. д. т. н., проф. Г. П. Шибанов. ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ, журнал «Проблемы безопасности полетов», 2008, с. 16 – 48.

3. Коновалов С.Ф., Никитин Е.А., Селиванова Л.М. — Учеб. Пособие. Под ред. Д.С. Пельпора. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Высш. школа, 1980, Ч. III, 128 с.

4. Журавлев А.В. «Система управления для стабилизации платформы с грузом» XI Всероссийская зимняя школа – семинар аспирантов и молодых ученых/ Уфимск. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2018, с. 37 – 42.

5. Протокол NMEA «National Marine Electronics Association» стандарт определяющий текстовый протокол связи навигационного оборудования.

# РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Сардор Саидрасулович Икрамов

ГУ «Узбекский национальный институт метрологии»,  
Ташкент, Узбекистан  
+998 78 150 65 07, s.ikramov@nim.uz

## **Аннотация**

*На практике в метрологических службах имеются определенные трудности из-за ограниченных технических возможностей средств поверки, особенно в условиях эксплуатации (так называемые «полевые условия»). Функции у имеющихся в наличии в метрологических лабораториях образцовых средств измерений не позволяют охватить одновременно поверку по многим характеристикам поверяемого средства измерений одним прибором, и требуют определенных условий безопасности. В данной работе описывается многофункциональный прибор, разработанный специалистами Узбекского национального института метрологии, для решения проблем в измерении параметров электрической энергии в сети, в том числе при поверке одно и трехфазных счетчиков электроэнергии, измерительных трансформаторов тока в полевых условиях, приведены его технические и метрологические характеристики, его размеры, указаны актуальность и цели создания такого прибора, его функции и область применения. Внедрение многофункционального прибора позволяет расширить возможности лабораторий метрологических служб по оказанию услуг в полевых условиях. Преимущества разработанного прибора: повышенная безопасность выполнения работ за счет дистанционного управления, а также заменой нескольких приборов одним; составление протокола поверки на месте выполнения работ с автоматическим определением геолокации и фотографированием объекта; оформление сертификатов поверки в электронном виде.*

**Ключевые слова:** многофункциональный прибор, дистанционный управления, безопасность

## **Annotation**

*In practice, metrological services face certain difficulties due to limited technical capabilities of calibration equipment, especially in operational conditions (so-called "field conditions"). The functions of the available metrological laboratory reference measuring instruments do not allow simultaneous verification of many characteristics of the measuring instrument under test with one device, and require specific safety conditions. This paper describes a multifunctional device developed by specialists from the Uzbek National Institute of Metrology to address issues in measuring electrical energy parameters in the network, including when calibrating single and three-phase electricity meters, current measuring transformers in field conditions. Its technical and metrological characteristics, dimensions, relevance, and objectives of creating such a device, its functions, and application area are provided. The implementation of the multifunctional device expands the capabilities of metrological service laboratories to provide services in field conditions. Advantages of the developed device include increased safety in work execution through remote control and the replacement of multiple devices with one; protocol preparation for verification on-site with automatic geolocation determination and object photography; issuance of verification certificates in electronic form.*

**Key words:** multifunctional device, remote control, safety

## **Актуальность работы**

В настоящее время для поверки одно и трехфазных счетчиков электрической энергии, измерительных трансформаторов тока, для определения гармонических параметров электроэнергии в системах электроснабжения потребителей применение переносного многофункционального прибора является актуальной задачей, ибо это расширит возможности выполнять измерения одновременно многих характеристик в энергосистеме по месту эксплуатации одним прибором. С применением такого прибора можно предотвратить нанесение ущерба имуществу потребителей (выход из строя электротехнического оборудования, нарушения работы устройств автоматики, телемеханики, электронной техники) из-за возможных перекосов в трехфазных сетях.

## Цель работы

1. Определение метрологических характеристик всех типов одно и трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии, работающих на переменном токе, обеспечение измерения и анализа следующих основных параметров электроэнергии в однофазных и трехфазных электрических сетях в полевых условиях:

- действующие значения синусоидальной и искаженной формы напряжения и тока;
- активная, реактивная и полная электрическая мощность;
- напряжение;
- сила тока;
- частота;
- коэффициент активной и реактивной мощности;
- гармоники напряжения и тока;
- векторные диаграммы в графическом виде.

2. Определение правильности схем подключения в электрическую сеть без отключения от сети с проверкой правильности подключения и работы приборов измерения напряжения, тока, частоты, активной и реактивной мощности на переменном токе;

3. Определение амплитудных (токовых) погрешностей трансформаторов тока, относительных (в процентах) и угловых погрешностей, а также определение коэффициента трансформации.

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

Разработан образец многофункционального прибора переносного типа SMART NJ977 (рисунок 1) для выполнения всех вышеуказанных функций.

Принцип работы прибора заключается в аналого-цифровом преобразовании значений гармонических входных сигналов на момент выполнения измерений. Затем цифровые значения, полученные в результате преобразования, обрабатываются в персональном программном обеспечении в процессоре. Прибор работает с помощью планшета и передает результаты измерений непосредственно на его экран. Прибор через собственный Wi-Fi подключается к планшету. При использовании данного прибора повышается безопасность процесса выполнения работ за счет сокращения времени на подключение и выполнение измерений.

Результаты измерений сохраняются на планшете с помощью программного обеспечения для обработки данных. Прибор изготовлен из ABS-пластика для удобства переноски и использования. Прибор работает от собственного источника питания или включается автоматически при подключении к фазному питанию. Результаты испытаний формируются в виде протокола с помощью ПО и сохраняются в формате файла excel.xls. Исходя из комплекса условий каждой лаборатории, форму протокола можно изменить. Во время использования ПО с помощью камеры планшета процесс съемки изображения и его добавления в протокол является обязательным. Кроме того, местоположение проведения испытаний сохраняется в протоколе как дополнительная информация о геолокации. В таблице 1 приведены сравнения функций, выполняемых средствами измерений различного типа и многофункциональным прибором SMART NJ977. В данной таблице указано, как один прибор заменяет несколько средств измерений.

Таблица 1

Выполняемая функция	Поверка счетчиков	Определение погрешности трансформаторов тока	Анализ качества электрической энергии
Тип средства измерений	CE602	NRBZC-IV	Энерготестер ПКЭ-А-А1
	SMART NJ977 (измерения и управление выполняются при помощи планшета через Wi-Fi дистанционно)		

Технические и метрологические характеристики прибора приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Технические характеристики

Версия ПК	v 1.2
Количество фаз	3
Размеры (длина/ширина/толщина)	(140×250,47×64,09) mm
Вес устройства	0.78 kg
Потребляемая мощность	7 W
Время работы от батареи	6 h
Диапазон рабочих температур	от минус 15 °C до 45 °C
Диапазон относительной влажности	от 25 °C до 95 %

Таблица 3. Метрологические характеристики

Параметры измерения электроэнергии	Диапазон измерений	Пределы допустимой погрешности	Вид погрешности
Активная электроэнергия (включая счетчики)	$(6 \div 57\,600) \text{ W}$	$\pm 0,05 \%$	Относительная
Реактивная электроэнергия (включая счетчики)	$(6 \div 57\,600) \text{ VAr}$	$\pm 0,1 \%$	Относительная
Переменное напряжение	$(6 \div 576) \text{ V}$	$\pm 0,25 \%$	Относительная
Переменная сила тока	$(1 \div 100) \text{ A}$	$\pm 0,1 \%$	Относительная
Частота	$(45 \div 65) \text{ Hz}$	$\pm 0,1 \text{ Гц}$	Абсолютный
Напряжения и первый гармонический фазовый угол	от $-180^\circ$ до $+180^\circ$	$\pm 0,01^\circ$	Абсолютный
Коэффициент мощности	от $-1.0$ до $+1.0$	$\pm 0,005$	Абсолютный
Амплитуда тока трансформатора	$(1 \div 100) \text{ A}$	$\pm 0,1 \%$	Относительная
Угол тока трансформатора	от $-180^\circ$ до $+180^\circ$	$\pm 0,5^\circ$	Абсолютный
Напряжение и гармонический коэффициент- n тока	от 2 до 63	Ненормированный	



Рис. 1. Общий вид прибора с планшетом

#### Область применения устройства

Организации, производящие и потребляющие электроэнергию, а также осуществляющие контроль за параметрами электроэнергии (энергоаудит) предприятия;

Лаборатории, осуществляющие метрологическую деятельность (включая мобильные средства для использования на месте эксплуатации).

#### Задача исследований работы

Задачей настоящей работы является исследование в области оказываемых метрологических услуг на местах эксплуатации и поверка средств измерений в полевых условиях, вопросы совершенствования работ и повышения эффективности по метрологическому контролю в области учета потребления энергоресурсов.

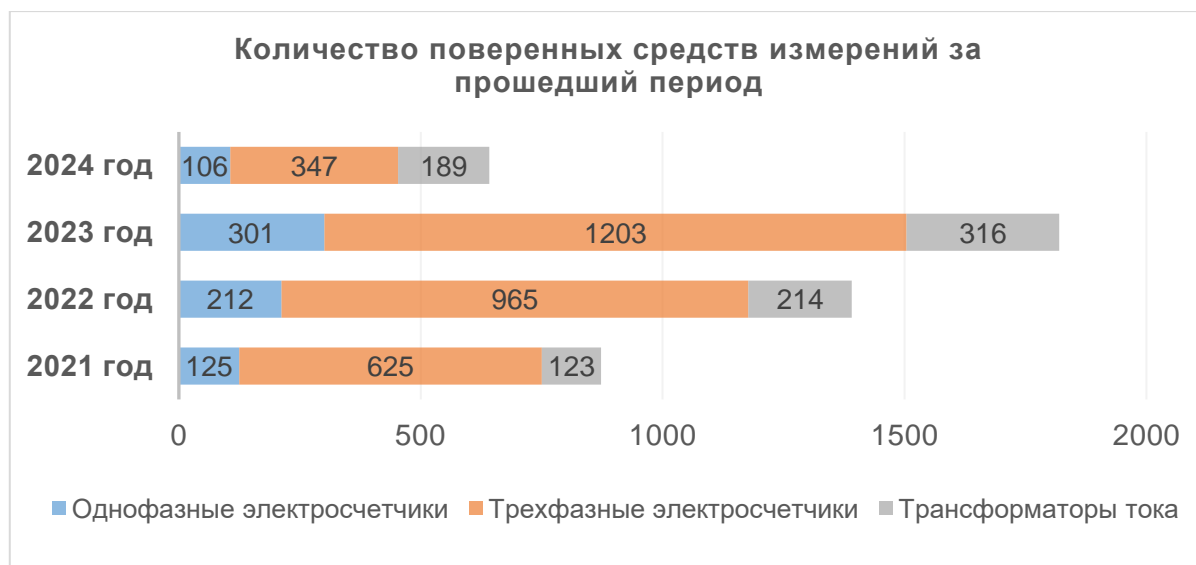
#### Суть работы

Разработка и создание многофункционального средства измерений – SMART-прибора с целью повышения эффективности выполнения работ по поверке в полевых условиях с расширением охвата измеряемых технических характеристик, проведение экспериментальных исследований.

## Полученные результаты

Создан переносный многофункциональный прибор типа SMART NJ977, оснащённый планшетом для измерения и анализа основных параметров электроэнергии электрических сетях, метрологических характеристик всех типов одно- и трехфазных счетчиков активной и реактивной энергии, работающих на переменном токе, действующих значений синусоидальной и искаженной формы напряжения и тока; активной, реактивной и полной электрической мощностей, их коэффициента, напряжения, силы тока, частоты, гармоник напряжения и тока, векторных диаграмм в графическом виде, определения правильности схем подключения в электрическую сеть без отключения от сети и работы приборов измерения напряжения, тока, частоты, активной и реактивной мощности на переменном токе; определения амплитудных (токовых) погрешностей трансформаторов тока, относительных (в процентах) и угловых погрешностей, а также определение коэффициента трансформации.

Многофункциональный прибор SMART NJ977 после протестирования в региональных электрических сетях внесен в Государственный реестр средств измерений Республики Узбекистан. Ниже приведена диаграмма по результатам поверки с применением данного прибора средств измерений, включая поверку на месте эксплуатации.



## Литература

- [1] IEC 60044-1:2003 Instrument transformers - Part 1: Current transformers.
- [2] IEC 61869-2:2012 Instrument transformers — Part 2: Additional requirements for current transformers.
- [3] IEC 62053-21:2020 Electricity metering equipment — Particular requirements, Part 21: Static meters for AC active energy (classes 0.5, 1 and 2).
- [4] ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НЕПРЕРЫВНОГО ПОВЫШЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ-МЕТРОЛОГОВ

Виталий Евгеньевич Ильзит, М. Барина, А. Соляник

Воронежский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)»  
Воронеж, Российская Федерация  
+7(473) 253-02-67, metod@asms-vrn.ru

## **Аннотация**

*В работе рассматриваются вопросы практической реализации методологии непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов. Анализ публикаций показал, что в условиях постоянного расширения парка измерительного оборудования, усложнения технологических процессов его поверки и калибровки, реализация этой методологии не может быть решена без внедрения цифровых технологий. Это свидетельствует о необходимости разработки механизмов цифровой трансформации процессов непрерывного повышения компетентности метрологов. В результате проведенных исследований была предложена двухконтурная концептуальная модель образовательного процесса и разработаны механизмы цифровой трансформации данного процесса - цифровые образовательные платформы «формального» и «неформального» образования. Разработано мобильное приложение «РСТ метрология» – инструмент неформального образования метрологов. Для практической ориентации образовательного процесса предложен алгоритм проектирования «цифровых двойников» реального метрологического оборудования и реализовано более 30 электронных практико-ориентированных учебно-методических комплексов. В результате работы заложены основы для формирования единого образовательного пространства в сфере обеспечения единства измерений стран СНГ, реализации «сценарного» подхода к организации образовательного процесса для метрологов системы Росстандарта и других отраслей производственной деятельности, гармонизации образовательных процессов Академии с деятельностью ВУЗов в этой области знаний.*

**Ключевые слова:** *цифровая трансформация, непрерывное повышение компетентности, формальное образование, неформальное образование, цифровая образовательная платформа, мобильное приложение*

## **Annotation**

*The work considers the issues of practical implementation of the methodology of metrologists competence continuous improvement. Analysis of the public showed that in conditions of constant expansion of the measuring equipment fleet, complication of technological processes of its verification and calibration, the implementation of this methodology cannot be solved without the introduction of digital technologies. This indicates the need to develop mechanisms for digital transformation of processes of metrologists competence continuous improvement.*

*As a result of the research, a two-circuit conceptual model of the educational process was proposed and mechanisms for the digital transformation of this process were developed - digital educational platforms for "formal" and "non-formal" education. A mobile application "PCT metrology" has been developed - a tool for informal education of metrologists. For the practical orientation of the educational process, an algorithm for designing "digital twins" is proposed and more than 30 practice-oriented electronic educational and methodical complexes have been implemented. As a result of the work, the foundations were laid for the formation of uniform educational space in the field of ensuring the uniformity of measurements of the CIS countries, the implementation of a "scenario" approach to organizing the educational process for metrologists of the Rosstandart system and other branches of production activity, harmonizing the educational processes of the Academy with the activities of universities in this area of knowledge..*

**Key words:** *digital transformation, continuous improvement of competence, formal education, non-formal education, digital education platform, mobile application.*

## **Введение**

### **Актуальность работы**

В условиях постоянного увеличения номенклатуры и парка измерительного оборудования, усложнения технологических процессов его поверки и калибровки реализация методологии непрерывного повышения уровня компетентности метрологов становится актуальной задачей для Академии стандартизации, метрологии и сертификации (далее – Академия) как Базовой образовательной организации стран СНГ. В ходе проведенного анализа [1, 2] была отмечена методическая несогласованность процессов формального и неформального образования метрологов, а зачастую и отсутствие эффективных механизмов их цифровой трансформации, что не позволяет в полной мере реализовать методологии непрерывного повышения уровня компетентности метрологов. Данная работа сосредоточена на представлении результатов текущих и постановке перспективных исследовательских задач, направленных на решение этой проблемы.

### **Цель и задачи**

**Целью** работы является разработка механизмов цифровой трансформации процессов непрерывного повышения уровня компетентности специалистов-метрологов.

В ходе работы были выполнены следующие **задачи**:

1. Исследовано состояние вопроса непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов.
2. Разработана и формализована концептуальная модель процесса непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов.
3. Разработаны цифровые образовательные платформы «формального и неформального образования» специалистов-метрологов и методически гармонизированы реализуемые на них образовательные процессы.
4. Разработан технологический процесс проектирования «цифровых двойников» реального метрологического оборудования для учебных целей.
5. На базе «цифровых двойников», сформирована электронная база практико-ориентированных учебно-методических комплексов (УМК).
6. Разработано мобильное приложение «РСТ метрология».

### **Научная новизна и практическая значимость**

**Научная новизна** данной работы заключается в разработке и формализации концептуальной модели процесса непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов и механизмов ее реализации. Отличительная особенность предлагаемой модели – наличие двух методически гармонизированных образовательных контуров формального и неформального образования (технической учебы, организуемой внутри метрологических служб организаций).

**Практическая значимость** работы заключается в том, что разработанные механизмы цифровой трансформации процессов непрерывного повышения компетентности позволяют сформировать единое образовательное пространство в сфере обеспечения единства измерений стран СНГ, а также реализовать «сценарный», практико-ориентированный подход к организации образовательного процесса и повышения компетентности специалистов-метрологов, гармонизировать образовательные процессы Академии с образовательной деятельностью ВУЗов в этой области знаний.

### **Цифровая трансформация процессов непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов**

Концептуальная модель процесса непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов.

Результаты исследований [1, 2, 3], проведенных Академией в аспекте разработки механизмов практической реализации методологии непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов, показали, что данная методология эффективно реализуется в виде двухконтурного образовательного процесса. Концептуальная модель процесса показана на рисунке 1 и включает в себя гармонизированные процессы формального и неформального образования.

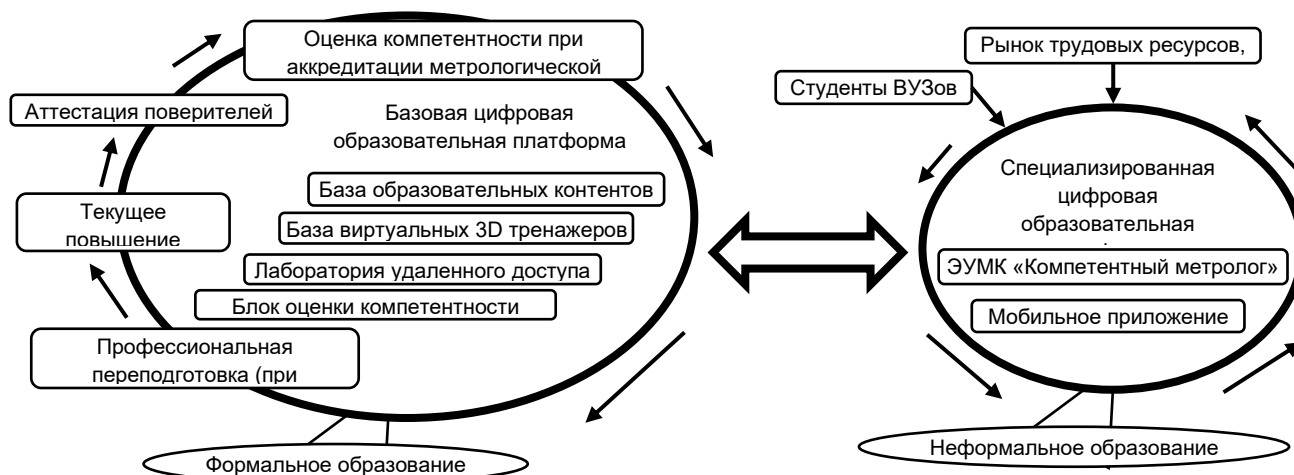


Рис. 1. Концептуальная модель процесса непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов

### Механизмы цифровой трансформации

Контур формального образования реализуется на базовой цифровой образовательной платформе Академии (БЦОП), контур неформального образования (технической учебы) – на базе специализированной цифровой образовательной платформы (СЦОП) «Компетентный метролог» [4] и мобильного приложения «РСТ метрология» [5]. БЦОП и СЦОП объединены на уровне образовательного портала и формируют единую цифровую образовательную платформу (ЕЦОП), показанную на рисунке 2.



Рис. 2. Единая цифровая образовательная платформа



Интегрированные в ЕЦОП компьютерные тренажеры представляют собой программно-технические комплексы, предназначенные для выработки устойчивых навыков ведения технологических процессов поверки и калибровки конкретных средств измерения. На рисунке 3 показан алгоритм разработки виртуальных тренажеров [6, 7].



Рис. 3. Алгоритм разработки виртуальных тренажеров

Как показала образовательная практика, интеграция формального и неформального образования в единую образовательную систему дает возможность в достаточной мере реализовать методологию непрерывного повышения компетентности метрологов. Функционал ЕЦОП позволяет формировать индивидуальные образовательные траектории, а СЦОП может быть использована как в составе ЕЦОП, так и автономно для создания отраслевых систем технической учебы метрологов (РЖД, Росатом, Роснефть, Газпром, Минздрав, ВУЗы и т.д.), гармонизированных с образовательными процессами Академии.

В настоящее время проводятся работы по расширению функционала ЕЦОП с целью формированию единого образовательного пространства для стран СНГ в сфере обеспечения единства измерений и реализации «сценарного подхода» к организации образовательной деятельности.

### Основные результаты работы

1. Проведено исследование состояния вопроса реализации процесса непрерывного повышения компетентности метрологов. Предложена двухконтурная концептуальная модель процесса (формального и неформального образования).

2. Разработаны механизмы цифровой трансформации процессов непрерывного повышения компетентности метрологов – цифровые образовательные платформы «формального» и «неформального» образования метрологов и мобильное приложение «РСТ метрология».

3. Предложен алгоритм процесса проектирования «цифровых двойников» реального метрологического оборудования для учебных целей и реализовано более 30 электронных практико-ориентированных учебно-методических комплексов.

Цифровые образовательные платформы (ЕЦОП, БЦОП и СЦОП) прошли опытную эксплуатацию и интегрированы в образовательную среду Академии, ФБУ «Воронежский ЦСМ», Новолипецкого металлургического комбината, ООО «Ачим Девелопмент» (Газпром), Воронежского государственного университета инженерных технологий. Число постоянных пользователей мобильного приложения «РСТ метрология» составляет около 700 человек (Россия, Казахстан, Киргизия, Узбекистан, Таджикистан, Азербайджан и другие).

### Литература

1. Зажигалкин А.В., Соляник А.И., Андрончев И.К., Барина М.Г. Ассоциативная модель качества инженерной деятельности и результаты ее использования // Компетентность. – 2024. – № 4. – С. 4-11.
2. Соляник А.И., Новиков В.А. Эффективная система непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов // Компетентность. – 2021. – № 1. – С. 6-10.
3. Соляник А.И., Филимонов И.С., Олейник В.Ю., Барина М.Г. Основные аспекты организационно-методического обеспечения образовательной деятельности ФГАУ ДПО Академии СМС // Тезисы докладов. – Сочи:

11-я Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы метрологического обеспечения в здравоохранении и производстве медицинской техники», 2022. – С. 124-129.

4. Ильзит В. Е., Барина М. Г., Олейник В. Ю., Соляник А. И. Электронный учебно-методический комплекс "Компетентный метролог". Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022612457 от 19.01.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

5. Олейник В. Ю., Соляник А. И., Соляник С.А., Ильзит В. Е., Барина М.Г. Электронный учебно-методический комплекс «Мобильное приложение «РСТ Метрология». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022619378 от 20.05.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

6. Барина М.Г., Ильзит В. Е., Олейник В. Ю., Соляник А. И., Соляник С.А. Электронный учебно-методический комплекс «Локомотивный скоростемер. Методика поверки». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022617605 от 25.04.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

7. Воронин В.Н., Соляник А.И. Методология реализации компьютерных 3D тренажеров для формирования цифровой образовательной платформы ФГУОУ ДПО АСМС // Главный метролог. – 2021. – № 6. – С. 4-11.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Андрей Николаевич Казаков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» (УЛГТУ)  
Ульяновск, Российская Федерация  
89020031333, allinmyhead@mail.ru

## **Аннотация**

*Проведенное исследование затрагивает вопросы совершенствования методов измерения температуры в контексте их метрологической точности. Внимание уделено существующей системе передачи единиц измерения, которая, как установлено, ограничивает развитие простых и эффективных методов измерения. Эксперименты, проведенные в рамках исследования, предоставили данные, необходимые для дальнейших исследований и разработок в области измерительной техники. Важным результатом стало решение проблемы практической передачи единицы измерения для устройств, измеряющих температуру в реальном времени. Это имеет важное значение для будущих производственных процессов в данной области. В рамках исследования были предложены процедуры воспроизведения методов передачи единицы измерения и разработаны модели для достижения требуемых результатов. Полученные данные обусловлены конструктивными особенностями, позволяющими непосредственную аппаратную реализацию методов передачи единицы измерения. Полученные результаты могут послужить отправной точкой для дальнейших исследований и способствовать внедрению аналогичных устройств в сфере здравоохранения в соответствии с требованиями законодательства. Кроме того, производители подобных устройств могут воспользоваться данными для разработки новых продуктов.*

## **Annotation**

*The conducted study addresses the issues of improving temperature measurement methods in the context of their metrological accuracy. Attention is focused on the existing system of unit transfer, which, as found, restricts the development of simple and efficient measurement methods. Experiments conducted as part of the research provided data necessary for further research and development in the field of measurement technology. A significant outcome was the solution to the practical unit transfer problem for real-time temperature measurement devices. This is of great importance for future manufacturing processes in this area. Procedures for reproducing unit transfer methods were proposed within the study, and models were developed to achieve the desired results. The obtained data are conditioned by design features, allowing for the direct hardware implementation of unit transfer methods. The results obtained can serve as a starting point for further research and contribute to the implementation of similar devices in the healthcare sector in accordance with legislative requirements. Additionally, manufacturers of such devices can utilize the data for developing new products.*

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

В быстро развивающемся темпе разработок средств измерений, появляются все новые виды оборудования для мониторинга и измерений в самых различных отраслях, включая медицину. Необходимость длительного и непрерывного измерения температуры человеческого тела становится одним из ключевых параметров. Традиционные «контактные» градусники могут быть опасными в применении и неудобными в эксплуатации, когда, например, температуру нужно измерить пациенту, находящемуся в тяжёлом состоянии в отделении реанимации, где измерения осуществляются регулярно: каждый час. При использовании, например, ртутного градусника, измерения занимают порядка 5 минут. Для выполнения данного рода действий требуется достаточно большое количество разнообразных ресурсов, в том числе и медицинского персонала, задействованного в процессе ухода и наблюдений за пациентом. Такая же ситуация обстоит и с инфракрасными термометрами, которые, ко всему вышесказанному, являются достаточно дорогим для приобретения средством измерений. Поиск и анализ новейших **экономически оправданных** разработок ведет к устройствам для измерения температуры тела с передачей показаний данных о температуре в режиме реального времени, далее по тексту (УИТТРВ) (Рис.1). Данный прибор оснащен цифровым датчиком, устройствам обработки и вывода сигнала на смартфон или другим периферийным устройством. Программное обеспечение позволяет

настраивать получение уведомлений при превышении заданного значения температуры. Удобное, экономящее ресурсы устройство с точностью измерений  $\pm 0,1$  °С в диапазоне нужных температур от 24 °С до 42 °С позволяет расширить данные о мониторинге температуры в круглосуточном режиме.

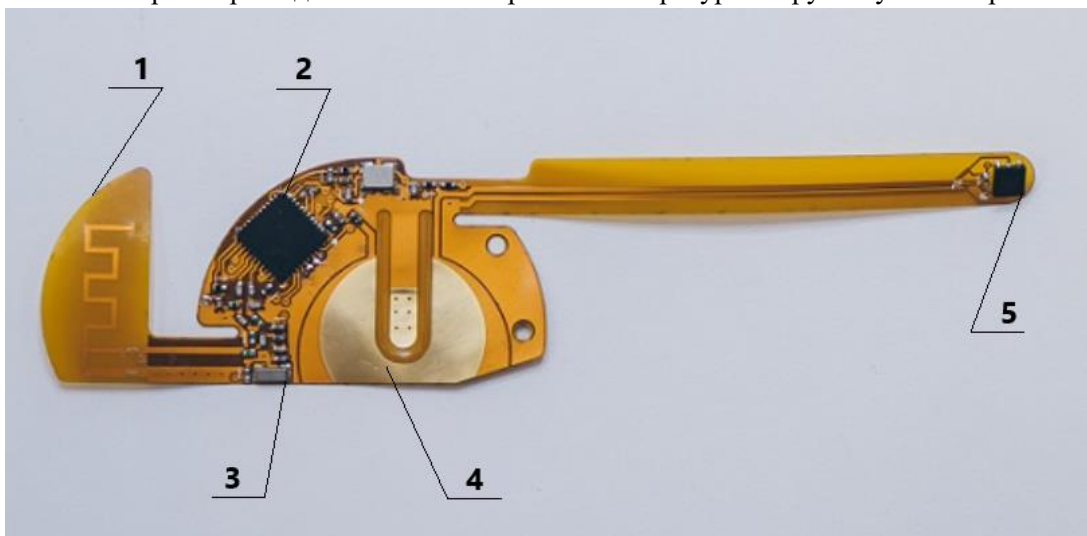


Рис. 1. Пример печатной платы для цифрового термометра: 1 – Bluetooth антенна; 2 – процессор; 3 – кварцевый резонатор; 4 – место для элемента питания; 5 – температурный датчик. Помимо проблем с большим градиентом температур в различных частях тела человека, которые напрямую влияют на процесс эксплуатации данного устройства, его применение в домашних условиях является возможным только в качестве «игрушки» ввиду того, что нет подтверждения точности измерений и классификации данного устройства как средства измерений медицинского назначения, которое подразумевает под собой соответствие множеству критериев, таких как исполнение из гипоаллергенных материалов, электромагнитную совместимость с другими видами техники и другие критерии для декларирования медицинского оборудования. Обращаясь к метрологическому аспекту, одно из основных критериев подобных устройств – это соответствие сфере государственного регулирования, где регламентировано, что на основании Постановления Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. N 1847 "Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений" все измерения при осуществлении деятельности в области здравоохранения, а именно измерение температуры тела человека контактным методом в диапазоне от 24 °С до 42 °С включительно имеет предел допускаемой погрешности измерений  $\pm 0,1$  °С

### **Цель работы**

–Обращение взгляда научного сообщества на действующую систему передачи единицы величины, блокирующую развитие простой и эффективной измерительной техники.

–Получение набора практических данных для проведения дальнейших исследований на предприятиях, занимающихся разработкой и производством измерительной техники.

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

Впервые получены экспериментальные данные исследования: решена проблема практической передачи единицы величины для устройств измерения температуры тела с передачей показаний данных о температуре в режиме реального времени. Решение данной проблемы имеет важное значение для дальнейшего производства подобного рода устройств. В процессе исследований и разработок получены следующие научные результаты:

– предложена и на практике обоснована возможность процесса воспроизведения метода передачи единицы величины от эталона к изобретаемому устройству в рамках действующего законодательства об обеспечении единства измерений<sup>4</sup>

– предложены и теоретически обоснованы модели проведения работ для получения нужных результатов исследования;

– полученные данные в результате исследования обусловлены их конструктивными характеристиками, позволяющими осуществить непосредственную аппаратную реализацию метода передачи единицы величины.

Данная работа может стать основой для дальнейших исследований и поможет продвинуться еще на один шаг к декларированию подобных типов устройств в сфере здравоохранения и соответствовать

нужным требованиям законодательства, а также данные исследования имеют применение практического характера: воспользоваться данным методом смогут производители подобных типов устройств.

### Задачи работы

- Провести исследование теории и практических измерений до получения результатов.
- Посчитать неопределенность измерений прецизионного эталонного оборудования при передаче единицы величины, выбрать подходящее оборудование для эксперимента.
- Разработать и (или) использовать имеющуюся методику поверки за основу проведения экспериментальных измерений.
- Экспериментально передать единицу величины на новое разработанное устройство с помощью существующего оборудования.
- Составить протокол измерений с фиксацией полученных значений погрешности.
- Проанализировать полученные результаты исследований.

### Суть работы

При анализе парка всевозможных калибраторов температуры жидкостного и сухоблочного исполнения, калибраторов температуры поверхности и другого подходящего оборудования для целей эксперимента было определено, что за основу оборудования для передачи единицы величины будет взят прецизионный термостат (калибратор) температуры жидкостного исполнения типа ТЕРМОТЕСТ-100. Стабильность и однородность температуры ТЕРМОТЕСТ-100 в рабочей ванне не хуже  $\pm 0.01$  °С. Кроме того, выбран эталонный термометр ЭТС-100/1 3-го разряда, предназначенный для поверки рабочих средств измерений температуры согласно поверочной схеме ГОСТ 8.558, чьи конструктивные характеристики соответствуют возможности проведения практического исследования. Другое оборудование не соответствует возможностям проведения эксперимента ввиду большой погрешности, градиента, вариации температур, конструкции и габаритов рабочей области. Конструкция УИТТРВ основывается на первичном датчике TMP117 — это высокоточный цифровой датчик температуры, разработанный в соответствии с требованиями стандартов ASTM E1112 и ISO 80601 к электронным термометрам для пациентов за рубежом. TMP 117 выдает 16-разрядный результат измерения температуры с разрешением 0,0078 °С и точностью до  $\pm 0,1$  °С в диапазоне температур от -20 °С до 50 °С без калибровки. TMP117 имеет встроенный интерфейс, который является I2C- и SMBus™ – совместимым. За основу методики измерений взят ГОСТ 8.461-2009 «Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки».

Таблица 1 – Расчет неопределенности при 20°С с градуировкой (Pt100) ТЕРМОТЕСТ-100, эталонный термометр ЭТС-100/1 3-го разряда

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ом	107,988	107,981	107,978	107,981	107,989	107,985	107,982	107,982	107,983	107,985
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ом	107,986	107,982	107,984	107,986	107,988	107,987	107,985	107,984	107,983	107,984
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ом	107,982	107,981	107,984	107,989	107,987	107,982	107,981	107,982	107,980	107,982
№	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Ом	107,984	107,986	107,987	107,988	107,980	107,980	107,979	107,982	107,981	107,980
№	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Ом	107,982	107,984	107,991	107,972	107,980	107,981	107,984	107,979	107,984	107,982

Коэффициент чувствительности  $C_1 = 0,470$  Ом/°С

Среднее значение выборки = 107,983 Ом;

Максимальное значение  $\max = 107,991$  Ом; Минимальное значение  $\min = 107,972$  Ом;

СКО составляет:

$$u(r_{lab}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{lab}} \frac{(R_i - R_s)^2}{N_{lab} - 1}};$$

$$u(r_{lab}) = 0;$$

Стандартная неопределенность, обусловленная случайными эффектами в одном измерительном цикле для эталонного оборудования

$$u(r_{lab1-j}) = \frac{u(r_{lab1})}{\sqrt{N_j}}, \text{ где } N_j - \text{ кол-во измерений в одном измерительном цикле};$$

$$u(r_{lab1-j}) = 0,0000157 \text{ Ом.}$$

Стандартная неопределенность, обусловленная нестабильностью температуры в эталонном оборудовании за время всех циклов измерений:

$u(t_s) = \frac{t_{max} - t_{min}}{2\sqrt{3}}$ , где  $t_{max}$  и  $t_{min}$  - максимальная и минимальная температура, измеренная эталонным оборудованием;

$$u(t_s) = 0,014;$$

Стандартная неопределенность поверки эталонного термометра

$u(\delta_{tc}) = U_3/2$ , где  $U_3$ - расширенная неопределенность поверки эталонного оборудования при  $k=2$ , приведенная в свидетельстве о его поверки (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95 %);

$$u(\delta_{tc}) = 0,00105;$$

Стандартная неопределенность, обусловленная неточностью электроизмерительной установки

$u(\delta_{rs}) = U_s/2$ , где  $U_s$ - расширенная неопределенность измерений при  $k=2$ , приведенная в свидетельстве о поверки установок для измерения сопротивления;

$$u(\delta_{rs}) = 0,01;$$

Стандартная неопределенность, вызванная ограниченной разрешающей способностью отсчетных устройств электроизмерительной установки

$u(\delta_{rrs}) = \frac{a_{rs}}{\sqrt{3}}$ , где  $a_{rs}$ - разрешающая способность установки для измерения сопротивления (дискретность);

$$u(\delta_{rrs}) = 0,0000577;$$

Стандартная нестабильность из-за нестабильности эталонного термометра за межповерочный интервал  $u(\delta_{tT}) = \frac{a_T}{\sqrt{3}}$ , где  $\pm a_T$  – интервал возможного изменения сопротивления эталонного оборудования в тройной точке воды в температурном эквиваленте (из свидетельства о поверке).

$$u(\delta_{tT}) = 0,0034642$$

Суммарная стандартная неопределенность результата измерения температуры эталонным оборудованием

$$u_c(t_x) = \sqrt{\frac{1}{c_1^2} u^2(\delta_{rlab1-j}) + u^2(t_s) + u^2(\delta_{tc}) + \frac{1}{c_1^2} u^2(\delta_{rs}) + \frac{1}{c_1^2} u^2(\delta_{rrs}) + u^2(\delta_{tT});}$$

$$u_c(t_x) = 0,016145.$$

### Полученные результаты

Для получения положительных результатов исследования было проведено изменение конструкции УИТТРВ в части степени защиты оболочки и была поднята от IP 66 до IP 68 для погружения его в термостатическую жидкость на длительное время.

Заданное значение, °C	ЭТС-100/1, °C	УИТТРВ, °C
36,6	36,31	36,38
	36,30	36,39
	36,32	36,33
	36,33	36,40
	36,35	36,41
	36,33	36,37
	36,35	36,42
	36,34	36,42
	36,35	36,42
	36,34	36,42
Среднее значение °C	36,33	36,39
Отклонение		+0,06

Основным документом, регламентирующим метрологическое обеспечение температурных измерений, является государственная поверочная схема (ГПС) для средств измерения температуры. До 01 февраля 2023 г. действовал ГОСТ 8.558-2009 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры», после указанной даты введена в действие новая ГПС, утверждённая приказом Росстандарта от 23.12.2022 № 3253. В соответствии с частью 3 ГПС метрологическое обеспечение средств измерений термометрии осуществляется посредством передачи единицы от государственного первичного эталона (ГПЭ) единицы температуры с помощью вторичных (ВЭТ) и разрядных рабочих эталонов (РЭ) температуры с указанием погрешности и основных методов: прямых измерений и непосредственного сличения в широком диапазоне температур.

Использование данного метода вызывает ряд проблем, которые на прямую влияют на технологию изготовления и конструкцию таких устройств, а также приводит к излишним затратам. Создавая похожие устройства, необходимо уделить большое внимание метрологической составляющей, а именно:

- проработать и аттестовать методы передачи единиц величин;
- усовершенствовать конструкцию для обеспечения максимальной степени защищенности водонепроницаемости IP68, что может повлиять на надежность и долговечность устройства;
- обеспечить стабильный сигнал Bluetooth передатчика.

Все данные операции требуют постоянных экспериментов. В настоящее время выпуском калибраторов температуры поверхности, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам различных разрядов, занимаются как отечественные, так иностранные производители. Но ни один из существующих калибраторов поверхности не способен обеспечить нужную нормируемую точность.

#### **Литература**

1. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. N 1847 "Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений".
2. ГОСТ 8.461-2009 «Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки».
3. ASTM E1112-00(2018) Standard Specification for Electronic Thermometer for Intermittent Determination of Patient Temperature.
4. ISO 80601-2-12:2023 Medical electrical equipment.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕРНОЙ СТЕКЛЯННОЙ ПОСУДЫ

**Жылдыз Ильясовна Карымшакова**

Центр по стандартизации и метрологии при Министерстве экономики и коммерции  
Кыргызской Республики («Кыргызстандарт»)  
Бишкек, Кыргызская Республика  
996 (555)319480, Jica.kg@mail.ru

## **Аннотация**

*Целью данной работы показать влияние на изменение объёма, при неправильной сушке, стеклянной мерной посуды. Так как во всех сферах используют стеклянную мерную посуду, нужно создать правила, которые нужно соблюдать в целях получения достоверных результатов при использовании стеклянной мерной посуды в целях проведения исследований и испытаний. Проведено исследование несколько объектов (колб, пипеток) в течении некоторого времени и разными подходами и на этих примерах наглядно видно, как меняется полученные результаты измерения по требованиям стандарта «ISO 4787:2022 Лабораторная посуда из стекла и пластика. Приборы для измерения объёма. Методы испытания вместимости и эксплуатации».*

*В данной работе показано как внешние факторы и не правильное использование стеклянной мерной посуды влияет на конечный результат испытаний.*

**Ключевые слова:** мерная посуда, исследование, погрешность, допуск, время, температура, поверка, калибровка, сушка, опыт

## **Annotation**

*The purpose of this work is to show the effect on the change in volume when improperly drying glass measuring containers. Since glassware is used in all applications, there are rules that must be followed in order to obtain reliable results when using glassware for research and testing purposes. Several objects (flasks, pipettes) were studied over a period of time and using different approaches, and these examples clearly show how the obtained measurement results change according to the requirements of the ISO 4787:2022 Laboratory glassware and plastics standard. Instruments for measuring volume. Test methods for capacity and operation."*

*This work shows how external factors and incorrect use of glass measuring cups affect the final test result.*

**Key words:** measuring glassware, research, error, tolerance, time, temperature, verification, calibration, drying, experience

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

Актуальность моей исследовательской работы заключается в том, что во многих медицинских и испытательных лабораториях в целях возможности проведения исследований и испытаний в работе используется лабораторная мерная посуда. Однако необходимо делать акцент именно на правильную эксплуатацию мерной посуды, т.е. делать ударение на чистоту и сушку мерной посуды, так как отклонения от данных требований повлечет за собой недостоверность результатов испытаний.

**Примечание: Мерная посуда – меры для измерения объёма жидкостей.** Мерная посуда может быть изготовлена из стекла и химически устойчивого пластика. В зависимости от относительной погрешности, допускаемой при измерении объёма, мерная посуда делится на две группы – для **приблизительного и точного измерения** объёма. Мерная посуда в зависимости от точности делится на два класса: Посуда **1-ого класса (класс А)** – самая точная - **допускаема погрешность 0,1 %** **2-ого класса (класс В)** – **допускаемая погрешность 0,2 %**.

## **Цель работы**

Суть исследования заключается в том, чтобы рассмотреть вопрос: влияние на изменение объёма при неправильной сушке стеклянной мерной посуды.

## **Практическая (прикладная) значимость**

Данные правила необходимо соблюдать в целях получения достоверных результатов при использовании стеклянной мерной посуды в целях проведения исследований и испытаний.

Сушка стеклянной мерной посуды через обработку спиртом или через сушку под воздействием температуры сушильного шкафа несет принципиальное различие что сказывается на объеме стеклянной



мерной посуды и подтверждается опытным путем на основе результатов исследования также продемонстрирована показателями и выведены закономерности согласно **Таблицах № 1,2,3.**

### **Задачи работы**

Задача работы - поэтапные действия (инструкция), которые должны быть реализованы в ходе работ по использованию лабораторной посуды в целях проведения и реализации испытаний и исследований.

### **Алгоритм действий перед использованием стеклянной мерной посуды:**

Химическая посуда должна быть совершенно чистой - без выполнения этого условия, пользоваться ей нельзя!

### **Мытьё химической посуды следует проводить следующим образом:**

–Если на стенках посуды имеется налет каких-либо солей или осадок, посуду очищают (предварительно смочив водой).

–Затем посуду моют с жидкостью для мытья посуды ершиком или ветошью.

–При необходимости посуду моют хромпиком (смесь бихромата калия и концентрированной серной кислоты).

–Хорошо вымытую в тёплой воде посуду 3-4 раза ополаскивают водой.

### **Проверка на чистоту.**

–Стеклянная посуда считается чистой, если на стенках ее не образуется отдельных капель или струек, и вода оставляет равномерную тончайшую пленку. Если посуда не удовлетворяет этим критериям, повторяют пункты, приведенные выше, до тех пор, пока посуда не будет чистой.

–Хорошо вымытую в теплой воде посуду обязательно 2-3 раза споласкивают дистиллированной водой для удаления солей, содержащихся в водопроводной воде.

–На недостаточную чистоту посуды указывает изменение массы сухой колбы от измерения к измерению или слишком большой разброс в массе слитой жидкости для сливных мер.

–Сушка спиртом стеклянных мер на налив. Ополаскивают сосуд сначала чистым спиртом или продувают холодный воздух.

–В определённых случаях требуются специальные методы проверки посуды на чистоту, которые описаны в соответствующих методах испытаний.

–Стеклянную мерную посуду сушить в сушильном шкафу нельзя!!!

–Мерная посуда изменит объём и ей потребуется повторная калибровка, это связано с тем, что стекло при нагревании выше 40 °С деформируется (расширяется) и объём посуды увеличивается, что продемонстрировано в **Таблицах № 1,2,3.**

–Хорошо промытую мерную посуду нужно за один день до проведения калибровки занести в помещение, где будет проводиться исследования и испытания для того чтобы она приобрела температуру помещения (на ночь).

### **Суть работы**

Нам часто задают вопрос, почему ранее поверенная мерная посуда при калибровке превышает допускаемую погрешность?

Нужно понимать, что, если, по незнанию, мерная посуда была просушена в сушильном шкафу – независимо от того была она ранее поверена или откалибрована - её объём сильно увеличивается, после сушки, а тем более после частых сушек.

Стеклянную мерную посуду сушить в сушильном шкафу нельзя! Она изменит объём и ей потребуется повторная калибровка, это связано с тем, что стекло при нагревании выше 40 °С деформируется (расширяется) и объём посуды увеличивается!

### **Полученные результаты (доказательства)**

*Таблица №1 Стеклянная мерная колба. Исследование проведено при температуре воздуха от 20,5 °С до 21,0 °С*

№	Номинальный объем (мл)	Высушенные естественным путем Фактического объема (мл.)	Высушенные через сушильный шкаф Фактический объем (мл.)
1	50	49,23	50,36
2	100	99,920	100,623
3	200	199,882	200,734
4	500	499,889	500,801

Таблица №2. Стекломерная колба 100 мл., класс А (2 класс). Исследование проведено при температуре воздуха 20,5 °С

Условия при исследовании	Температура воды, °С	Объем (мл.)	Неопределенность, %
Высушенные естественным путем Фактический объем (мл.)	20,35	99,920	0,020
Высушенные через сушильный шкаф Фактический объем (мл.) через 1 час	20,25	100,623	0,016
Высушенные через сушильный шкаф Фактический объем (мл.) через 6 часов	20,45	100,245	0,018
Высушенные через сушильный шкаф Фактический объем (мл.) через 24 часа	20,38	99,998	0,018

Таблица №3. Стекломерная градуированная пипетка 10 мл. Исследование проведено при температуре воздуха 20,8 °С

Градуированные точки, мл	Высушенные естественным путем Фактический объем (мл)	Высушенные через сушильный шкаф Фактический объем (мл) через 1 час	Высушенные через сушильный шкаф Фактический объем (мл) через 24 часа
1	0,992	1,006	0,995
2	1,999	2,010	2,005
3	2,984	3,015	2,908
4	4,002	4,032	4,021
5	4,986	5,023	4,932
6	6,004	6,046	6,020
7	6,994	7,021	7,000
8	7,987	8,013	7,923
9	8,983	9,031	8,946
10	9,995	10,040	10,996

#### Литература

1. EURAMET cg - 19 Version 3.0 (09/2018). Руководство по определению неопределенности объема гравиметрическим методом.
2. ЕА-4/02: Оценка неопределенности измерений при калибровке.
3. ISO 4787:2022 Лабораторная посуда из стекла и пластика. Приборы для измерения объема. Методы испытания вместимости и эксплуатации.
4. ГОСТ 1770-74 Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия.
5. ГОСТ 29227-91. Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные.

# РИСКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ ПУБЛИКАЦИИ СВЕДЕНИЙ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ФГИС

Александр Викторович Кисткин

Публичное акционерное общество «Сургутнефтегаз»  
Сургут, Российская Федерация  
+7 (982) 417-13-13, AKistkin@gmail.com

## **Аннотация**

*В соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации метрологические службы создают, обеспечивают функционирование и совершенствование системы управления рисками и возможностями.*

*В настоящее время без применения работниками метрологических служб специализированных программных комплексов высокой степени автоматизации невозможно добиться сокращения рисков появления ошибок при фиксации информации о проведенном метрологическом контроле средств измерений.*

*В работе представлен итог статистических исследований сведений о результатах поверки средств измерений, публикуемых в федеральные государственные информационные системы (далее – ФГИС). Выполнена оценка и сравнение рисков передачи в ФГИС недостоверных сведений при ручном внесении данных и при использовании специализированных программных комплексов высокой степени автоматизации. Предложена базовая оценка вероятности указания ошибочной информации по каждому публикуемому в ФГИС параметру для дальнейшего использования в системе управления рисками и модернизации функциональных возможностей применяемых программных комплексов.*

*Предложены направления совершенствования цифровой инфраструктуры государственных систем, позволяющие снизить вероятность возникновения рисков, исследованных в данной работе, и негативных последствий ошибок в опубликованных результатах поверки средств измерений.*

**Ключевые слова:** *риск, поверка, публикация сведений о результате поверки средств измерений, федеральная государственная информационная система, программный комплекс, цифровой инфраструктуры государственных систем*

## **Annotation**

*In accordance with the requirements of the legislation of the Russian Federation on accreditation in the national accreditation system, metrological services create, ensure the functioning and improve the risk and opportunity management system.*

*Currently, without the use of specialized software systems of a high degree of automation by employees of metrological services, it is impossible to reduce the risk of errors when recording information about the metrological control of measuring instruments.*

*The paper presents the result of statistical studies of information on the results of verification of measuring instruments published in federal state information systems (hereinafter referred to as FSIS). An assessment and comparison of the risks of transmitting unreliable information to FSIS when manually entering data and using specialized software systems with a high degree of automation was carried out. A basic assessment of the probability of indicating erroneous information for each parameter published in FSIS is proposed for further use in the risk management system and modernization of the functionality of the software systems used.*

*Directions for improving the digital infrastructure of government systems are proposed to reduce the likelihood of the risks studied in this work and the negative consequences of errors in the published results of verification of measuring instruments.*

**Key words:** *risk, verification, publication of information on the results of verification of measuring instruments, federal state information system, software systems, digital infrastructure of government systems*

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

Оценка рисков имеет важное значение для эффективной деятельности предприятий. В соответствии с обязательными требованиями законодательства Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации метрологические службы создают, обеспечивают

функционирование и совершенствование системы управления рисками и возможностями. В рамках деятельности по проверке СИ одним из значительных рисков для организации является публикация в ФГИС недостоверных сведений о проведенных работах.

Без применения ПК ВСА невозможно добиться сокращения рисков появления ошибок при внесении информации о проведенном метрологическом контроле СИ. Однако, даже в случае использования таких систем невозможно снизить определенные риски без совершенствования цифровой инфраструктуры государственных систем.

#### **Цель и задача работы**

Целью данной работы является анализ и сравнение результатов статистических исследований сведений о результатах проверки СИ, публикуемых в ФГИС, а также рассмотрение предложений по совершенствованию цифровой инфраструктуры государственных систем, позволяющих снизить риски публикации в ФГИС ошибок в таких сведениях.

Сведения о результатах проверки могут передаваться в ФГИС вручную или посредством ПК ВСА, что значительно влияет на достоверность результата. Задачей данного исследования является не только оценка и сравнение рисков передачи в ФГИС недостоверных сведений о результатах проверки СИ в случае применения обоих вариантов публикации данных, но формирование базовой оценкой для использования в системе управления рисками, а также при модернизации функциональных возможностей применяемых программных комплексов.

#### **Научная новизна и практическая значимость**

В данной работе исследован один из завершающих этапов процедуры метрологического контроля – фиксация результатов проверки СИ для публикации в ФГИС. Однако, исследованы не причины, приводящие к внесению поверителями ошибочных сведений, а фактическая статистика выявленных ошибок с учетом степени автоматизации процессов фиксации результатов проведенных работ.

Наличие ошибок в опубликованных результатах проверки СИ, помимо факта нарушения требований законодательства, может нанести дополнительный финансовый ущерб. Решением суда, проверка СИ, выполненная с нарушением требований законодательства об обеспечении единства измерений, может быть аннулирована вместе с результатами измерений. Таким СИ может быть комплекс (или его составная часть), обеспечивающий учет энергетических ресурсов, что может привести к нарушению условий договора и значительным финансовым и репутационным потерями.

#### **Суть работы**

По итогам исследования более чем 450 тысяч результатов проверки СИ получена оценка вероятности внесения поверителем ошибочных сведений для каждого планируемого к публикации в ФГИС параметра. На рисунке 1 представлены результаты оценки рисков передачи в ФГИС недостоверной информации при ручном внесении данных и при использовании ПК ВСА.

Вероятность внесения некорректных данных выражена в условных единицах, где максимальное значение «10» присвоено параметру с наибольшим значением такой вероятности. Метрологически незначимые ошибки, например, орфографические, в исследовании не учитывались.



– Ручной ввод сведений   
 – Автоматизированный ввод сведений

Рис. 1. Вероятность наличия недостоверных сведений в результатах поверки СИ

При отсутствии реальных статистических данных о выявленных ошибках при публикации сведений о результатах поверки СИ в ФГИС оценку интервалов вероятностей можно рассчитать с использованием усовершенствованного метода анализа надежности человека-оператора – SLIM [1], являющимся одним из методов анализа надежности человеческого фактора HRA [2]:

$$P_j = \exp(a_j \cdot \overline{SLI}_j + b_j), \quad \bar{P}_j = \exp(\bar{a}_j \cdot \underline{SLI}_j + \bar{b}_j), \quad j = 1, 2 \dots N,$$

где  $P_j, \bar{P}_j$  – нижнее и верхнее значения интервала вероятности успешного выполнения задачи;  $a_j, b_j, \bar{a}_j, \bar{b}_j$  – нижние и верхние значения коэффициентов, соответственно, вычисляемых в соответствии с [1];  $\underline{SLI}_j, \overline{SLI}_j$  – нижнее и верхнее значения индекса правдоподобия успеха, вычисляемого в соответствии с [1];  $j$  – номер анализируемой задачи;  $N$  – количество анализируемых задач.

### Полученные результаты

Применение поверителями ПК ВСА позволяет значительно снизить вероятность внесения ошибочных сведений, так как обеспечивает проверку вводимых данных на соответствие информации, содержащейся в базе данных, пополняемой пользователями системы вручную и автоматически из ФГИС.

Основными способами сокращения рисков передачи ошибочной информации по каждому публикуемому в ФГИС параметру (рисунок 1) являются:

1. Для параметров «Регистрационный номер типа СИ», «Модификация», «Заводской номер», «Срок действия поверки», «Наименование документа», «Состав СИ» – создание карточки СИ в которой варианты выбора информации о типе, модификации, межповерочном интервале, применяемой методике поверки выгружаются из справочника с учетом регистрационного номера типа СИ из ФГИС. База данных программы автоматически пополняется сведениями об утвержденных типах СИ из ФГИС. При внесении результатов поверки СИ поверитель подтверждает корректность публикуемой в ФГИС информации, указанной в карточке прибора.

2. Для параметров «Эталоны, стандартные образцы, применяемые при поверке», «Средства измерений, применяемые при поверке» – формирование базы данных используемых в метрологической службе эталонов единиц величин, СИ, применяемых в качестве эталонов, стандартных образцов, рабочих СИ. Обеспечение выбора средств поверки при внесении поверителями результатов метрологического контроля с учетом сведений о доступности и возможности применения.

3. Для параметров «Температура», «Атмосферное давление», «Влажность», «Другие факторы» – применение автоматизированного контроля и учета условий проведения поверки по лабораториям.

4. На основании статистики количества непригодных СИ, полученной из ФГИС, можно, в целом, оценить эффективность работы собственной метрологической службы и планирование выхода приборов

из строя. В качестве примера, на рисунке 2 представлена статистика признания манометров непригодными к применению. Для государственных метрологических центров значение параметра выше, так как указанные организации в меньшем объеме выполняют ремонт средств измерений.

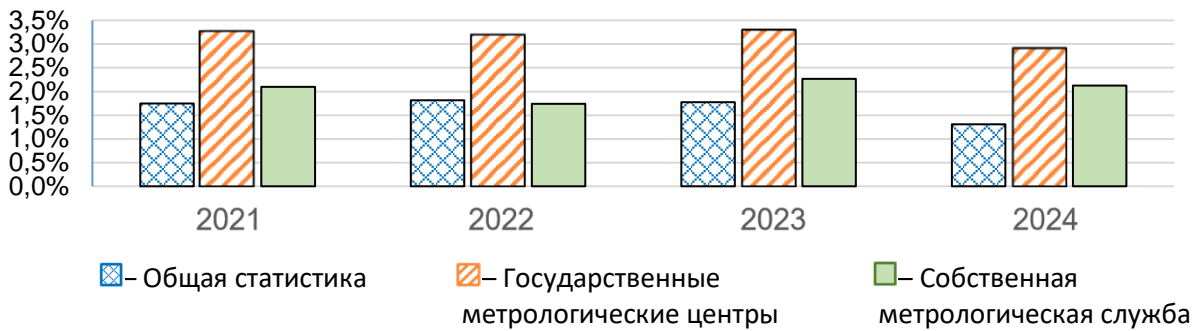


Рис. 2. Статистика признания манометров непригодными к применению

Даже в случае применения поверителями ПК ВСА существует ряд причин передачи в ФГИС некорректных сведений о результатах поверки СИ. Снизить такие риски можно путем совершенствования цифровой инфраструктуры государственных систем. Рассмотрим подробнее причины появления ошибок в сведениях о результатах поверки СИ и способы их устранения:

1. Владельцы СИ и поверители неверно идентифицируют СИ: некорректно определяется регистрационный номер типа СИ, тип, модификация, заводской номер, дата изготовления, интервал между поверками и т.п. Причина ошибок не только в невнимательности работников, но и в отсутствии необходимой информации на СИ, а также в технической документации.

С 01.01.2025 запись о первичной поверке СИ может быть использована в качестве уникальной отправной точки для отслеживания цепочки проверок и однозначной идентификации СИ. Это позволит автоматизировать процесс формирования карточки СИ по сведениям, указанным при первичной поверке. Публикация в ФГИС результатов периодической поверки СИ с обязательным указанием номера записи о результате первичной поверки данного прибора обеспечит возможность отслеживания истории поверки каждого экземпляра СИ и контроля наличия индикаторов риска превышения сроков между поверками средств измерений. Сократятся трудозатраты метрологических служб на передачу результатов периодической поверки СИ и обновление информации о технической оснащённости в ФГИС Росаккредитации, так как при наличии межведомственного обмена информацией достаточно будет передавать только сведения о результатах первичной поверки. Результат периодической поверки можно будет обновить по номеру результата первичной поверки.

2. В метрологических службах актуальна проблема отслеживания и внесения сведений об утверждении новых методик поверки и изменений в действующие документы, полноты указания средств поверки и условий проведения поверки. Корректное внесение данных требует проведения трудоемкого анализа информации из ФГИС и документов, что увеличивает риск возникновения ошибки.

Публикация приказов о внесении изменений в сведения об утвержденных типах СИ (в том числе по изменению методик поверки), описаний типа средств измерений и методик поверки в виде умных (SMART) документов с машиноинтерпретируемым содержимым [3] позволит системам метрологических служб автоматизировать процесс получения информации о действующих, изменяемых и заменяемых методиках поверки СИ, о наборе необходимых средств поверки, условиях проведения поверки, наличии указаний о возможности проведения сокращенной поверки, необходимости оформления протоколов поверки и других сведений.

3. Указанные поверителями средства поверки могут не соответствовать объему проведенной поверки, а фактический объем проведенных работ может не соответствовать опубликованным сведениям.

Указание производителями СИ в технической документации и в описаниях типа СИ кодов классификации СИ [4] с учетом измеряемых и воспроизводимых единиц величин, а также прослеживаемости к государственным первичным эталонам (первичным референтным методикам измерений), позволит, используя программные комплексы, обеспечить контроль полноты указания применяемых средств поверки и объемов поверки.

#### Литература

1. Крымский В.Г., Ахмеджанов Ф.М. Использование интервальных моделей неопределенностей для оценки надежности человека-оператора с помощью метода SLIM // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2022. Т. 18. №2. С. 128-138.

2. ГОСТ Р МЭК 62508-2014. Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора. М.: Стандартиформ, 2020. 50 с.
3. ПНСТ 864-2023. Умные (SMART) стандарты. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 16 с.
4. ГОСТ Р 8.1030-2024. ГСИ. Классификация средств измерений. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 102 с.

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Александр Вячеславович Ковалёв<sup>1</sup>, В.М. Ковальский<sup>1</sup>, С.В. Бушуев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»  
Москва, Российская Федерация  
+7 (499) 973-30-76, Kovalevaleks@yandex.ru

## **Аннотация**

*Современные требования по автоматизации производств подразумевают внедрение цифровых безлюдных процессов на всех этапах жизненного цикла продукции, включая процедуры контроля параметров геометрии изделий при решении как задач по квалификации готовой продукции, так и при решении задач обратного инжиниринга. При этом алгоритмы автоматизации подобных процессов, реализованные в измерительных информационных системах, нуждаются в верификации для уверенного внедрения в промышленности. В ходе проведённых исследований двух близких по структуре оптических координатно-измерительных систем была проведена оценка точности их работы в режиме автоматической фокусировки как в латеральной плоскости, так и вдоль вертикальной оси. Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о готовности технологии съёма данных к применению в реальных производственных условиях.*

**Ключевые слова:** *оптические измерения, автоматическая фокусировка, автоматизация процедур контроля*

## **Annotation**

*Modern requirements for production automation imply the introduction of digital unmanned processes at all stages of the product life cycle, including procedures for product geometry parameters control in solving both tasks as for the qualification of finished products as for solving of reverse engineering problems. At the same time, algorithms for automating such processes implemented in measuring information systems need verification for confident implementation in industry. In the course of the conducted studies of two optical coordinate measuring systems similar in structure, the accuracy of their operation in the automatic focusing mode was evaluated both in the lateral plane and along the vertical axis. The analysis of the obtained results allows us to draw conclusions about the readiness of the data capture technology for use in a real production conditions.*

**Key words:** *optical measurements, automatic focusing, automation of control measurements.*

**Актуальность поставленной задачи** связана с тем, что современные требования по автоматизации производств подразумевают внедрение цифровых безлюдных процессов на всех этапах жизненного цикла продукции, включая процедуры контроля параметров геометрии изделий при решении как задач по квалификации готовой продукции, так и при решении задач обратного инжиниринга. При этом алгоритмы автоматизации подобных процессов, реализованные в измерительных информационных системах, нуждаются в верификации для уверенного внедрения в промышленности.

При этом одной из наиболее сложных задач при реализации оптических измерений геометрических параметров является определение расстояния до поверхности или кромки детали. Автоматизированные решения предлагают различные подходы к реализации процедуры автоматической фокусировки, однако в общем случае данную задачу можно разделить на задачу фокусировки на кромку детали и задачу фокусировки на поверхность детали [1]. При этом первый метод больше зависит от факторов оптической дифракции на краю объекта, а второй – на достоверности данных от алгоритма распознавания образов [2].

**Целью работы** является исследование универсальности алгоритмов автоматической фокусировки, предлагаемой двумя оптическими координатно-измерительными системами, обладающими схожими метрологическими характеристиками. Первая из них – мультисенсорная координатно-измерительная машина (КИМ) Score-Check 200 компании Werth с погрешностью измерения  $\pm(4,5+L/75)$  мкм для вертикальной оси и  $\pm(2,0+L/100)$  мкм для латеральной плоскости с зоной измерения 200×200×200 мм. Вторая – видеоизмерительная система NVMII-4030Di компании Norgau с погрешностью измерения



$\pm(2,0+L/100)$  мкм как для латеральной плоскости, так и для вертикальной оси, с зоной измерения  $400 \times 300 \times 200$  мм. Во всех случаях  $L$  – измеряемая длина в мм.

**Прикладная значимость** проводимых работ заключается в получении ценных сведений о степени достоверности измерительной информации, получаемой при использовании автоматических режимов настройки и работы оборудования без вмешательства оператора.

**Задачи работы** состоят в получении данных о линейных размерах контролируемых эталонных объектов в форме концевой меры номиналом 10 мм и образца плоской поверхности при проведении идентичных процедур измерений на описанном оборудовании в ручном и автоматическом режиме сбора данных.

Для решения поставленных задач была использована концевая керамическая плоскопараллельная мера длины Mitutoyo номиналом 10 мм и калибровочная пластина Jenoptik  $80 \times 80 \times 20$  мм с максимальным отклонением от плоскостности измерительной поверхности 2 мкм. Данные образцовые элементы последовательно размещались для реализации измерений в режиме проходящего света для контроля длины в латеральной плоскости и в режиме отражённого света в форме ступеньки для контроля длины и плоскостности объектов как в ручном, так и в автоматическом режиме фокусировки. Также проводились измерения стабильности показаний по образцу плоской поверхности, в ходе которого проводилось измерение шестнадцати точек поверхности, строилась средняя плоскость и проводилось измерение максимального расстояния для измеренных точек относительно построенной плоскости.

Перед началом измерений в обоих случаях на обеих измерительных системах проводилась процедура выравнивания системы координат относительно одной из измеряемых поверхностей КМД или пластины для устранения методической погрешности.

В дальнейшем для режима латеральных измерений проводилось снятие координат десяти точек измерительных поверхностей, по пять с каждой стороны. Координаты, полученные вдоль использованной для математического выравнивания оси точек, были выбраны для двух измерительных сторон таким образом, чтобы быть попарно идентичными. Данная методика измерений копирует процедуру калибровки КИМ, описанную в ГОСТ Р ИСО 10360-1-2017 [3]. Координаты точек вдоль выбранной оси также были воспроизведены как при смене средства измерений, так и при переходе от ручного метода фокусировки к автоматическому. Общий внешний вид реализуемых экспериментальных установок представлен на рисунке 1.

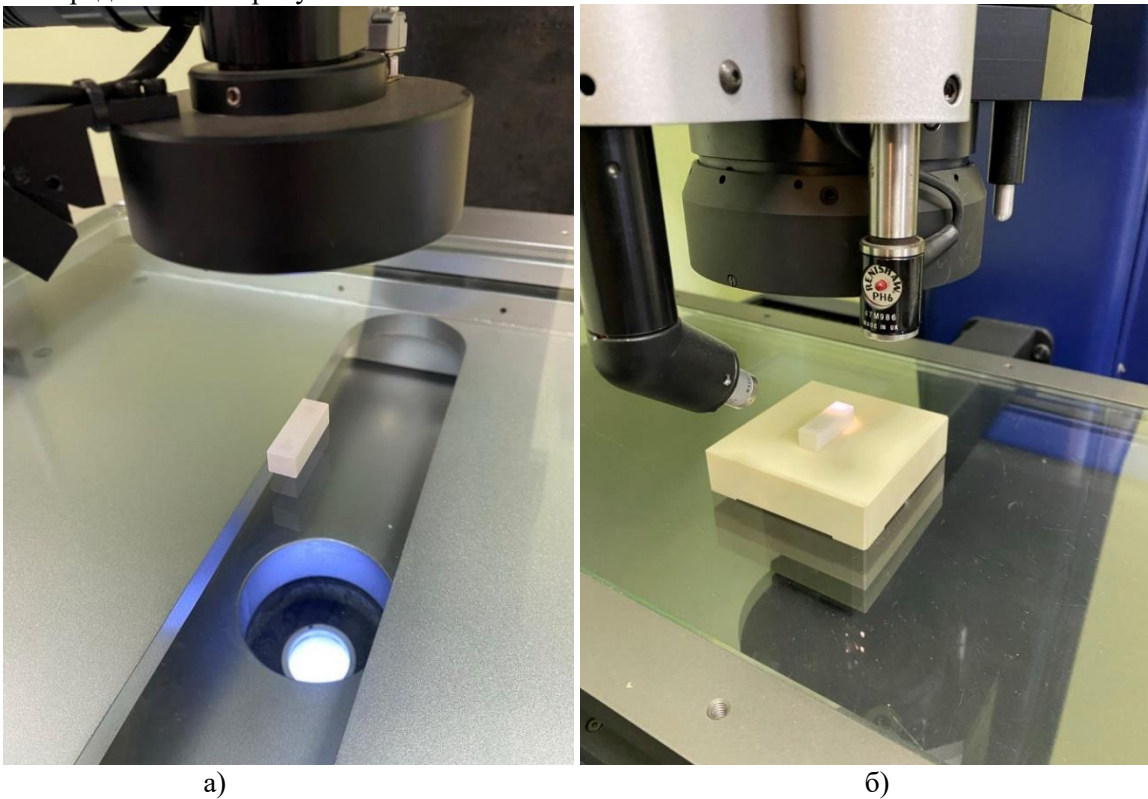


Рис. 1. Проведение измерений размера КМД в латеральном направлении на КИМ Score-Check 200 (а) и вдоль вертикальной оси на видеоизмерительной системе NVMII-4030Di (б)

## Полученные результаты

Результаты проведённых измерений для измерительных систем Scope-Check 200 и NVMII-4030Di приведены в таблицах 1 и 2. Полученные результаты, за исключением результатов контроля плоской поверхности пластины по шестнадцати точкам, были усреднены, для них была проведена оценка разброса результатов по среднеквадратическому отклонению и рассчитана абсолютная погрешность измерений. Сравнение с предельно допустимой погрешностью позволило для каждой группы измерений сделать вывод о соответствии полученных результатов паспортным параметрам точности измерений для каждой измерительной системы.

Таблица 1. Результаты измерений на Werth Scope Check 200

Режим измерений	Ручной	Автом.	Ручной	Автом.	Ручной	Автом.
Напр. измерений	Плоск.XY	Плоск.XY	Ось Z	Ось Z	Ось Z	Ось Z
Объект	КМД	КМД	КМД	КМД	Пласт.	Пласт.
Результаты измерений, мм	10,0017	10,0259	9,8964	10,0299	0,0623	0,0181
	10,0013	9,9812	10,0528	10,0127		
	10,0015	9,9696	9,938	10,022		
	10,0018	10,022	10,0233	10,0144		
	10,0017	10,0048	10,0055	10,0379		
Средн. знач., мм	10,0016	10,0007	9,9832	10,02338	-	-
СКО, мм	0,0001	0,0124	0,0321	0,0053	-	-
Средн. абсол. погр. из-ний, мм	0,0016	0,0204	0,0494	0,0234	0,0623	0,0181
Пред. погр. из-ний, мм	0,0021	0,0021	0,0046	0,0046	0,0046	0,0046
Соотв. рез-тов допуску	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

Таблица 2. Результаты измерений на Norgau NVMII-4030Di

Режим измерений	Ручной	Автом.	Ручной	Автом.	Ручной	Автом.
Напр. измерений	Плоск.XY	Плоск.XY	Ось Z	Ось Z	Ось Z	Ось Z
Объект	КМД	КМД	КМД	КМД	Пласт.	Пласт.
Результаты измерений, мм	10,0013	9,9979	10,1303	10,021	0,0453	0,0062
	10,0033	9,9996	9,9661	10,0377		
	10,0031	9,9963	10,0664	10,0254		
	10,0008	9,9959	10,0041	10,0365		
	10,0019	9,9959	10,0591	10,0124		
Средн. знач., мм	10,0021	9,9971	10,0452	10,0266	-	-
СКО, мм	0,0006	0,0008	0,0315	0,0053	-	-
Средн. абсол. погр. из-ний, мм	0,0021	0,0029	0,0588	0,0266	0,0453	0,0062
Пред. погр. из-ний, мм	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
Соотв. рез-тов допуску	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

Следует отметить, что согласно паспортам средств измерений, именно КИМ Werth Scope Check 200 предусматривает возможность проведения пространственных измерений в оптическом режиме, в то время как для видеоизмерительной системы Norgau NVMII-4030Di данный режим поставляется опционально.

Полученные результаты демонстрируют определённые тенденции. В частности, система Scope Check 200 именно в ручном режиме фокусировки демонстрирует наибольшую точность измерений в латеральной плоскости, при этом автоматические измерения высоты минимальную дисперсию, как в сравнении с режимом автоматической фокусировки на кромке детали, так и относительно аналогичных измерений на видеоизмерительной системе Norgau NVMII-4030Di. В свою очередь последняя демонстрирует существенное преимущество реализуемого ею алгоритма автоматической настройки при контроле именно в плоскости оптического стола. Хотя полученная погрешность измерений несколько превышает предельно допустимую, всё же она не так существенно отличается от допустимых значений по отношению к полученному на КИМ Werth Scope Check 200 отклонению свыше 20 мкм.

В ходе опытов была выявлена некоторая неоднозначность полученных результатов относительно анализа отклонения от плоскостности образцовой пластины, однако и здесь автоматический режим

измерений в обоих случаях показывает существенно более точные результаты в сравнении с ручным методом настройки фокусного расстояния.

### **Выводы**

Результаты проведённых экспериментов демонстрируют как ряд преимуществ автоматических методов фокусировки над ручными, так и существенные недостатки их возможного массового применения. К сильным сторонам метода можно отнести большую скорость реализации измерений, а также относительно большую надёжность подобных измерений применительно к оси измерения, параллельной оптической оси. Однако в целом в основной области применения данных проекционных средств измерения автоматизация может приводить к снижению точности получаемых результатов. Вероятно, во многом это связано с неполным соответствием методики поверки подобных систем по эталонным оптическим шкалам и их дальнейших условий эксплуатации, в которых с их помощью контролируются параметры геометрии в основном объёмных, а не плоских объектов. Также к факторам возникновения дополнительной погрешности может относиться низкоконтрастный материал выбранных для эксперимента образцовых объектов – белый цвет поверхности керамики может создавать дополнительные методические погрешности, так как влияние светоотражающих свойств поверхности на результаты проводимых измерений столь же существенны, как, например, вариации твёрдости материала на результаты контактных измерений. В любом случае, можно сделать вывод, что текущее состояние принимаемого на обоих средствах измерений программно-математического аппарата не позволяет применять данные средства измерений для контроля в полностью автоматическом режиме измерений. При этом полученные результаты не исключают полностью пути возможного применения подобных систем в системах промышленной автоматизации контроля готовых изделий, однако для их реализации необходима разработка нового методического подхода и программного обеспечения для обработки результатов измерений.

### **Литература**

1. Arthur McClelland, Max Mankin, Optical Measurements for Scientists and Engineers// Cambridge University Press. – 2018. – 301 p.
2. Richard Leach, Optical Measurement of Surface Topography// Springer Berlin Heidelberg. – 2011. – 323 p.
3. ГОСТ Р ИСО 10360-1-2017. «Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин»// М: Стандартинформ – 2018, 28 с.

# МЕТРОЛОГИЯ ОДНОЧАСТОТНЫХ ЛАЗЕРОВ – ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

**Александр Валерьевич Козлов**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Солнечногорск, р. п. Менделеево, Российская Федерация  
89536162187, AlexKozlovV@yandex.ru

## **Аннотация**

*При измерении фазовых шумов узкополосных одночастотных лазеров с применением гетеродина (в том числе и самогетеродина) на больших отстройках можно наблюдать выход величины фазового шума на постоянный уровень. Точного ответа обусловлен ли наблюдаемый выход на постоянную величину характеристиками тестируемого лазера или же определяется применяемой методикой измерений нет. Во втором случае это будет означать, что существует некоторый фактор, ограничивающий минимально измеримый фазовый шум для данного исследуемого лазера в данной измерительной системе. В некоторых статьях упоминают, что такое ограничение может быть связано с относительным шумом интенсивности (RIN – Relative Intensity Noise). Можно также назвать ещё несколько факторов, которые, возможно, приводят к ограничению значения минимально измеримого фазового шума: собственные шумы измерительного прибора (анализатор спектра, анализатор фазового шума), амплитудный шум радиочастотного сигнала биений (исследуемого лазера со своим излучением или с излучением лазера гетеродина), дробовой шум и относительным шумом интенсивности. В данной работе я проведу экспериментальное исследование и представлю объяснение причины появления ограничения минимально измеримого фазового шума.*

## **Annotation**

*Measuring phase noise of narrowband single-frequency lasers using heterodyning (including self-heterodyning) at large detunings, one can observe a constant level output. There is no exact answer whether the constant level output is due to the characteristics of the laser under test or is determined by the measurement technique. In the second case it would mean that there is some factor limiting the minimum measurable phase noise for a given laser under test in a given measurement system. Some articles mention that this limitation may be related to the Relative Intensity Noise (RIN). There are also several other possible factors that limit the minimum measurable phase noise: the intrinsic noise of the measuring instrument (spectrum analyzer, phase noise analyzer), the amplitude noise of the RF beat signal (of the laser under study with its own radiation or with the radiation of the heterodyne laser), shot noise, and RIN. In this paper, I will perform an experimental study and present an explanation of the reason for the appearance of the minimum measurable phase noise limitation.*

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

Одночастотные узкополосные лазеры используются в стандартах частоты, сенсорах, когерентной связи, разделении изотопов, квантовых компьютерах и др. Одной из важнейших характеристик одночастотных лазеров является его фазовый шум. При измерении фазовых шумов узкополосных одночастотных лазеров с применением гетеродина (в том числе самогетеродина) на больших отстройках можно наблюдать выход на постоянный уровень. Точного ответа обусловлен ли выход на постоянную величину характеристиками тестируемого лазера или же определяется методикой измерений нет. Таким образом, на данный момент нет точного объяснения этому эффекту нет и гарантировать характеристики фазового шума узкополосных одночастотных лазеров невозможно.

## **Цель работы**

Объяснить наблюдение постоянного уровня фазового шума лазера на больших отстройках.

## **Научная новизна и практическая (прикладная) значимость**

Впервые дано внятное объяснение механизма выхода на постоянный уровень фазового шума лазера при гетеродинных измерениях. Преодолеть упомянутый предел измерения фазового шума можно увеличением сигнала биений или уменьшением постоянной составляющей мощности, попадающей на фотоприёмник, а также продемонстрированным методом компенсации высокочастотного шума постоянной составляющей сигнала биений.

### Задачи работы

Проанализировать факторы, способные являться причиной ограничения измерения фазового шума. Спланировать и провести эксперимент, по результатам которого с высокой достоверностью можно будет судить о природе ограничивающего фактора.

### Суть работы

Можно назвать несколько возможных факторов, ограничивающих минимально измеримый фазовый шум: собственные шумы измерительного прибора (анализатор спектра, анализатор фазового шума), амплитудный шум радиочастотного сигнала биений (исследуемого лазера со своим излучением или с излучением лазера гетеродина), дробовой шум и относительные шумы интенсивности (RIN – Relative Intensity Noise). В данной работе мы проведём экспериментальное исследование и представим объяснение причины появления ограничения минимально измеримого фазового шума.

Для эксперимента мы использовали схему для оптического гетеродинирования (рис. 1) однако исключили выходной поляризационно-зависимый изолятор для того, чтобы с помощью контроллеров поляризации настраивать уровень сигнала биений не зависимо от мощности, падающей на фотоприёмник. В качестве исследуемых лазеров использовались 2 NKT Koheras BASIK.

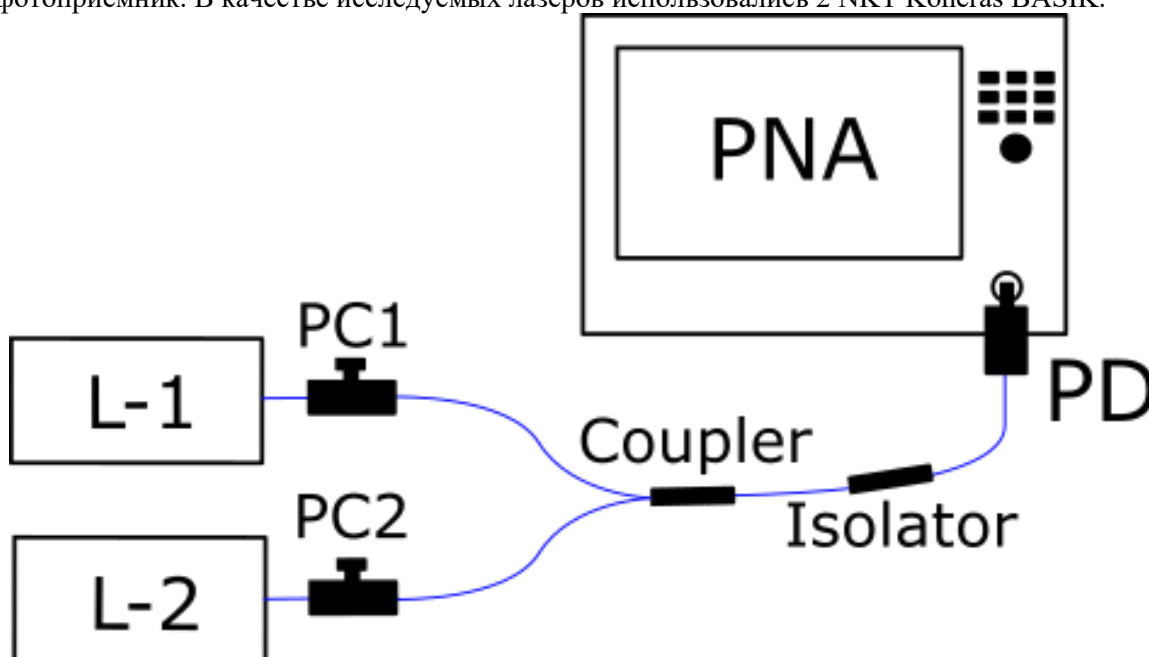


Рис. 1. Схема оптического гетеродинирования: L – 1,2 – лазеры, PC1,2 – контроллеры поляризации, PD – фотоприёмник, PNA – анализатор фазового шума

Мы получили сигнал биений на частоте около 4 ГГц. В качестве измерительного прибора использовался анализатор фазовых шумов R&S FSWP8, который сочетает в себе функции анализатора фазовых шумов и анализатора спектра. Для измерений в режиме анализатора фазовых шумов и анализатора спектра смена входа не требуется, таким образом фотоприёмник после подключения никуда не переключается. После подключения фотоприёмника и подачи сигнала в режиме анализатора спектра проведено измерение уровня сигнала на отстройке 6 ГГц, при RBW 10 МГц. Уровень составил -77 дБм. Таким образом с учётом RBW уровень сигнала составляет -147 дБм. Измеренный сигнал является высокочастотной составляющей постоянного сигнала, падающего на фотоприёмник. Из такого сигнала проводят измерение RIN, вычитая из него мощность постоянного сигнала в дБм, поэтому далее мы будем ассоциировать упомянутый сигнал -147 дБм с RIN и амплитудными флуктуациями постоянного сигнала, падающего на фотоприёмник. Стоит отметить, что на больших отстройках RIN (более 10 МГц, исключая пик релаксационных колебаний для полупроводниковых лазеров) представляет из себя постоянный уровень. Далее проводились измерения амплитудных и фазовых шумов сигнала биений при различных уровнях сигналов биений от ~2 дБм до ~-30 дБм. Результаты измерений представлены на рис. 2 (а, б).

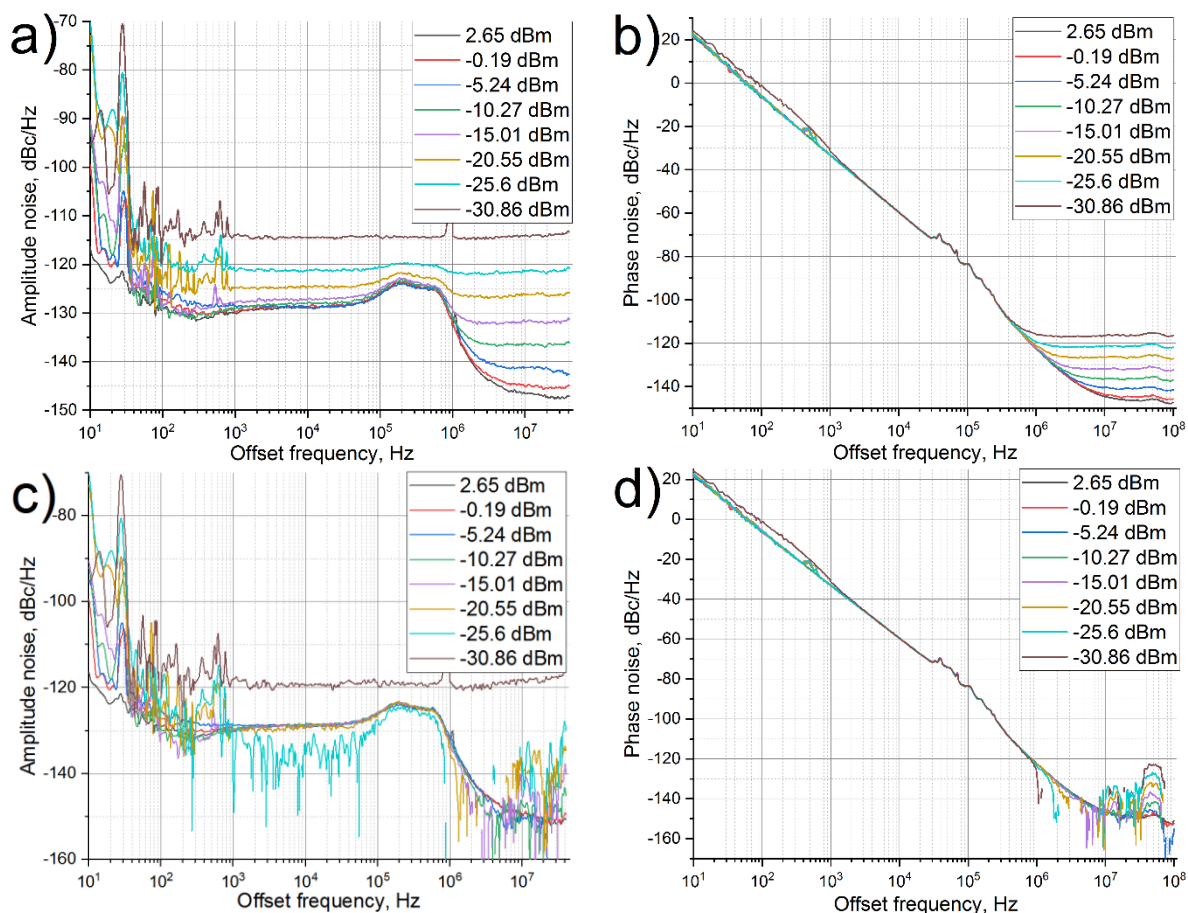


Рис. 2. Результаты измерений амплитудного и фазового шума сигнала биений при различных уровнях мощности сигнала биений (а, б). Результаты компенсации влияния высокочастотной составляющей постоянного сигнала (с, d)

Видно, что при уменьшении уровня сигнала повышается минимально измеримый уровень фазового и амплитудного шума. Также видно, что уровни амплитудного и фазового шумов совпадают на больших отстройках. Два этих факта показывают, что минимально измеримый уровень определяется не собственными шумами измерителя и не амплитудными шумами сигнала биений. Для того, чтобы показать, что ограничением для минимально измеримого уровня фазового шума выступает высокочастотный шум постоянного уровня сигнала мы рассчитали его вклад для каждого из уровней сигнала биений, вычитая его в дБм, таким образом, например, для сигнала -30 дБм его вклад в шумы сигнала биений в соответствии со старым определением (до IEEE 1999) составляет -117 дБн. Далее мы перевели фазовые и амплитудные шумы в линейный формат и вычли из него рассчитанный вклад высокочастотного шума постоянного уровня сигнала в линейном формате для соответствующего уровня сигнала биений. Результаты расчётов представлены на рис. 1. (в, г). Видно, что получены идентичные графики амплитудных и фазовых шумов сигнала биений.

### Полученные результаты

Показано, что высокочастотные составляющие шума постоянного сигнала, падающего на фотоприёмник, являются причиной ограничения минимально измеряемого уровня фазового шума лазера. Упомянутый дробовой шум является частным случаем описанного ограничения при очень маленьких постоянных сигналах. Вычитая описанным образом высокочастотные составляющие шума постоянного сигнала можно добиться увеличения диапазона измеряемых значений фазового шума.

В заключении, показано, что высокочастотная составляющая шумов постоянного сигнала (ассоциируемый с RIN) является фактором, ограничивающим минимально измеримый фазовый шум лазеров в гетеродинных схемах. Важно отметить, что указанный фактор влияет на все сигналы в системах, где постоянный сигнал регистрируется фотоприёмником.



# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ КАЛИБРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В РОССИИ

Любовь Александровна Кондратенко

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Краснодарском крае и Республике Адыгея»  
(ФБУ «Краснодарский ЦСМ»)  
Краснодар, Российская Федерация  
kondratenko.la@krasnodarcsm.ru

## **Аннотация**

*Статья посвящена перспективам развития импортозамещения прецизионных калибраторов напряжения и силы постоянного тока в России, подчеркивает его критическую роль в повышении самодостаточности отечественной промышленности на фоне глобальных вызовов и санкций. В ней рассматривается стратегическая важность развития собственных производственных возможностей в области высокоточного измерительного оборудования для обеспечения технологической независимости России. Обсуждаются проблемы, возникающие из-за зависимости от импортных компонентов, что мешает развитию отечественного производства. Кроме того, представлен сравнительный анализ технических характеристик российских и зарубежных калибраторов, показывающий потенциальные направления для замещения импортного оборудования отечественными продуктами и возможность экспорта российских калибраторов на основе их конкурентных преимуществ. В статье делается вывод о широких перспективах импортозамещения в данной отрасли для развития отечественной промышленности, повышения ее конкурентоспособности и технологической независимости, подчеркивая необходимость значительных инвестиций и скоординированных усилий государства, научного сообщества и бизнеса.*

**Ключевые слова:** *Прецизионное измерительное оборудование, калибраторы напряжения и тока, технологическая независимость, отечественные производственные возможности, высокоточное оборудование, Российские калибраторы, импортозамещение*

## **Annotation**

*This article is dedicated to the prospects of developing import substitution for precision voltage and direct current calibrators in Russia, emphasizing its critical role in enhancing the self-sufficiency of the domestic industry amid global challenges and sanctions. It discusses the strategic importance of developing domestic production capabilities in the field of high-precision measuring equipment to ensure Russia's technological independence. The article addresses the problems arising from the dependence on imported components, which hinder the development of domestic production. Additionally, a comparative analysis of the technical characteristics of Russian and foreign calibrators is presented, showing potential directions for replacing imported equipment with domestic products and the possibility of exporting Russian calibrators based on their competitive advantages. The article concludes with the broad prospects of import substitution in this sector for the development of the domestic industry, increasing its competitiveness and technological independence, highlighting the need for significant investments and coordinated efforts by the state, scientific community, and business.*

**Key words:** *Precision measuring equipment, voltage and current calibrators, technological independence, domestic production capabilities, high-precision equipment, Russian calibrators, import substitution*

Импортозамещение прецизионных калибраторов напряжения и силы постоянного тока в России представляет собой важное направление в стратегии развития отечественной промышленности и научно-технической сферы. В условиях глобальных вызовов и ограничений, введённых против России, развитие собственных производственных мощностей в сфере высокоточного измерительного оборудования становится критически важным для обеспечения технологической независимости страны. В приказе Минпромторга России от 01.04.2022 №1189 «Об утверждении Плана мероприятий по

импортозамещению измерительного, в том числе метрологического, оборудования на период до 2024 года» упоминалось об увеличении доли отечественных калибраторов с 52 % до 55 % [1].

Прецизионные калибраторы напряжения и силы постоянного тока являются ключевыми элементами в лабораториях метрологии, исследовательских центрах, в производственных процессах, где требуется высокая точность измерений. Эти устройства используются для калибровки и проверки точности различного измерительного оборудования, обеспечивая его соответствие международным стандартам и нормам. Россия имеет сильные научные школы и разработки в области метрологии и прецизионных технологий, однако до недавнего времени значительная часть компонентов и технологий для производства калибраторов была зависима от импорта. Это создавало уязвимости в цепочках поставок и ограничивало возможности для развития отечественного производства в этом секторе.

В таблице 1 представлены данные о количестве выпущенных калибраторов Российского производства с 2021 по 2023 года.

*Таблица 1- Количество выпущенных отечественных калибраторов с 2021 по 2023 года [2].*

Тип	2023	2022	2021
н4-57	11	0	0
н4-56	15	11	10
н4-22	4	6	2
н4-17	11	28	20
н4-12	2	15	11
в2-43	Не производится		
н4-7	Не производится		

В процессе реализации данной программы мы видим, что темпы производства отечественных прецизионных калибраторов растут, появляются новые компании, разрабатываются новые калибраторы.

Только в некоторых случаях производства не могут набрать нужных мощностей из-за нехватки качественных компонентов, это создает уязвимости в цепочках поставок и зависимость от внешних факторов. Для более успешного импортозамещения в сфере производства прецизионных калибраторов необходима разработка и производство необходимых деталей. Важнейшим шагом является создание отечественных аналогов ключевых деталей, таких как микросхемы, прецизионные резисторы и источники опорного напряжения, что потребует значительных научно-исследовательских и конструкторских работ.

Большинство отечественных приборов не имеют аналогов в мире по своим техническим характеристикам, но некоторые функции прибора могут заменить импортные. Например, Н4-12 имеет возможность частично заменить такие средства измерения как Fluke 5502A, Fluke 5730A, Fluke 5700A [3].

*Таблица 2 – Сравнение технических характеристик калибраторов.*

	Fluke 5502 A	Н4-12	Fluke 5730A	Fluke 5700A
U-	0,0050 %	0,0012 %	0,0007 %	0,0007 %
U	0,0300 %	0,1200 %	0,2700 %	0,0075 %
I-	0,01 %	0,06 %	0,04 %	0,05 %
I	0,04 %	0,15 %	0,70 %	0,40 %

Для сравнения мы использовали максимальную погрешность, на каждом режиме измерения. По таблице видно, что все эти калибраторы являются достаточно точными, но каждый в определенной области. Полная взаимозаменяемость не может быть обеспечена, но в определенных сферах, вполне возможна замена импортного оборудования на отечественное. Кроме этого, если увеличить объем производства, то вполне возможно экспортировать данную продукцию на иностранные рынки, так как некоторые характеристики являются более точными, чем у аналогов.

Также приборы на российском рынке являются взаимозаменяемыми, что показывает существование конкуренции на данном рынке, потребитель может сравнить и выбрать подходящий прибор, таким образом Н4-57 может заменить Н4-17, Н4-7, Н4-6.

На Российском рынке прецизионных калибраторов напряжения постоянного и переменного тока ведутся разработки по модернизации и созданию новых, более точных и усовершенствованных



калибраторов, так, например, компания «Ритм» модернизирует калибраторы Н4-12, создает замену ОКР «НАВАХА» К2-102.

Импортозамещение в области прецизионных калибраторов напряжения и силы постоянного тока открывает большие перспективы для развития отечественной промышленности, повышения её конкурентоспособности, создания новых рабочих мест и укрепления технологической независимости страны. Однако перед этим стоят серьёзные задачи, связанные с необходимостью значительных инвестиций в науку и производство, преодолением технологического барьера, подготовкой квалифицированных кадров. Успех в реализации стратегии импортозамещения потребует скоординированных усилий государства, научного сообщества и бизнеса, а также создания благоприятных условий для инноваций и внедрения новых технологий.

#### **Литература**

1. Приказ Минпромторга России от 01.04.2022 N 1189 (ред. от 09.08.2022) «Об утверждении Плана мероприятий по импортозамещению измерительного, в том числе метрологического, оборудования на период до 2024 года».

2. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. [Электронный ресурс] URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry> (дата обращения 01.03.2023).

3. Официальный сайт Акционерное общество «Научно-производственная компания «РИТМ» [Электронный ресурс] URL : <https://ритм-краснодар.рф/> (дата обращения 01.03.2023).

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРИТРУБНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ И НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ

Денис Сергеевич Крайнов

ООО «НИИ Транснефть»  
Москва, Российская Федерация  
(495) 950-82-95 доб. 22-74, (495) 950-82-97, KraynovDS@niitnn.transneft.ru

## **Аннотация**

Целью работы является установление общих правил метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования участков магистрального трубопровода для транспортировки нефти и нефтепродуктов. Актуальность работы определяется большой протяженностью действующих и проектируемых магистральных трубопроводов, в том числе между странами Евразийского Экономического Союза.

Обеспечение безопасности магистральных трубопроводов зависит от достоверности результатов внутритрубного диагностирования. Результаты измерений внутритрубных инспекционных приборов используются в расчетах на прочность и долговечность трубопроводов, принятии решений о сроках устранения выявленных дефектов.

Проведенная участником конкурса методологическая работа по метрологическому обеспечению внутритрубного диагностирования магистральных трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов включает в себя разработку типовых программ и методик испытаний, методик измерений, осуществляемых внутритрубными инспекционными приборами, национального стандарта в области метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования.

Проведенная участником конкурса техническая работа направлена на создание эталонной базы для испытаний, поверки и калибровки внутритрубных инспекционных приборов, на разработку вспомогательных устройств для проведения их испытаний, на доработку их программного обеспечения.

В рамках работы был впервые разработан и изготовлен Комплект мер моделей дефектов, включающий искусственные дефекты с нормированными метрологическими характеристиками. Впервые проведена метрологическая экспертиза методики интерпретации дефектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в государственном научном метрологическом институте.

В заключении работы подготовлены предложения о развитии метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования.

## **Annotation**

The purpose of the work is to establish general rules for metrological support of in-line inspection pipelines for the transportation of oil and petroleum products. The relevance of the work is determined by the large length of existing and projected pipelines, including those between the countries of the Eurasian Economic Union.

Ensuring the safety of pipelines depends on the reliability of the results of in-line inspection. The results of measurements of in-line inspection devices are used in calculations for the strength and durability of pipelines, making decisions on the timing of elimination of identified defects.

The methodological work carried out by the tender participant on metrological support of in-line inspection of pipelines for the transportation of oil and petroleum products includes the development of test programs and methods, measurement methods carried out by in-line inspection devices, and a national standard by metrological support of in-line inspection.

The technical work carried out by the participant of the competition is aimed at creating a standard for testing, verification and calibration of in-line inspection devices, at the development of auxiliary devices for their testing, and at the revision of their software.

As part of the work a set of standards with defect models was developed and manufactured, including artificial defects with standardized metrological characteristics. A metrological expertise of the method for interpreting defects of oil pipelines and petroleum products pipelines was carried out at the State Scientific Metrology Institute.

At the end of the work, proposals were prepared for the development of metrological support for in-line inspection.

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

Проблема обеспечения промышленной и экологической безопасности трубопроводного транспорта углеводородов всегда была и остается актуальной. Трубопроводы работают под большим давлением и при нарушении их герметичности, возможен значительный по объему выброс продуктов транспортировки. Это не только приводит к материальному ущербу предприятий в связи с потерями продукта перекачки, затратами на ликвидацию аварий, штрафными санкциями, но и причинению вреда окружающей среде, созданию предпосылок для возникновения чрезвычайных экологических ситуаций техногенного характера.

Обеспечение безопасности магистральных трубопроводов зависит от достоверности результатов внутритрубного диагностирования. Результаты измерений внутритрубных инспекционных приборов используются в расчетах на прочность и долговечность трубопроводов, принятии решений о сроках устранения выявленных дефектов.

Необходимость обеспечения безопасности трубопроводного транспорта углеводородов носит особенно острый характер. Это связано в первую очередь с большой протяженностью действующих и проектируемых магистральных трубопроводов, а также с ростом объемов перекачки нефти нефтепродуктов между странами ЕАЭС.

### **Цель работы**

Целью работы является формирование и реализация основных положений метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования магистральных трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов.

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

Магистральные трубопроводы для транспорта нефти и нефтепродуктов в связи с эксплуатацией в агрессивной среде, ошибками при укладке трубопровода, подвижностью почвы, внешнего воздействия, в том числе криминогенного характера, могут иметь дефекты различного вида и степени опасности.

В целях эффективной оценки остаточного ресурса трубопроводов и степени опасности отдельных дефектов выполняют внутритрубное диагностирование с использованием внутритрубных инспекционных приборов (далее – ВИП).

По состоянию на 2017 год метрологические характеристики ВИП не были нормированы, соответствие элементов метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования установленным требованиям к показателям точности измерений не было подтверждено. Имелись отдельные приказы Росстандарта о признании нескольких ВИП средствами измерений (далее – СИ), а в целях опробования ВИП применялись трубные катушки с естественными дефектами, вырезанные с магистральных трубопроводов, без нормированных метрологических характеристик.

В целях обеспечения достоверности измерений и прослеживаемости измерений, осуществляемых ВИП, при внутритрубном диагностировании нефтепроводов и нефтепродуктопроводов к Государственному первичному эталону единицы длины участником конкурса проведена методологическая и последующая техническая работа:

- разработан стандарт ГОСТ Р 59108-2020 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование. Метрологическое обеспечение внутритрубного диагностирования»;
- разработаны методики измерений в области внутритрубных измерений при диагностике нефтепроводов и нефтепродуктопроводов;
- разработаны типовые программы и методики испытаний для оценки метрологических характеристик ВИП;
- разработаны обязательные метрологические требования к измерениям, осуществляемым ВИП;
- разработаны вспомогательные устройства для проведения испытаний в целях утверждения типа ВИП;
- принято участие в доработке программного обеспечения ВИП для возможности проведения испытаний в целях утверждения типа;
- организовано проведение метрологической экспертизы методики интерпретации дефектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в государственном научном метрологическом институте (далее – ГНМИ) по направлению деятельности;
- утверждено 20 типов средств измерений ВИП: ультразвуковых дефектоскопов, профилемеров многоканальных, магнитных дефектоскопов, комбинированных дефектоскопов;
- изготовлены и прошли испытания в целях утверждения типа Комплект мер моделей дефектов 00-КМД.00-00.000 и Комплект мер моделей дефектов КМ0001, являющиеся эталонной базой для ВИП.

Результаты работы применяются при проведении внутритрубного диагностирования магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

#### **Задачи работы**

Комплекс работ по метрологическому обеспечению измерений при проведении внутритрубного диагностирования магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов проводится для решения следующих основных задач:

- обеспечения достоверности измерений и прослеживаемости измерений при внутритрубном диагностировании нефтепроводов и нефтепродуктопроводов к ГЭТ 1-2022 «Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени»;
- установления единых требований к измерениям, осуществляемых ВИП в Российской Федерации.

#### **Суть работы**

Суть работы заключается в создании участником конкурса системного подхода к процессам метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов:

- 1) установление показателей точности измерений;
- 2) выбор элементов метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования;
- 3) нормирование метрологических характеристик ВИП;
- 4) подтверждение соответствия элементов метрологического обеспечения внутритрубного диагностирования установленным требованиям к показателям точности измерений, в том числе:
  - аттестация методик измерений;
  - проведение метрологической экспертизы технической документации на ВИП, меры (эталонные) и контрольные образцы;
  - проведение испытаний ВИП и мер (эталонных) в целях утверждения типа СИ;
  - проведение поверки ВИП и мер (эталонных);
  - калибровка контрольных образцов.

В целях выполнения работы проведены научно-исследовательские, технологические и опытно-конструкторские работы.

Для установления единого подхода к метрологическому обеспечению измерений, осуществляемых ВИП, в рамках работы технического комитета ТК023 «Нефтяная и газовая промышленность» разработан и утвержден стандарт ГОСТ Р 59108-2020 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование. Метрологическое обеспечение внутритрубного диагностирования», который также прошел согласование в техническом комитете ТК 371 «Неразрушающий контроль».

В целях методологической подготовки к испытаниям в целях утверждения типа ВИП разработаны типовые программы и методики испытаний для оценки метрологических характеристик ВИП, которые в дальнейшем использовались при испытаниях в целях утверждения типа ВИП для разработки программ испытаний и методик поверки.

Техническая подготовка к испытаниям в целях утверждения типа ВИП заключалась в разработке и изготовлении вспомогательных устройств и доработке программного обеспечения:

- устройство для фиксации эталонных мер толщины и ультразвуковых датчиков с нормированным зазором и заполнением зазора рабочей жидкостью;
- устройство для фиксации измерительных лопаток профилемера и мер длины концевых;
- программное обеспечение электронного блока и терминальной программы ультразвуковых ВИП с целью отображения амплитудно-временных характеристик эхо-сигналов.

Параметры дефектов определяются по результатам интерпретации по методике интерпретации результатов измерений, осуществляемых ВИП. Впервые ГНМИ проведена метрологическая экспертиза методики интерпретации дефектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов

Для параметров дефектов, измерения которых осуществляются косвенными методами участником конкурса разработаны методики измерений, осуществляемых ВИП. Данные методики успешно прошли аттестацию в ГНМИ по направлению деятельности и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений:

- методика измерений диаметра проходного сечения трубы;
- методика измерений глубины дефектов внешнего типа по положению в стенке трубы;
- методика измерений длины дефекта.

При проведении испытаний в целях утверждения типа и последующей поверке для всех ВИП требуется проведение опробования на испытательном полигоне. Участником конкурса предложено в целях опробования использовать не естественные дефекты, а изготовить эталонную базу с

искусственными дефектами с нормируемыми характеристиками. Участником конкурса определены перечень и размеры дефектов, а силами АО «Транснефть - Диаскан» изготовлен Комплект мер моделей дефектов 00-КМД.00-00.000. Комплект состоит из 18 мер и включает 690 дефектов 12 типов (потеря металла, риска, трещина, вмятина и др.), нанесенных на трубные секции с толщиной стенки от 4 до 25 мм, диаметром от 159 до 1220 мм. Каждая мера дефектов состоит из 3 катушек различной толщины и фланцев. Комплект мер прошел испытания в целях утверждения типа.

Участником конкурса получен патент RU 2 721 162 C1 на изобретение «Стенд для испытаний, поверки и калибровки внутритрубных инспекционных приборов».

В целях осуществления государственного надзора разработанные участником конкурса единые обязательные метрологические требования к измерениям, осуществляемым ВИП, утверждены приказом Ростехнадзора № 65 от 21.02.2024.

### **Полученные результаты**

Проведенные участником конкурса мероприятия позволили по состоянию на 2024 г. утвердить 20 типов средств измерений ВИП: ультразвуковых дефектоскопов, профиломеров многоканальных, магнитных дефектоскопов, комбинированных дефектоскопов.

Созданная участником конкурса эталонная база из 18 мер дефектов, включающих 690 дефектов 12 типов, а также нормативная база, включающая ГОСТ Р 59108-2020 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование. Метрологическое обеспечение внутритрубного диагностирования», методики измерений, осуществляемых ВИП, легли в основу метрологического обеспечения измерений при проведении внутритрубного диагностирования магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

Реализация задач по метрологическому обеспечению измерений при проведении внутритрубного диагностирования магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов не только окажет положительное воздействие на безопасность трубопроводов, но и позволит сократить затраты за счет принятия обоснованных решений о сроках устранения выявленных дефектов на конкретных участках трубопроводов.

В настоящее время участником конкурса продолжают работы по совершенствованию эталонной базы. Проведена работа по исследованию возможности создания методами аддитивных технологий искусственных дефектов с формой, идентичной естественным дефектам – трещинам, включениям.

Запланированы работы по совершенствованию подхода к поверке ВИП – оптимизации длительности выполнения и процедур поверки.

Также запланирована реализация задачи по определению протяженности магистральных трубопроводов с применением ВИП, где предлагается нормировать метрологические характеристики одометров ВИП, разработать соответствующие методики измерений.

Проделанная работа способствовала подписанию соглашения о сотрудничестве в области стандартизации и оценки соответствия внутритрубных инспекционных приборов, применяемых для диагностирования магистральных трубопроводов между Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии и ПАО «Транснефть», которое состоялось 26 ноября 2022 г.

### **Литература**

[1] Идрисов А.М., Аралов О.В., Воробьев С.И., Крайнов Д.С. Описание изобретения к патенту RU (11) 2 721 162 (13) C1 «Стенд для испытаний, поверки и калибровки внутритрубных инспекционных приборов», 2020.

# АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ВИСКОЗИМЕТРОВ КАПИЛЛЯРНЫХ СТЕКЛЯННЫХ

Кристина Александровна 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  
+7 986 7590731, Kulygina@nncsm.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  
+7 921 9803554, A.A.Tsurko@vniim.ru

## Аннотация

*В работе приведены результаты исследований показателей метрологической надежности вискозиметров капиллярных стеклянных, предназначенных для измерений кинематической вязкости жидкости. Показано, что метрологическая надежность средств измерений вязкости характеризуется такими показателями, как вероятность безотказной работы, наработка на отказ и обеспечивается высокой стабильностью коэффициента преобразования вискозиметров. В рамках работы стабильность коэффициента преобразования вискозиметра не подтвердилась. В связи с этим, было предложено уменьшить интервал между поверками для данных типов средств измерений с четырех до двух лет. Рассмотрена действующая методика поверки для вискозиметров капиллярных стеклянных МИ 1748-87 «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Методика поверки», не включающая в себя контроль всех метрологических характеристик, предложен вариант ее актуализации. Проект типовой методики поверки будет опробован на 25 утвержденных типах вискозиметров и при условии получения положительных результатов представлен на рассмотрение Научно-технической комиссии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии для его утверждения, введения в действие и распространения.*

**Ключевые слова:** вискозиметр капиллярный стеклянный, кинематическая вязкость, коэффициент преобразования, метрологические характеристики, надежность

## Annotation

*The paper presents the results of studies of metrological reliability indicators of capillary glass viscometers intended for measuring the kinematic viscosity of a liquid. It is shown that the metrological reliability of viscosity measuring instruments is characterized by such indicators as the probability of failure-free operation, time between failures and is ensured by the high stability of the viscometers conversion coefficient. During the work, the stability of the viscometer conversion coefficient was not confirmed. In this regard, it was proposed to reduce the interval between verifications for these types of measuring instruments from four to two years. The current verification method for capillary glass viscometers MI 1748-87 "Glass capillary viscometers" is considered. Verification methodology", which does not include control of all metrological characteristics, a variant of its updating is proposed. The draft standard verification methodology will be tested on 25 approved types of viscometers and, subject to positive results, submitted to the Scientific and Technical Commission of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology for its approval, implementation and dissemination.*

*At the end of the work, proposals were prepared for the development of metrological support for in-line inspection.*

**Key words:** glass capillary viscometer, kinematic viscosity, conversion factor, metrological characteristics, dependability.

## Введение

Средства измерений (СИ) вязкости – неотъемлемая часть на нефтеперерабатывающих [1-2] и химических производствах, других промышленных предприятиях и в аналитических лабораториях [3-4].

К таким средствам измерений относятся вискозиметры капиллярные стеклянные (далее – вискозиметры), которые позволяют определить значение кинематической вязкости для широкого спектра прозрачных и непрозрачных жидкостей ( $0,6 \dots 10^5 \text{ мм}^2/\text{с}$ ). Показателем метрологической надежности вискозиметра является точность и стабильность значений коэффициента преобразования (КП) – постоянной вискозиметра. Значение КП зависит от диаметра измерительного капилляра и определяется экспериментально при первичной поверке.

Стабильность КП уже оценивалась в работе [5] и показала, что у около 47 % вискозиметров, представляемых на поверку, полученное значение КП выходит за установленные пределы допускаемой относительной погрешности. В соответствии с методикой поверки [6] если КП выходит за пределы допускаемых значений, то его переопределяют. Кроме того, ранее интервал между поверками (МПИ) на данный тип СИ составлял четыре года, в период которого возникали метрологические отказы.

**Целью** данной работы является проведение анализа показателей метрологической надежности вискозиметров капиллярных стеклянных, а также определение действий, способствующих снижению вероятности метрологических отказов для данных средств измерений.

Основными **задачами** данной работы являлись оценка стабильности метрологических характеристик вискозиметров, вероятности безотказной работы, наработки на отказ, подготовка проекта актуализированной типовой методики поверки.

### **Метрологическая надежность**

В соответствии с РМГ 29-2013 [7] метрологическая надежность СИ – это надежность средства измерений в части сохранения его метрологической исправности (термин 7.48). Под метрологической исправностью принимают состояние средства измерений, при котором все его нормируемые метрологические характеристики соответствуют установленным требованиям (термин 7.47). Таким образом, метрологическая надежность отражает способность СИ сохранять установленное (нормируемое) значение метрологических характеристик в течении заданного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации. К показателям метрологической надежности относятся: вероятность работы без метрологических отказов, наработка на отказ и стабильность метрологических характеристик [8].

Для оценки метрологической надежности проведен анализ данных о поверках более 1350 вискозиметров за 10 лет, проведенных отделом физико-химических и оптико-физических измерений и испытаний ФБУ «Нижегородский ЦСМ». Рассматриваемые вискозиметры выпущены в период с 1966 по 2020 гг. Анализ данных показал, что чаще всего предприятия г. Нижний Новгород и Нижегородской области используют в работе вискозиметры типов: ВПЖ-2, ВПЖ-4, из которых можно выделить три основных производителя, которые и рассматриваются в данной работе: производитель №1 с производством в Российской Федерации, производитель №2 и производитель №3 с производством в Китае.

Принцип действия вискозиметров основан на измерении времени истечения определенного объема исследуемой жидкости через капилляр вискозиметра под действием собственного веса и постоянном контроле установившегося значения температуры. За время истечения принимают время перемещения мениска жидкости между двумя метками. Вискозиметры изготавливаются из химически стойкого лабораторного стекла.



Рис. 1 – Общий вид вискозиметра капиллярного стеклянного ВПЖ-4

К основным метрологическим характеристикам вискозиметра относятся: диаметр капилляра (мм), номинальное значение постоянной вискозиметра ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ), относительное отклонение значения постоянной от номинального значения (%), диапазон измерений вязкости ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ) и пределы допускаемой относительной погрешности вискозиметра (%). Для вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4 (производители №1, №2, №3) относительное отклонение значения постоянной от номинального значения не должно превышать  $\pm 25\%$ , а допускаемая относительная погрешность должна находиться в пределах  $\pm 0,3\%$  или  $\pm 0,2\%$  (для вискозиметров типа ВПЖ-2 с диаметрами капилляра 0,73, 0,99, 1,31, 1,77, производителей №1 и №2).

Анализ номинального значения КП показал, что значения КП вискозиметров разных инвентарных номеров одного диаметра соответствуют нормальному закону распределения. Но 3,7 % исследуемых вискозиметров находятся за пределами допустимого относительного отклонения значения постоянной от номинального значения.

При более детальном рассмотрении гистограммы, представленной на рисунке 2, установлено, что для вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4 с диаметром капилляра 0,73 и 0,82 мм, соответственно, номинальное значение КП равняется 0,03 мм<sup>2</sup>/с. Следовательно, допустимый диапазон значений будет составлять от 0,0225 до 0,0375 мм<sup>2</sup>/с. Для исследуемых вискозиметров ВПЖ-4 1,2 % экземпляров находятся в состоянии метрологического отказа. При этом, действующей методикой поверки [6] не предусмотрено определение отклонения рассчитанной постоянной от номинального значения.

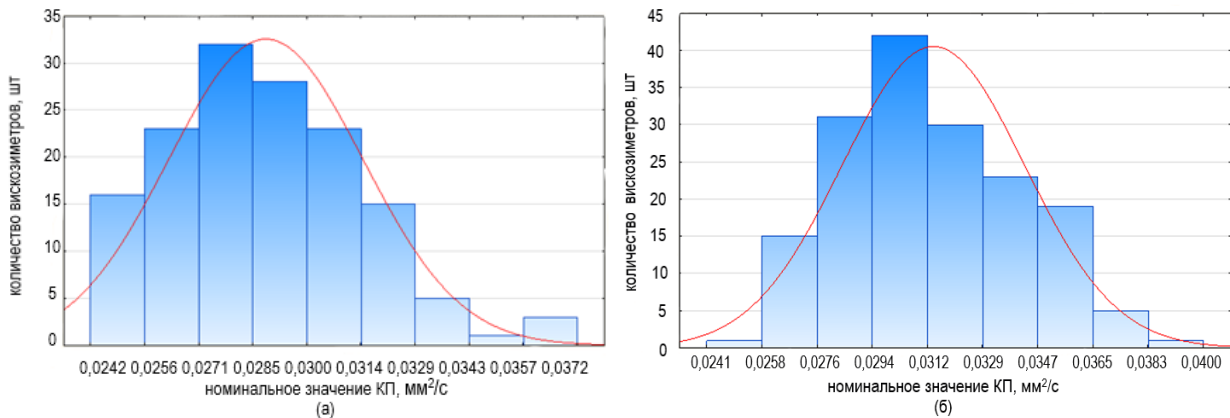


Рис. 2 – Гистограммы проверки соответствия нормальному закону распределения в программе STATISTICA: а – ВПЖ-2 диаметр капилляра 0,73 мм, б – ВПЖ-4 диаметр капилляра 0,82 мм

Анализ значений КП, полученных при поверке ( $KP_{\text{после}}$ ) и КП, установленных при предыдущих измерениях ( $KP_{\text{до}}$ ) показал, что вискозиметры производства ДГ сохраняют свою работоспособность по истечению срока службы (25 лет), а также показывают стабильность значений КП по сравнению с другими производителями (производитель №2, производитель №3). Для вискозиметров ВПЖ-2 с диаметром капилляра 0,99 мм и ВПЖ-4 с диаметром капилляра 0,82 мм зависимости  $KP_{\text{после}}/KP_{\text{до}}$  от времени эксплуатации вискозиметра представлены на рисунке 3. Превышение пределов допустимой относительной погрешности показали данные о поверках 24 % вискозиметров типа ВПЖ-2 и 40,2 % вискозиметров типа ВПЖ-4.

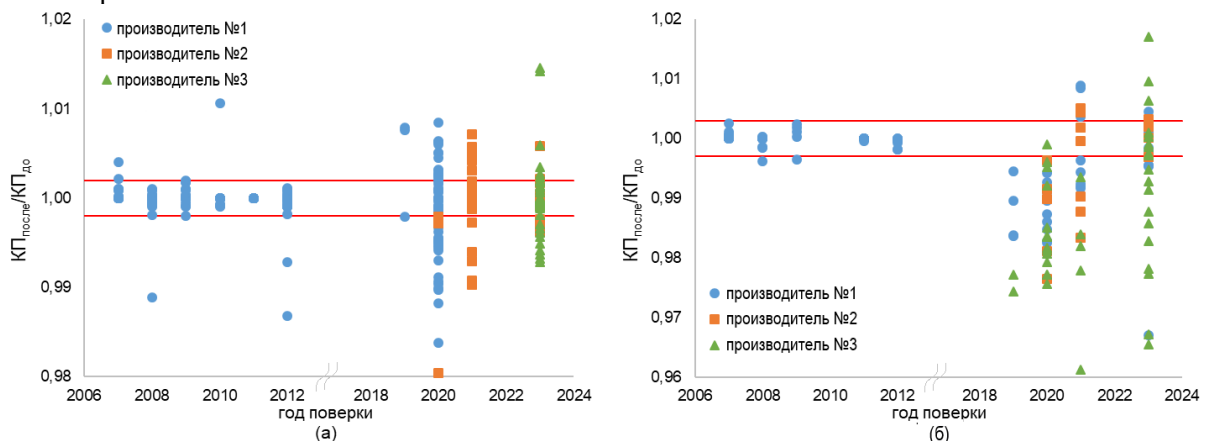


Рис. 3 – Зависимости отношения  $KP_{\text{после}}/KP_{\text{до}}$  относительно года поверки: а – ВПЖ-2 диаметр капилляра 0,73 мм, б – ВПЖ-4 диаметр капилляра 0,82 мм

При проведении анализа совокупности данных о результатах поверки вискозиметров рассматривались: год поверки, количество поверенных вискозиметров, количество вискозиметров в допуске и вероятность безотказной работы. На рисунке 4 приведены данные о совокупности результатов 1351 поверки вискозиметров за 10 лет.



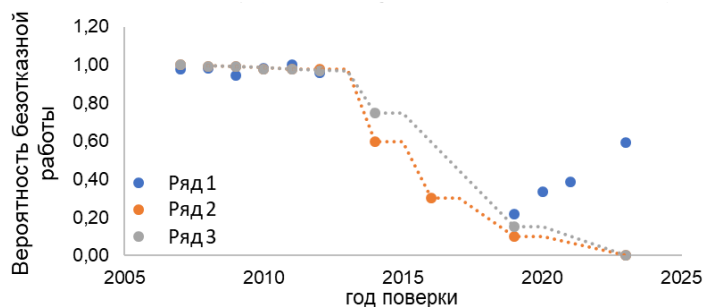


Рис. 4 – Данные по значениям вероятности безотказной работы  $R(t)$  вискозиметров (ряд 1) и описание их расчетными моделями Вейбула (ряд 2) [9] и моделью «гарантированной надежности» (ряд 3) [10]

Из рисунка 4 следует, что значение вероятности безотказной работы вискозиметров по имеющимся данным с 2019 года имеет значение  $R(t)$  не выше 0,6, что говорит о снижении качества изготовления новых вискозиметров (особенно производимых в Китае), а также не исключает их не надлежащую эксплуатацию, например, не своевременную промывку вискозиметра или использование во время промывки щелочных растворов.

На основе анализа данных о поверках и в целях совершенствования процедуры поверки вискозиметров капиллярных стеклянных разработан проект актуализированной типовой методики поверки, в которой упразднена выборочная поверка вискозиметров, предусмотрены оценка отклонения рассчитанной постоянной вискозиметра от номинального значения, а также подтверждение диапазона измерений вязкости.

#### Заключение

Показано, что метрологическая надёжность средств измерений вязкости характеризуется такими показателями, как «вероятность безотказной работы», «наработка на отказ», и обеспечивается высокой стабильностью коэффициента преобразования вискозиметров с капиллярами разного диаметра.

Метрологические характеристики для рассматриваемых вискозиметров имеют тенденцию изменяться с течением времени. Это может происходить из-за неправильной эксплуатации СИ, использования при изготовлении стекла ненадлежащего качества, и т.д. В связи с этим, Комиссией «Измерения физико-химического состава и свойств веществ» поддержано предложение об установлении единого интервала между поверками для вискозиметров капиллярных стеклянных, в том числе находящихся в эксплуатации, равного двум годам (протокол № 5 от 18.03.2024 г.).

Разработанный проект актуализированной типовой методики поверки МИ 1748-2024 «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Методика поверки» в настоящее время проходит опробование аккредитованными на право поверки юридическими лицами на всех 25 типах, на которые ее планируется распространить.

В целях дальнейшего развития работы предусмотрена разработка инструментальных решений, направленных на формирование единой базы данных о метрологической надежности вискозиметров различных типов. Подход к оценке метрологической надежности на примере вискозиметров может быть полезен и для СИ, применяемых в других видах измерений.

#### Литература

- [1] Development of compositional-based models for prediction of heavy crude oil viscosity: Application in reservoir simulations /Z. Liu [et al.] // Journal of Molecular Liquids. 2023. Vol. 389. P. 122918.
- [2] Barateiro C. E. R. B., Emerik R. C. S. Liquid hydrocarbon flow meters calibration with high flow and viscosity: Conceptual design of a new facility // Flow Measurement and Instrumentation. 2020. Vol. 73. P. 101749.
- [3] Functionality-driven food product formulation – An illustration on selecting sustainable ingredients building viscosity / A. Lie-Piang [et al.] // Food Research International. 2022. Vol. 152. P. 110889.
- [4] Blood viscosity and risk of cardiovascular events: the Edinburgh Artery Study / G. D. O. Lowe [et al.] // British Journal of Hematology. 1997. Vol. 96. P. 168–173.
- [5] Кондрашина К.А. Анализ стабильности характеристик капиллярных вискозиметров// Сборник тезисов VII межрегиональной конференции молодых специалистов ФБУ ЦСМ Приволжского и Уральского федеральных округов «Участие региональных центров в инновационной деятельности», 15-17 июня 2021 г. – Уфа: ФБУ «ЦСМ Республики Башкортостан», Башкирский филиал ФГАУ ДПО «АСМС» (учебная), ФГБОУ ВПО «УГАТУ», 2021. – С. 34 – 35.
- [6] МИ 1748-87 «Государственная система обеспечения единства измерений. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Методика поверки».

- [7] РМГ 29-2023. ГСОЕИ. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 83 с.
- [8] Сулаберидзе В. Ш., Неклюдова А. А., Метрологическая надежность средств измерений и оценка риска метрологического отказа // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2023, Том 29, № 4, с. 574-585.
- [9] ГОСТ Р 50779.27-2017 (МЭК 61649:2008) Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных. М., Стандартинформ, 2020.
- [10] Неклюдова А. А., Сулаберидзе В. Ш. Анализ показателей метрологической надёжности вискозиметров стеклянных капиллярных эталонных // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2024, № 1 (146), с. 38-56.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ УНИКАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Марина Михайловна Лекомцева, А.А. Попов

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Омской области»  
(ФБУ «Омский ЦСМ»),  
Омск, Российская Федерация  
MarinaLekomtseva@yandex.ru

## **Аннотация**

*В работе рассматривается цифровизация в области законодательной и прикладной метрологии, а также развитие проекта Метрологии 4.0. Представлена схема Metrology Cloud, которая объединяет всех участников в сфере обеспечения единства измерений. Затрагиваются положительные аспекты внедрения метрологического облака.*

*Рассматривается разработка системы кодификации средства измерения при помощи уникальной идентификационной нумерации. Раскрывается практическая значимость указанного метода идентификации и его интеграция с сервисом ФГИС «АРШИН». Описаны сложности, возникающие при создании и внедрении уникальной идентификационной нумерации, не смотря на все возможности сервиса ФГИС «АРШИН». Рассмотренные сложности позволяют раскрыть необходимость во внедрении уникального идентификатора.*

*Поставлены основные задачи при создании уникальной идентификационной нумерации, а также возможный вид идентификатора. Представлен идентификатор, позволяющий обеспечить как машинную обработку массива данных, так и естественное восприятие отдельного идентификатора человеком. Описан состав идентификатора, позволяющий однозначно идентифицировать любое метрологическое оборудование.*

*Также в работе представлены перспективы дальнейшего развития проекта цифровизации в области метрологии, а также пути синхронизации данных в MetrologyCloud и ФГИС «АРШИН» посредством уникальных идентификаторов.*

**Ключевые слова:** цифровизация, Метрология 4.0, идентификатор, метрологическое облако, облачные технологии, база данных, ФГИС «АРШИН»

## **Annotation**

*The paper considers digitalization in the field of legislative and applied metrology, as well as the development of the Metrology 4.0 project. The Metrology Cloud scheme is presented, which unites all participants in the field of ensuring the uniformity of measurements. The positive aspects of the implementation of the metrological cloud are touched upon.*

*The development of a system for the codification of a measuring instrument using a unique identification numbering is considered. The practical significance of this identification method and its integration with the FGIS «ARSHIN» service are revealed. The difficulties encountered in creating and implementing a unique identification numbering are described, despite all the capabilities of the FGIS «ARSHIN» service. The considered difficulties allow us to reveal the need for the introduction of a unique identifier.*

*The main tasks are set when creating a unique identification numbering, as well as a possible type of identifier. An identifier is presented that allows for both machine processing of an array of data and the natural perception of a single identifier by a person. The composition of the identifier is described, which makes it possible to uniquely identify any metrological equipment.*

*The paper also presents prospects for further development of the digitalization project in the field of metrology, as well as ways to synchronize data in MetrologyCloud and FGIS «ARSHIN» through unique identifiers.*

**Key words:** digitalization, Metrology 4.0, identifier, metrological cloud, cloud technologies, database, FGIS "ARSHIN".

## Актуальность

Цифровизация – это новая тенденция нынешнего поколения. Цифровые технологии, концепция цифровизации внедряется во всех странах во все сферы жизнедеятельности [1]. Особенно заметно такое внедрение в сфере экономики. Экономика превратилась в деятельность с большим объемом цифровых данных, которые обрабатываются, анализируются и используются на благо повышения эффективности всех этапов, начиная от производства и заканчивая доставкой товаров и услуг [2].

Цифровизация, задев все ступени производства, не прошла и мимо обеспечения единства измерений. Таким образом, метрология, претерпев на данный момент совсем малые изменения, постепенно превращается в цифровую метрологию – Метрологию 4.0. Основной чертой новой метрологии является обработка большого количества данных. Обработка такого количества данных, получаемых из разных источников, возможно только в облачных сервисах, объединяющих высокие вычислительные возможности и территориальную распределённость. Одним из которых является система облачных сервисов Metrology Cloud - <https://metrology-cloud.ru/> [3], который помимо хорошей технической реализации позволяет объединять таких участников как государство (отвечающее за обеспечение единства измерений) и коммерческие структуры, которые являются владельцами или производителями средств измерений.

Схема Metrology Cloud представлена на рисунке 1.

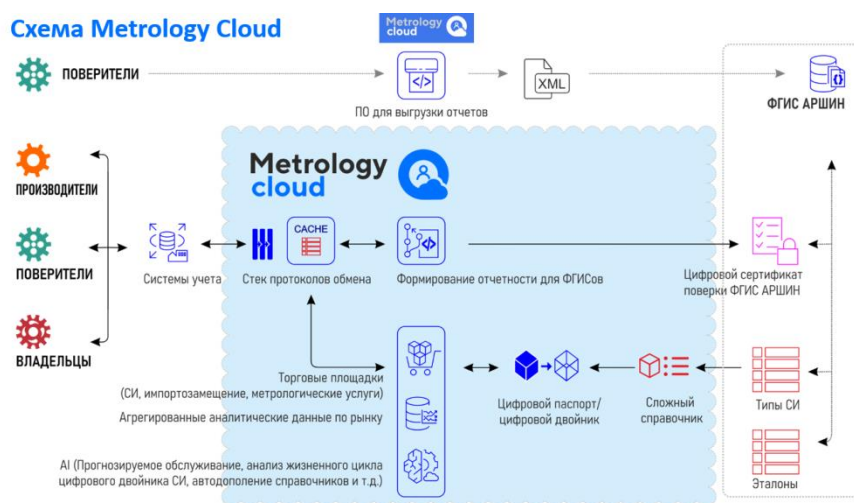


Рис. 1. Схема Metrology Cloud

ПО – программное обеспечение, СИ – средство измерения

В перспективе использование метрологического облака на любом предприятии даст им множество преимуществ. Предприятия смогут без труда контролировать свой парк средств измерений. Иметь не только достоверную, но и в быстром доступе информацию о годности, поверках, метрологических характеристиках, заводе изготовителе и возможности замены данного средства измерения на другое, не уступающее по метрологическим характеристикам, средство измерения отечественного производителя.

Но для того, чтобы метрологическое облако работало корректно на всех этапах и уровнях необходимо, чтобы его объекты имели единый метод идентификации для обеспечения информационной совместимости. Без информационной совместимости практически невозможно информационное взаимодействие между участниками проекта, который включает процесс сбора, обработки и представления данных о различных объектах [4].

## Цель работы

Основной целью на данном этапе является разработка системы кодификации средств измерения при помощи внедрения уникальной идентификационной нумерации (УИН).

## Практическая значимость

Практическая значимость данного проекта состоит в создании универсального механизма обработки сведений о применяемом метрологическом оборудовании, который может быть интегрирован в любую базу данных, включая Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФГИС «АРШИН») [5]. Используя возможности ФГИС «АРШИН», данный метод идентификации позволит обеспечить достоверную метрологическую прослеживаемость результатов измерений и испытаний, а также позволит повысить эффективность мониторинга применения и

прогнозирования потребностей российской экономики в достоверных и сопоставимых результатах измерений.

Однако, достижение поставленных целей сопряжено с рядом сложностей. Во-первых, ни одна цифровая система не может учесть многообразие параметров реального мира, а именно два средства измерения (СИ) одного типа с одним регистрационным номером и одинаковым заводским номером в реальном мире могут отличаться друг от друга, например, износом корпуса (царапинами) и т.п. Но во ФГИС «АРШИН» это будет условно две одинаковые строчки, которые отличаются только организацией-поверителем и датой поверки (рисунок 2).

Организация-поверитель	Регистрационный номер типа СИ	Наименование типа СИ	Тип СИ	Модификация СИ	Заводской номер/ Буквенно-цифровое обозначение	Дата поверки	Действительна до	Номер свидетельства/ Номер извещения	Пригодность
ФБУ "ОМСКИЙ ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	Нет модификации	28	14.08.2023	13.08.2025	С-Б3/14-08-2023/269586109	✓
ФБУ "ОМСКИЙ ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	Нет модификации	328	28.07.2023	27.07.2025	С-Б3/28-07-2023/265346769	✓
ФБУ "ВОЛГОГРАДСКИЙ ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	ПХ-1	28	26.07.2023	25.07.2025	С-Б1/26-07-2023/267936492	✓
ФБУ "ТАМБОВСКИЙ ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	ПХ-1	281	07.07.2023	06.07.2025	С-ВШ/07-07-2023/260373839	✓
ФБУ "УРАЛТЕСТ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	ПХ-1	288	27.06.2023	26.06.2024	С-СЕ/27-06-2023/257498756	✓
ФБУ "САРАТОВСКИЙ ЦСМ им. Б.А. ДУБОВИКОВА"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	ПХ-1	285	21.06.2023	20.06.2025	С-ВУ/21-06-2023/260102353	✓
ФБУ "Краснодарский ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	ПХ-1	28	07.06.2023	06.06.2025	С-АУ/07-06-2023/252901520	✓
ФБУ "Мордовский ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	ПХ-1	28	06.06.2023	05.06.2024	С-АК/06-06-2023/252346789	✓
ФБУ "РОСТОВСКИЙ ЦСМ"	261-49	Пушки литровые	ПХ-1	Нет модификации	28	31.05.2023	30.05.2025	С-ВР/31-05-2023/250399627	✓

Рис. 2. Пример идентификации средств измерений из ФГИС «АРШИН»

Во-вторых, ФГИС «АРШИН» не обладает исчерпывающим функционалом для организации метрологической деятельности предприятия и имеет ряд ограничений, которые не позволяют охватить весь спектр средств измерений (например, СИ неутвержденного типа), а также автоматически обрабатывать информацию о СИ и передавать ее через облачные технологии.

В-третьих, в разных системах будь то ФГИС «АРШИН» или внутренняя система предприятия идентификация одного и того же прибора происходит по-разному. Простой пример, во ФГИС «АРШИН» используется заводской номер, в системе предприятия – инвентарный номер.

Поэтому и возникает необходимость во внедрении нового уникального идентификационного номера (УИН), который поможет не только идентифицировать всё метрологическое оборудование предприятия (включая средства измерений), но и объединить предприятия в одном метрологическом облаке параллельно облегчая работу в области «бумажной» метрологии.

### Задачи работы

При реализации проекта должны быть решены следующие задачи:

- система идентификации должна обеспечивать бесперебойные ответы на множественные запросы;
- в системе должны быть реализованы различные уровни доступа;
- база, содержащая данные, должна быть отделена от самого объекта идентификации;
- идентификаторы не должны содержать динамические элементы или метаданные.

### Суть работы

В ходе предварительных исследований было установлено, что идентификатор целесообразно делать в виде последовательности чисел, разделенными спецсимволом (например, точкой или знаком нижнего подчеркивания) на группы. Реализация такого подхода позволит в автоматическом режиме производить обработку, хранение и анализ больших массивов данных. Кроме того, такой идентификатор естественным образом воспринимается человеком, что позволяет с легкостью идентифицировать объект с той или иной группой. Такой идентификатор целесообразно создавать с QR-кодом, который во времена цифровизации может быть считан при помощи технических устройств (рисунок 3).



Рис. 3. Пример идентификатора с QR-кодом

### Полученные результаты

На первом этапе УИН может включать себя следующие компоненты:

- вид оборудования;
- ИИН уполномоченной организации, которая провела идентификацию средства измерений и присвоила ему УИН;
- группа измерений;
- порядковый номер, присваиваемый уполномоченной организацией (например, государственным научным метрологическим институтом (ГНМИ), государственным региональным центром метрологии (ГРЦМ) или другим юридическим лицом, уполномоченными на присвоение УИН).

На начальном этапе систему УИН целесообразно апробировать применительно к средствам измерений, но в дальнейшем она может быть распространена для идентификации испытательного оборудования и стандартных образцов, целесообразно предусмотреть поле «вид оборудования».

Составная часть УИН «ИИН уполномоченной организации» необходимо для получения исходной информации («точка входа»), позволяющей повысить достоверность информации в системе метрологического облака. Иными словами, ответственность за достоверность информации об объекте на первоначальном этапе несёт организация, которая предварительно подтвердила свою компетенцию для идентификации оборудования.

Составная часть УИН «группа измерений» разделяет все СИ по их назначению. Такое деление позволяет обойти, возможно, возникающие трудности при выборе вида измерения, т.к. один прибор может быть отнесен к нескольким видам измерения. Например, калибратор температуры измеряет температуру, напряжение, сопротивление. За основу может быть принят кодификатор групп СИ по МИ 2314-2006 [6] или более современный ГОСТ Р 8.1030-2024 «Государственная система обеспечения единства измерений. Классификация средств измерений» [7].

Часть УИН «порядковый номер» позволяет связать метрологическое облако с огромным множеством СИ с данными из ФГИС «АРШИН». Кроме того, данный подход позволит идентифицировать множество средств измерений не утверждённого типа, сведения о которых отсутствуют во ФГИС «АРШИН». Такая связь расширяет возможности для дальнейшей работы по внедрению цифровизации в метрологическую жизнь предприятия, например, создание цифрового паспорта средства измерений. Кроме этого, данный механизм позволит осуществить «цифровую перепись» для применяемых средств измерений.

Рабочая версия таких УИН СИ может быть представлена в виде последовательности информационных блоков, которые представлены ниже. В качестве примера был выбран манометр, УИН которого будет представлен в следующем виде (таблица 1).

Таблица 1. Пример УИН манометра

Вид оборудования	ИНН уполномоченной организации	Группа измерений по ГОСТ Р 8.1030-2024	Порядковая часть номера
Средство измерений	ФБУ «Омский ЦСМ»	Манометр цифровой	Порядковый номер, присваиваемый организацией, уполномоченной присваивать УИН
1	5502029980	3001007	0000000001

Такая идентификация, не подменяет данные о СИ (такие как наименование, тип, модификацию), а дополняет их, создавая возможность однозначной идентификации СИ в цифровой среде.

Использование УИН, содержащего основную информацию о СИ с привязкой к справочникам по видам измерений и уполномоченным организациям, создаёт фундамент для дальнейшей цифровизации экономики и системы обеспечения единства измерений.

#### Литература

1. Что такое цифровизация и какие сферы жизни она затенет // URL: <https://center2m.ru/digitalization-technologies>.
2. Цифровая экономика // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровая\\_экономика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровая_экономика).
3. URL: <https://metrology-cloud.ru/>.
4. Основные методы идентификации объектов // Стандарты и качество. Сентябрь 2000.
5. 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 (с изменениями на 13 января 2022 года)» // КонсультантПлюс: Электронный ресурс, дата обращения 15.01.2024. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_365883](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365883).
6. МИ 2314-2006 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Кодификатор групп средств измерений. – М. – ФГУП «ВНИИМС». – 2006. – 190 с.
7. ГОСТ Р 8.1030-2024 «Государственная система обеспечения единства измерений. Классификация средств измерений». – М. – ФГБУ «Институт стандартизации». – 2024. – 102 с.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ БИСТАТИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА ОСНОВЕ СИГНАЛОВ ГНСС

**Владислав Павлович Лопатин**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Солнечногорск, р. п. Менделеево, Российская Федерация  
lopatin@vniiftri.ru

## **Аннотация**

*Определение состояния водной поверхности Мирового океана играет ключевую роль для решения таких задач глобального масштаба как:*

*- геофизическое информационное обеспечения Арктического региона России и Северного морского пути (СМП). Решение этой задачи вызвано необходимостью повышения безопасности при навигации по СМП;*

*- создание глобальных навигационных карт высот геоида для автономных помехозащищенных систем навигации по геофизическим полям Земли;*

*- мониторинг уровня Мирового океана, являющегося одним из важнейших индикаторов, определяющих состояние глобального климата.*

*Существующие в настоящее время спутниковые средства решают задачи только частично и имеют недостаточное пространственное разрешение*

*Для решения всех этих задач предлагается использование метода бистатической радиолокации, использующей сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS и др. В работе представлены разработанные методы и алгоритмы бистатической радиолокации с оценкой их погрешности. Для отработки разработанных методов был создан макет бистатической радиолокационной системы на сигналах ГНСС, с использованием которого проведены серии экспериментов с моста и в безэховой камере. Использование разработанного алгоритма для обработки первичных реальных измерений с низкоорбитального космического аппарата показало низкую погрешность определения высоты геоида на уровне 10 см. Полученные в работе результаты показывают перспективность использования бистатической радиолокации на сигналах ГНСС в российских спутниковых геодезических проектах.*

**Ключевые слова:** *глобальные навигационные спутниковые системы, ГНСС-рефлектометрия, бистатический метод, высоты геоида, уклонение отвесной линии*

## **Annotation**

*Determining the characteristics of water surface of the World Ocean plays a key role in solving such global problems as:*

*- geophysical information support for the Arctic region of Russia and the Northern Sea Route (NSR). The solution to this problem is caused by the need to improve safety when navigating along the NSR;*

*- creation of global navigation maps of geoid heights for autonomous noise-proof navigation systems on the Earth's geophysical fields;*

*- monitoring the level of the World Ocean, which is one of the most important indicators determining the state of the global climate.*

*Currently existing satellite facilities solve problems only partially and have insufficient spatial resolution.*

*To solve all these problems, it is proposed to use the bistatic radar method using signals from global navigation satellite systems (GNSS) GLONASS/GPS, etc. The paper presents the developed methods and algorithms for bistatic radar with an assessment of their error. To test the developed methods, a bistatic radar system based on GNSS signals was created, using which a series of experiments were carried out from the bridge and in an anechoic chamber. The use of the developed algorithm for processing primary real measurements from a low-orbit spacecraft showed a low error in determining the geoid height at the level of 10 cm. The results obtained in the work, show the prospects of using bistatic radar based on GNSS signals in Russian satellite geodetic missions.*



*Key words: global navigation satellite systems, GNSS-reflectometry, bistatic method, geoid heights, deflection of vertical*

### **Актуальность**

Определение состояние водной поверхности Мирового океана играет ключевую роль для решения таких задач глобального масштаба, как:

- геофизическое информационное обеспечение Арктического региона России и Северного морского пути (СМП). Решение этой задачи вызвано необходимостью повышения безопасности при навигации по СМП. Для повышения безопасности навигации необходимо определение характеристик взволнованности и скорости приповерхностного ветра, а также мониторинг состояния ледяного покрова. Существующие в настоящее время спутниковые средства решают лишь часть задачи и имеют недостаточное пространственное разрешение.

- создание глобальных навигационных карт высот геоида для автономных помехозащищенных систем навигации по геофизическим полям Земли. В условиях отсутствия спутниковой навигации перспективной является автономная система навигации по геофизическим полям Земли. Одной из основных проблем такой системы является создание глобальных навигационных карт параметров гравитационного поля Земли.

- мониторинг уровня Мирового океана, являющегося одним из важнейших индикаторов, определяющих состояние глобального климата. В настоящее время измерения проводятся с использованием методов спутниковой альтиметрии, недостатком которой является низкий пространственный охват измерений.

К настоящему времени информационная система, обеспечивающая решения всех перечисленных выше практических задач, в РФ не создана.

Для решения таких важных задач предлагается использование метода бистатической радиолокации, использующей сигналы глобальных навигационных спутниковых систем.

### **Цель работы**

Разработка методов и алгоритмов бистатической радиолокационной системы, использующей сигналы ГНСС, обеспечивающей решения задач гравиметрии и океанографии.

### **Прикладная значимость**

Бистатическая радиолокационная система, использующая сигналы ГНСС, позволяет повысить пространственный охват измерений за один орбитальный проход спутника по сравнению с активными монолокаторами в 30-40 раз (по количеству видимых спутников ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou).

Реализация данной бистатической системы открывает новые перспективы повышения эффективности и снижения стоимости перспективных отечественных спутниковых геодезических комплексов типа ГЕОИК-3.

### **Задачи работы**

1. разработка методов измерений взаимной задержки прямого и отраженного от акватории сигналов, проверка с использованием программно-математической модели;

2. разработка алгоритма по оценке высоты геоида на акватории бистатической радиолокационной системой, использующей сигналы ГНСС, оценка суммарной погрешности измерений;

3. создание экспериментального макета и проведение экспериментов для проверки разработанных методов и алгоритмов.

### **Суть работы**

Измерение высоты океана, мониторинг состояния ледового покрытия, а также определение характеристик взволнованности водной поверхности основаны на использовании новой бортовой пассивной бистатической радиолокационной системы (БРЛС), использующей для радиоподсвета поверхности океана сигналы ГНСС ГЛОНАСС/GPS/Galileo/BeiDou. Принцип работы данной системы заключается в приеме сигналов от каждого навигационного КА (НКА) ГНСС: прямой сигнал и сигнал, отраженный от поверхности океана (рис. 1). Наибольшей мощностью обладают сигналы ГНСС, отраженные в области зеркального отражения.

При бистатической радиолокации по сигналам ГНСС не нужно бортовое передающее оборудование, в качестве спутников радиоподсвета выступают НКА. Кроме того, за один проход КА-носителя с такой системой возможно получение до 30-40 измерений одновременно. Таким образом, повышается пространственный охват акватории за один сеанс измерений. В современных активных космических радиоальтиметрах измеряется лишь один профиль высоты поверхности вдоль следа спутника. Кроме того, преимуществами системы являются малые размеры и энергопотребление

аппаратуры по отношению к активным радиолокаторам при сохранении возможности работы в любое время суток и при любых погодных условиях.

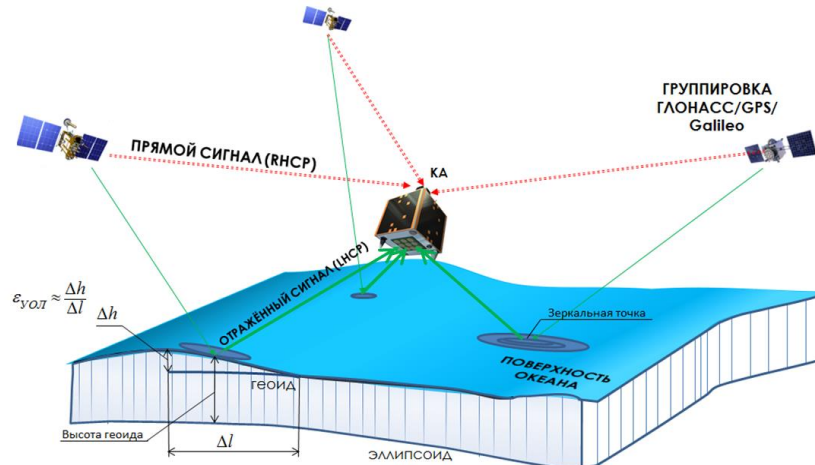


Рис. 1. Принцип работы БРЛС на сигналах ГНСС

В такой системе сигнал ГНСС, отраженный от поверхности океана, несет следующую информацию:

- 1) о высоте морской поверхности относительно общеземного эллипсоида и как следствие о текущей высоте геоида в каждой точке зеркального отражения;
- 2) о степени взволнованности поверхности океана (высота значимой волны (SWH), среднеквадратические уклоны морской поверхности (MSS), скорость приповерхностного ветра (U10)) в каждой точке зеркального отражения;
- 3) о наклоне средней поверхности океана относительно касательной к эллипсоиду, который характеризуется текущим уклоном отвесной линии (УОЛ). Величина УОЛ определяется разностью высот геоида в двух зеркальных точках (ЗТ) отражения от океана к расстоянию между ними;
- 4) о ледовой обстановке.

Перечисленная информация извлекается из отраженного сигнала путем сравнения параметров прямого и отраженного сигналов в бортовом специальном программируемом корреляционном приемнике.

Для оценки пространственного охвата было выполнено моделирование количества одновременно наблюдаемых точек зеркального отражения сигналов НКА ГНСС от поверхности Земли. В качестве приемного низкоорбитального спутника был выбран спутник LEMUR-2-ZACHARY бистатического космического проекта SPIRE со средней высотой орбиты около 566,6 км и наклоном 97,384°. Координаты орбит спутников ГНСС вычислялись по финальным эфемеридам, рассчитанным Европейским аналитическим центром определения орбит CODE.

На рис. 2а представлены результаты расчета количества треков точек зеркального отражения одновременно для различных спутниковых навигационных группировок при углах возвышения НКА больше 5°, на рис. 2б – примеры измерительных профилей зеркального отражения для бистатической системы за один виток.

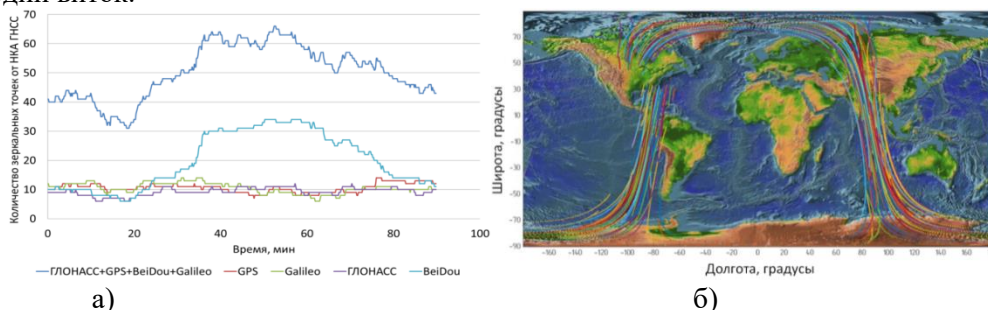


Рис. 2. Моделирование: а) количество наблюдаемых зеркально отраженных сигналов ГНСС; б) примеры профилей отражения за один виток

Из результатов моделирования получено, что за один проход КА-носителя БРЛС возможно одновременное получение от 6 (при использовании только одной группировки НКА ГНСС) до 66 (при

использовании НКА 4-х ГНСС) треков профиля высоты геоида, что значительно повышает оперативность создания карт.

### Результаты экспериментальных измерений

#### Эксперименты, проводимые с речного моста

Для отработки методов бистатической ГНСС-радиолокации с моста над водохранилищем была проведена серия экспериментов. В первом случае проверялся кодовый метод ГНСС-радиолокации. Макет бистатической радиолокационной системы по сигналам ГНСС и место проведения измерений показано на рис. 3б. В точке 1 располагались приемные антенны. На рис. 4а представлены результаты измерений высоты до отражающей поверхности. Из результатов измерений можно сделать вывод о том, что оптимальные углы возвышения спутников для данного метода являются  $30^\circ - 90^\circ$ , а СКО измерений составляет не более 0,5 м, при отсутствии сильного волнения систематическая погрешность отсутствует.

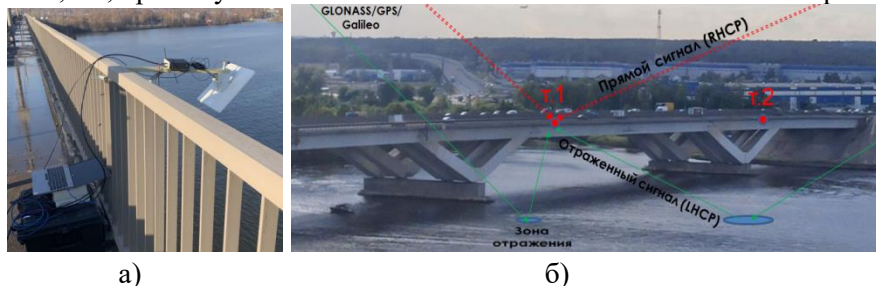


Рис.3. Проведение эксперимента: а) макет бистатической системы; б) т.1- место измерений при кодовом методе (лето); т.2 – место измерений при методе С/Ш (осень)

Разработанный метод на основе анализа отношения сигнал/шум был проверен при измерениях в точке 2, реальная высота которой до отражающей поверхности составила 17,1 м, измеренная 17,1 м, рис. 4б. Такая заметная разница между высотами т.1 и т.2 связаны с разницей высот моста и различными уровнями воды водохранилища в разные времена года. СКО измерений составило 2 см.

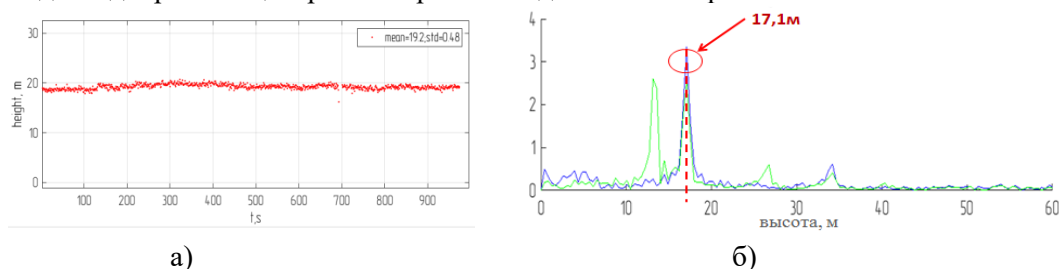


Рис. 4. – Результаты измерений высоты а) кодовый метод б) метод отношения сигнал/шум (синяя кривая L1, зеленая кривая – L2)

#### Эксперимент в безэховой камере (БЭК)

Для проверки фазового метода была выбрана безэховая экранированная камера (БЭК), рис. 5а. Обеспечение условий необходимого волнения отражающей поверхности и необходимых углов возвышения НКА не всегда является выполнимой задачей при натурных измерениях.

Комплекс, развернутый в БЭК, формирующий пространственно-распределенную систему навигационных сигналов ГНСС с нормированными характеристиками, позволил провести эксперимент с полной имитацией фазового метода бистатической ГНСС-радиолокации.

В эксперименте антенны, располагались на мачте с переменной высотой. На рис. 5 представлена схема эксперимента и результаты при изменении высоты мачты.

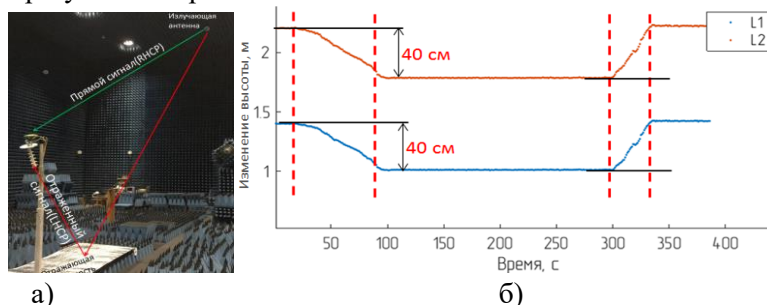


Рис. 5. Эксперимент в БЭК: а) схема эксперимента; б) результаты эксперимента

СКО разности измерений составило 1 см, что является достаточным для высокоточного измерения высоты геоида на акватории.

### **Обработка первичных данных спутникового бистатического радиолокатора, использующего сигналы ГНСС**

Для проверки фазового метода и алгоритма вычисления высоты геоида были использованы первичные измерительные данные со спутника CYGNSS. Обработка включала в себя вычисление и учет различных поправок (ионосферной, тропосферной, связанной с приливами и др.). Для сравнения результатов в качестве эталонных значений высоты геоида были вычислены высоты геоида по модели ГПЗ EGM2008.

На рис. 6 представлены превышения геоида, вычисленные с использованием разработанного алгоритма и полученные по модели EGM2008.

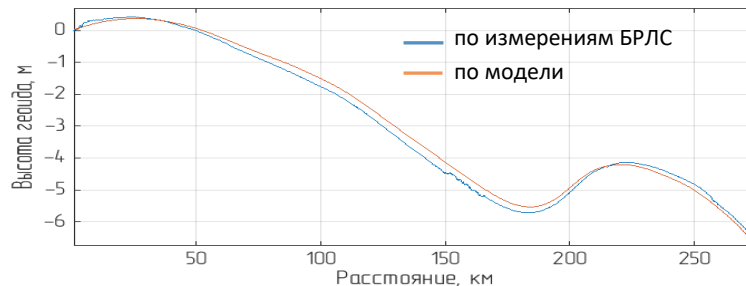


Рис. 6. Профили высот геоида по сигналам ГНСС и по модели EGM2008

По результатам анализа полученное СКО разности с моделью EGM2008 на длине трека чуть более 250 км составило 13,3 см. Пространственное разрешение составило около 280 м. Такая погрешность является конкурентноспособной по отношению к активной спутниковой альтиметрии.

### **Выводы**

Разработанные методы и алгоритм делают возможным использование бистатической радиолокации с использованием сигналов ГНСС для определения высоты геоида (альтиметрия), степени волнения, скорости приповерхностного ветра (скаттерометрия), а также ледовой обстановки.

Разработан макет бистатической радиолокационной системы на основе сигналов ГНСС и проведен ряд экспериментов, которые показали низкую погрешность измерения высоты отражающей поверхности.

Разработанный алгоритм по обработке первичных спутниковых измерений показал низкую погрешность определения высоты геоида - на уровне 10 см. Что является перспективным для использования в российских спутниковых геодезических проектах.

### **Литература**

1. Денисенко О.В, Пустовойт В.И., Сильвестров И.С., Фатеев В.Ф. Проблемы развития бесшовной ассистирующей технологии навигации в ГНСС ГЛОНАСС на основе измерений параметров геофизических полей // Альманах современной метрологии. – №4(24). – 2020. – С. 127-160.
2. Фатеев В.Ф., Ксендзук А.В., Обухов П.С. и др. Экспериментальный бистатический радиолокационный комплекс // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012. – Т. 17, № 5. – С. 58-61.
3. Лопатин В.П., Фатеев В.Ф. Методы определения высоты геоида и скорости приповерхностного ветра по отраженным от поверхности океана сигналам глобальных навигационных спутниковых систем // Альманах современной метрологии. 2021. № 4 (28). С. 73-83.6. Golovan A.A., Klevtsov V.V., Koneshov I.V., Smoller Y.L., Yurist S.S. Izvestiya Application of GT-2A gravimetric complex in the problems of airborne gravimetry, Physics of the Solid Earth. 2018. T. 54. № 4. p. 658-664.
4. Лопатин В.П., Мурзабеков М.М., Бобров Д.С. Результаты определения профиля высот геоида и уклонения отвесной линии по сигналам ГНСС, отраженным от водной поверхности // Геодезия и картография.
5. Лопатин В.П., Мурзабеков М.М., Фатеев В.Ф. Методы гравиметрического мониторинга с использованием наноспутников и ГЛО-НАСС/GPS/Galileo/Beidou // Материалы 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2023. С. 96. DOI 10.21046/21DZZconf-2023a.

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Вероника Викторовна Лунина, А.В. Ефременко, М.И. Алехин, С.Ю. Смольянинова**

Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики»  
(АО КБХА),

Воронеж, Российская Федерация  
8-473-234-81-81, veronikalunina@yandex.ru

## **Аннотация**

*В настоящей работе отражены вопросы цифровизации деятельности по обеспечению единства измерений в промышленной организации посредством разработки, внедрения и промышленной эксплуатации программного модуля “Практическая Метрология” (на примере АО КБХА). Программный продукт разработан с целью воплощения в программном виде требований нормативно-правовых актов Российской Федерации, положений стандартов организации по метрологическому обеспечению, управлению оборудованием для мониторинга и измерений, метрологической экспертизе документации, повышения качества выполняемых работ, сокращения количества ошибок. Представлена информация об основных задачах, решаемых с помощью данного программного модуля, а также результатах применения в практической деятельности сотрудниками метрологических лабораторий, лицами, являющимися ответственными за средства измерений в подразделениях организации, главным метрологом. Для модуля характерны большой объём информации, доступность для широкого круга пользователей организации, автоматическая обработка и анализ данных. Применение программного модуля “Практическая Метрология” позволило сократить трудозатраты, количество бумажных носителей, снизить загруженность работников и сроки оформления отчетных документов, а также обеспечить своевременную передачу необходимых сведений о результатах деятельности в Федеральную службу по аккредитации и ФГИС “АРШИН” в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.*

**Ключевые слова:** *цифровизация, метрологическое обеспечение, проверка, калибровка, программный продукт, средство измерений, средство контроля*

## **Annotation**

*This paper reflects the issues of digitalization of activities to ensure the uniformity of measurements in an industrial organization through the development, implementation and industrial operation of the software module “Practical Metrology” (using the example of KBHA JSC). The software product is designed to implement in software the requirements of regulatory legal acts of the Russian Federation, the provisions of the organization's standards for metrological support, management of monitoring and measurement equipment, metrological examination of documentation, improving the quality of work performed, reducing the number of errors. Information is provided on the main tasks solved with the help of this software module, as well as the results of application in practice by employees of metrological laboratories, persons responsible for measuring instruments in the divisions of the organization, the chief metrologist. The module is characterized by a large amount of information, accessibility to a wide range of users of the organization, automatic data processing and analysis. The use of the software module «Practical Metrology» has allowed to reduce labor costs, the number of paper media, reduce the workload of employees and the timing of registration of accounting documents, as well as ensure timely transmission of necessary information about the results of activities to the Federal Accreditation Service and FGIS «ARSHIN» in accordance with the requirements of the legislation of the Russian Federation.*

**Key words:** *digitalization, metrological support, verification, calibration, software product, measuring instrument, control tool*

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

Цифровизация промышленности в Российской Федерации является одной из национальных целей развития страны. Будучи ключевым направлением развития современных промышленных организаций, цифровые технологии успешно работают во всех сферах деятельности. Метрологическое обеспечение

неразрывно связано с качеством выпускаемой продукции и является неотъемлемой частью любого производства в любой отрасли промышленности. Эпоха цифровизации экономики и производства не могла обойти стороной метрологическое обеспечение и метрологию.

Изменения в Федеральном законе 102-ФЗ [1], вступившие в силу с 24.09.2020 г., послужили правовой основой для продолжения начатых работ в 2010 году и активизации цифровизации метрологического обеспечения. Электронная регистрация во ФГИС «АРШИН» результатов поверки и утверждения типов средств измерений (далее - СИ) стала единственным юридически значимым подтверждением результатов данных метрологических работ.

В процессе деятельности по метрологическому обеспечению производства организации с парками СИ и средств контроля (далее – СК), насчитывающими десятки тысяч единиц широкого спектра номенклатуры, а так же с учетом постоянного увеличения количества отчетности для аккредитованных в соответствии с Федеральным законом от 28.12.2013 № 412-ФЗ [2] организаций, возникла необходимость создания и развития программного модуля, позволившего автоматизировать учет СИ и СК, значительно снизить «бумажную» нагрузку, минимизировать риски, связанные с человеческим фактором, наличием опечаток в документах, повысить производительность труда.

#### **Цель работы**

С целью совершенствования и автоматизации метрологического обеспечения в условиях цифровизации деятельности по обеспечению единства измерений в организации совместными усилиями сотрудников метрологической службы и управления по развитию информационных систем был разработан, внедрен, успешно эксплуатируется и непрерывно совершенствуется программный модуль «Практическая Метрология» (далее - ПМ «Практическая Метрология»).

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

ПМ «Практическая Метрология» внедрен, имеет современный, простой и удобный интерфейс, даёт возможность сотрудникам организации эксплуатировать данную программу с высокой продуктивностью, значительно экономить рабочее время, а сама программа наглядна и проста в применении для пользователя без специального обучения. Все отчетные документы в данном программном модуле позволяют оперативно получать разноплановую актуальную информацию по вопросам метрологического обеспечения в организации и разработаны с учетом требований нормативно-правовых актов Российской Федерации и стандартов организации.

#### **Задачи работы**

ПМ «Практическая Метрология» способствует решению целого комплекса задач по цифровизации деятельности в области обеспечения единства измерений в промышленной организации:

- учет наличия, движения, списания, местонахождения и технического состояния, СИ, СК, индикаторов, стандартных образцов, эталонов единиц величин;
- учет, планирование и результаты деятельности по поверке, калибровке СИ, проверке СК, метрологической экспертизе документации;
- формирование графика и регистрация технического обслуживания СИ и эталонов единиц величин, регистрация ремонтов СИ и СК;
- формирование отчетных документов в соответствии с требованиями, установленными нормативными документами АО КБХА и законодательством Российской Федерации;
- возможность проведения комплексного анализа деятельности метрологической службы;
- удобный поиск с широкими возможностями задания параметров;
- ведение внутренних корпоративных реестров нормативно-технической документации, кадрового состава поверителей, калибровщиков, ремонтников, стажеров, уполномоченных по метрологическому обеспечению в подразделениях;
- резервное копирование протоколов поверки и калибровки с целью соблюдения требований приказа Минэкономразвития России от 26.10.2020 №707 [3], а также эксплуатационной документации на СИ;
- разграничение прав доступа пользователей к отчетности и информации об оборудовании для мониторинга и измерений, контроль изменения данных;
- этикетирование и штрих-кодирование оборудования для мониторинга и измерений.

#### **Суть работы**

Суть работы цифровизации деятельности по обеспечению единства измерений в промышленной организации заключается в использовании современного программного модуля для обеспечения единства измерений. Для данного модуля характерны большой объём информации, доступность для широкого круга пользователей организации, автоматическая обработка и анализ данных.



## Полученные результаты

Разработанный программный продукт позволил централизованно хранить данные об оборудовании для мониторинга и измерений, отчетную и справочную информацию, а также своевременно представлять отчетные сведения в необходимые организации (по их требованиям) в части состояния и управления оборудованием для мониторинга и измерений.

Ответственные за СИ в подразделениях организации получили возможность вести безбумажный технический учет оборудования для мониторинга и измерений, автоматически формировать перечни СИ, СК, эталонов единиц величин, индикаторов, графики поверки и калибровки СИ, проверки СК, отслеживать сроки представления оборудования для мониторинга и измерений на метрологическое подтверждение.

Метрологические лаборатории имеют возможность мгновенного поиска конкретного оборудования для мониторинга и измерений среди всего парка оборудования организации, контроля своевременности выполнения графиков поверки и калибровки СИ, проверки СК.

С целью соблюдения требований Приказов Минпромторга России от 31.07.2020 №2510 [4] и от 28.08.2020 №2906 [5] с учетом требований Руководства пользователя внешнего портала [6] реализована возможность пакетной загрузки во ФГИС «АРШИН» сведений о результатах поверки СИ и СИ, поверенных в качестве эталонов единиц величин.

С целью соблюдения требований приказа Министерства экономического развития Российской Федерации от 24.10.2020 №704 [7] разработан инструмент пакетной загрузки сведений о результатах поверок СИ и СИ, поверенных в качестве эталонов единиц величин в Федеральную службу по аккредитации.

У поверителей и калибровщиков появилась возможность автоматически формировать свидетельства о поверке, сертификаты о калибровке, извещения о непригодности и не терять время на внесение сведений о результатах поверок во ФГИС «АРШИН» и Федеральную службу по аккредитации вручную.

ПМ «Практическая метрология» является многофункциональным, непрерывно совершенствуется и адаптируется к постоянными изменениям в законодательстве по обеспечению единства измерений, например, в настоящее время ведутся работы по внедрению в данный программный продукт электронных цифровых подписей, позволяющих в еще большей степени сократить бумажный документооборот.

На рынке IT-программ представлено значительное количество программных продуктов, которые выполняют аналогичные функции в сравнении с функциями описанного программного продукта, при этом данный продукт имеет следующие отличительные особенности, реализованные благодаря огромному практическому опыту метрологов организации, а также отлаженному взаимопониманию IT-специалистов организации, задействованных в сопровождении функционирования программы:

- имеется специфический узконаправленный классификатор СК, что не свойственно стандартным программным продуктам, ориентированным лишь на СИ;

- ПМ «Практическая Метрология» анализирует вносимую информацию на предмет ошибок и уведомляет о выявленном несоответствии, например при попытке сохранить сведения о результатах поверки или калибровки СИ с применением средства поверки с истекшим сроком годности или не соответствии условий выполнения поверки или калибровки СИ требованиям нормативного документа на поверку или калибровку;

- функционал программного модуля позволяет главному метрологу в режиме реального времени контролировать текущее состояние работ по метрологической экспертизе документации, по поверке, калибровке СИ, проверке СК, ремонту оборудования в метрологических лабораториях, формировать различные отчетные формы, например, об экономической эффективности поверок или калибровок СИ, поверителей или калибровщиков за выбранный отрезок времени;

- с целью улучшения системы менеджмента качества в области метрологического обеспечения производства работает система уведомлений: о метрологическом отказе подразделению-владельцу СИ, выявленном при поверке или калибровке СИ, об истечении срока поверки или калибровки СИ, запрете нахождения их на рабочих местах в подразделении и необходимости представления на поверку или калибровку, об истечении срока нахождения СИ на поверке, калибровке, ремонте, СК на проверке в метрологической лаборатории.

Таким образом, применение цифровых технологий в деятельности по обеспечению единства измерений в промышленной организации позволило сократить трудозатраты, количество бумажных носителей, снизить загруженность работников и сроки оформления отчетных документов, а так же обеспечить своевременную передачу необходимых сведений о результатах деятельности в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.

Программа имеет Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020614889, дата регистрации 29.04.2020 г.

## Литература

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».
3. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».
4. 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».
5. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28 августа 2020 г. № 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».
6. Руководство пользователя внешнего портала / ФГИС «АРШИН» <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/docs>.
7. 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».



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

Алексей Игоревич Матвеев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),  
Солнечногорск, р. п. Менделеево, Российская Федерация  
mtvv@vniiftri.ru

## Аннотация

Предложен путь повышения точности передачи мощности электромагнитных колебаний в волноводных трактах за счет уменьшения погрешности из-за рассогласования между измерительными трактами сличаемых ваттметров. Точность передачи мощности предложено увеличивать путём уменьшения коэффициента отражения входа ваттметров оконечного типа и уменьшения погрешности измерений модуля эффективного коэффициента отражения выхода ваттметра проходного типа. Изготовлены и экспериментально исследованы волноводные многозондовые преобразователи в СВЧ диапазоне с регулируемым коэффициентом отражения входа, а также датчики мощности рассогласованные с переменной фазой. Показано, что данные ваттметры можно использовать в качестве вторичного эталонов для передачи единицы мощности электромагнитных колебаний или как исходное средство измерений в составе рабочих эталонов.

## Annotation

A way is proposed to improve the accuracy of transmitting the microwave power in waveguide paths by reducing the error due to mismatch between the measuring paths of the compared power sensor. It is proposed to increase the accuracy of power transmission by reducing the reflection coefficient of the input of terminal-type power sensor and reducing the measurement error of the module of the effective reflection coefficient of the output of a flow-through power sensor. Waveguide multi-probe converters in the microwave range with an adjustable input reflection coefficient, as well as power sensors mismatched with variable phase, were manufactured and experimentally investigated. It is shown that these power meter can be used as secondary standards for transmitting a unit of power of microwave power or as an initial measuring instrument as part of working standards.

**Ключевые слова:** единица мощности электромагнитных колебаний, волноводные преобразователи мощности термисторные

**Keywords:** microwave power, thermistor waveguide power sensors, power meter, regulation reflection coefficient

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, приемо-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 рис. 1.

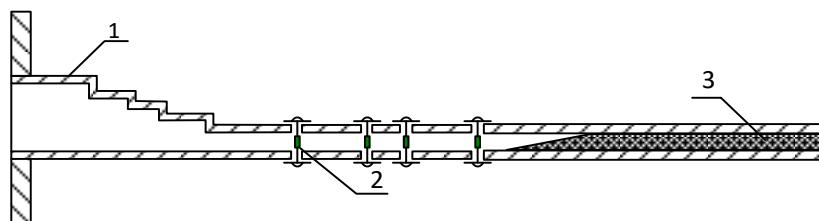


Рис. 1. Схема многозондового термисторного волноводного преобразователя оконечного типа: 1 – волноводный ступенчатый переход; 2 – термисторный СВЧ-зонд; 3 – поглощающий элемент

Модуль коэффициента отражения входа преобразователя определяется отражениями от всех его

элементов – ступенчатого перехода, терморезистора, а также согласующего элемента [1] 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 четырёх 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 рис. 2.

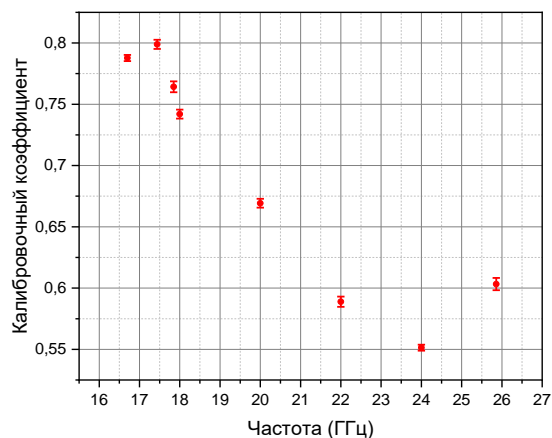


Рис. 2. Калибровочный коэффициент ваттметра оконечного типа волноводного термисторного для тракта  $11 \times 5,5$  мм

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 образом, 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. RU 191197 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. Jürg Furrer, Traceable Source Match Calibration of RF & MW Generators, 32st ANAMET Meeting, October 2009, Teddington, UK. 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).

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Алена Вадимовна Мельникова<sup>1</sup>, В.А. Сясько<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал АО «Кронштадт»,

Санкт-Петербург, Российская Федерация

<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

mlnkval77@gmail.com

### **Аннотация**

Приводятся результаты совершенствования системы метрологического обеспечения средств и методов технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов для подтверждения достоверности получаемых результатов измерений и испытаний. Вопрос технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов заключается в том, можно ли продолжить безопасную эксплуатацию газопровода или необходимо останавливать его работу и проводить замену. Для проведения диагностирования выбран комплекс контролируемых параметров, которые характеризуются механическими и физико-химическими свойствами полиэтилена. Представлены результаты исследования свойств на образцах полиэтиленовых труб разных сроков эксплуатации, описаны контролируемые параметры, влияющие на эксплуатационные характеристики. В качестве основных параметров рассматриваются время окислительной индукции, температура окислительной индукции, степень кристалличности полиэтилена, получаемая двумя методами, предел текучести при растяжении и твердость. Работа проводится с целью обеспечения достоверности результатов измерений и испытаний по определению рассматриваемых свойств при проведении технического диагностирования. Обеспечить требуемые метрологические характеристики средств и методов определения свойств полиэтилена можно путем разработки и аттестации стандартных образцов свойств полиэтилена. Необходимо разработать стандартные образцы свойств полиэтилена, выбрав перечень приписанных характеристик образцов и способ установления показателей точности. Проведены межлабораторные сличительные испытания по определению теплофизических свойств пластмасс на образцах полиэтилена.

**Ключевые слова:** Метрологическое обеспечение, полиэтиленовые газопроводы, полиэтилен, стандартные образцы

### **Annotation**

The results of improving the metrological support system for means and methods of technical diagnostics of polyethylene gas pipelines are presented to confirm the reliability of the obtained measurement and test results. The question of technical diagnostics of polyethylene gas pipelines is whether it is possible to continue the safe operation of the gas pipeline or whether it is necessary to stop its operation and replace it. To carry out diagnostics, a set of controlled parameters was selected, which are characterized by the mechanical and physico-chemical properties of polyethylene. The results of a study of properties on samples of polyethylene pipes of different service life are presented, and controlled parameters affecting the performance characteristics are described. The main parameters considered are the oxidative induction time, the oxidative induction temperature, the degree of crystallinity of polyethylene obtained by two methods, the tensile yield strength and hardness. The work is carried out to ensure the reliability of the results of measurements and tests to determine the properties under consideration when conducting technical diagnostics. The required metrological characteristics of means and methods for determining the properties of polyethylene can be ensured by developing and certifying standard samples of polyethylene properties. It is necessary to develop standard samples of polyethylene properties, selecting a list of assigned characteristics of the samples and a method for establishing accuracy indicators.

*Interlaboratory comparison tests were carried out to determine the thermophysical properties of plastics on polyethylene samples.*

**Key words:** *Metrological support, polyethylene gas pipelines, polyethylene, standard samples*

### **Актуальность**

Развитие систем газоснабжения регионов является актуальной задачей для нефтегазовой отрасли. Природный газ транспортируют при помощи труб, эксплуатационные характеристики которых должны отвечать определенным требованиям техники безопасности, обладать прочностью, стойкостью к коррозии, долговечностью и герметичностью [1]. В последние десятилетия широкое распространение получили полиэтиленовые (далее – ПЭ) трубопроводы, так как их нормативный срок службы составляет 50 лет. По мере увеличения срока эксплуатации ПЭ газопроводов нарастает потребность в удобных и достоверных методах определения их технического состояния. На данный момент не существует стандартизированной методики для проведения оценки технического состояния ПЭ газопроводов, находящихся длительное время в эксплуатации. При этом в ближайшие десятилетия достаточно большое количество трубопроводов подойдет к краю установленного срока службы. Так как в настоящее время ведутся работы по разработке методики технического диагностирования эксплуатируемых полиэтиленовых газопроводов, необходимо одновременно с этим пересматривать систему метрологического обеспечения таких работ, чтобы в совокупности получать достоверные и сопоставимые данные о техническом состоянии труб. Кроме того, использование стандартизованных полномасштабных методов испытаний для контроля качества труб имеет существенные ограничения, связанные с необходимостью отбора образцов труб эксплуатируемого трубопровода общей длиной несколько десятков метров, что технически сложно и экономически неэффективно. Поэтому, в рамках диагностирования необходимо использовать методы исследования физико-химических свойств и механических свойств ПЭ труб на малоразмерных образцах, представленных в виде дисков, пленок или небольших вырезанных частей труб, чтобы работы по анализу технического состояния газопроводов проводились без остановки эксплуатируемого трубопровода. Таким образом, актуальность работы заключается в необходимости проведения испытаний малоразмерных образцов ПЭ труб по определению физико-химических и механических свойств при проведении технического диагностирования действующих полиэтиленовых газопроводов. Также актуальность обусловлена отсутствием средств и методов подтверждения метрологических характеристик применяемых методов (методик) измерений и испытаний свойств полиэтилена.

### **Цель работы**

Цель работы – обеспечение достоверности результатов измерений и испытаний, проводимых в рамках технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов.

### **Научная новизна и практическая значимость**

Научная новизна заключается в определении факторов, влияющих на репрезентативность, достоверность и точность применяемых методик (методов) испытаний механических и физико-химических свойств полиэтиленовых газопроводов, разработке способов оценивания показателей точности, а также средств и методов обеспечения прослеживаемости получаемых результатов. Практическая значимость результатов работы включает в себя разработку и совершенствование методов и средств метрологического обеспечения измерений и испытаний механических и физико-химических свойств материалов ПЭ трубопроводов.

### **Задачи работы**

Для выполнения цели работы поставлены следующие задачи:

1. Анализ требований к ПЭ газопроводам, определение перечня контролируемых параметров, методов и средств их контроля.
2. Теоретический анализ и обоснование параметров, влияющих на точность и достоверность результатов измерений и испытаний физико-химических и механических свойств полиэтилена.
3. Предложение и разработка методов и средств метрологического обеспечения точности и достоверности результатов измерений и испытаний.
4. Экспериментальные исследования для установление фактических характеристик методов (методик) измерений и испытаний, а также средств метрологического обеспечения, в том числе посредством организации межлабораторных сличительных испытаний на разрабатываемых стандартных образцах.

### **Суть работы**

В рамках исследования выборки ПЭ труб, состоящей из образцов разных сроков службы, а также совершенно новых труб, были опробованы различные методы испытаний [2]. В результате определены взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками ПЭ труб и свойствами материала полиэтилена [3]. Если первые исследовались на образцах большого размера, то свойства полиэтилена определялись на малых образцах. Такой подход также является ключевым для выбора применяемых в методике испытаний. Для последующей аттестации методики технического диагностирования и верификации её в испытательных лабораториях необходимо разработать и аттестовать стандартные образцы (далее – СО) свойств полиэтилена с приписанными значениями и соответствующими показателями точности. Отдельно стоит отметить отсутствие в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений подобных СО свойств ПЭ. Разработка и аттестация набора СО позволит подтвердить прослеживаемость к государственным первичным эталонам и обеспечить достоверность результатов измерений и испытаний по тем методам, которые будут включены в конечную методику технического диагностирования.

Поставленная задача по аттестации СО свойств ПЭ решается путем проведения межлабораторных сличительных испытаний (далее – МСИ) по определению механических и физико-химических свойств на образцах ПЭ труб. В качестве рассматриваемых свойств установлены:

#### *1) физико-химические свойства:*

а) время окислительной индукции (термостабильность), определяемое методом дифференциальной сканирующей калориметрии по ГОСТ Р 56756 (ИСО 11357- 6:2008);

б) температура окислительной индукции, определяемая методом дифференциальной сканирующей калориметрии по ГОСТ Р 56756 (ИСО 11357- 6:2008);

в) степень кристалличности ПЭ, определяемая: перерасчетом через энтальпию плавления (дифференциальная сканирующей калориметрии по ГОСТ Р 56724-2015 (ИСО 11357-3:2011); методом рентгеноструктурного анализа (методика отсутствует, измерения проводятся согласно эксплуатационной документации применяемых средств измерений);

#### *2) механические свойства*

г) предел текучести, определяемый при испытаниях на растяжение по ГОСТ Р 53652.1 и ГОСТ Р 53652.3;

б) твердость, определяемая методом динамического инструментального индентирования (методика отсутствует, измерения проводятся согласно эксплуатационной документации применяемых средств измерений). Первичные исследования образцов труб разных сроков службы показали корреляцию между данными, полученными при определении этих двух показателей [3].

### **Полученные результаты**

В настоящее время проведена работа по планированию и организации МСИ по определению теплофизических свойств полимерных материалов. МСИ проводились УНИИМ – филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в 2023 году [4]. В рамках МСИ были заявлены следующие показатели: время окислительной индукции, температура окислительной индукции, энтальпия плавления и кристаллизации и температура плавления и кристаллизации. Перед проведением раунда провайдером МСИ была установлена однородность образца по всем перечисленным свойствам, а также сами приписанные характеристики указанных показателей на эталоне, находящимся в ведении УНИИМ. Приписанные значения устанавливались при помощи стандартных образцов температур и теплот фазовых переходов. В качестве образцов для МСИ использовался полимерный материал (полиэтилен) для газовых труб. Участниками МСИ стали испытательные и научные лаборатории, металлургические производства и лаборатории исследования антикоррозионных покрытий. Испытания по определению всех свойств проводили одним методом – с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии, менялись только условия проведения испытаний в соответствии с методиками определения каждого из показателей. По результатам проведения МСИ проводилась оценка уровня технической компетенции участников раунда МСИ. Параллельно с оценкой компетентности самих лабораторий, работа имела и научную составляющую, была поставлена задача установить воспроизводимость результатов испытаний по определению перечисленных показателей, оценить реальное смещение результатов, получаемых разными лабораториями, а также установить приписанные значения каждого из рассматриваемых свойств, предоставленных в качестве образцов для МСИ. Результаты раунда МСИ оказались удовлетворительными, однако участников оказалось недостаточно для непосредственно аттестации образа для МСИ в качестве СО. Отдельно можно отметить, что это был первый подобный раунд по определению теплофизических свойств полимерных материалов в России, однако на 2024 год запланировано проведение повторного раунда МСИ.

Таким образом, осуществлены первые шаги в совершенствовании системы метрологического обеспечения средств и методов определения теплофизических свойств полиэтилена для установления достоверности результатов их испытаний. По аналогии необходимо создание единой инструкции к проведению раундов МСИ по определению как оставшихся механических, так и физико-химических свойств. По результатам всех МСИ будет принято решение о возможности создания набора стандартных образцов с исследуемыми свойствами.

#### **Литература**

1 Ганзиков А.С. Эффективность применения полиэтиленовых труб в газораспределительных сетях Российской Федерации // Транспорт нефти и газа. – 2012. № 2. С. 51-55.

2. Gogolinskiy K.; Vinogradova A.; Kopylova T.; Povarova V.; Vasilev E.; Shchiptsova E.; Rybkin D.; Kolobov D. Study of physicochemical properties of polyethylene gas pipelines material with a prolonged service life. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 2022, 200. <https://doi.org/10.1016/j.ijvp.2022.104825>.

3. Vinogradova, A.; Gogolinskii, K.; Umanskii, A.; Alekhovich, V.; Tarasova, A.; Melnikova, A. Method of the Mechanical Properties Evaluation of Polyethylene Gas Pipelines with Portable Hardness Testers. *Inventions* 2022, 7, 125. <https://doi.org/10.3390/inventions7040125>.

4. УНИИМ провел МСИ по измерениям ряда теплофизических свойств полимерных материалов // uniim.ru: сайт. – URL: <https://uniim.ru/news090424/> (дата обращения: 01.04.2024).

# ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРКИ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО МЕСТУ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Денис Валерьевич Миранович<sup>1</sup>

Республиканское унитарное предприятие  
«Гомельский центр стандартизации, метрологии и сертификации»  
Гомель, Республика Беларусь  
+375255372205 (Viber), emir@gomelcsms.by

## **Аннотация**

*В научной работе рассмотрена актуальная тема, развивающаяся в Республике Беларусь «Метрологическая оценка счетчиков электрической энергии на местах эксплуатации», предложены пути ее решения и выделены особенности, с которыми столкнулись метрологи Гомельского центра стандартизации, метрологии и сертификации.*

*В работе охарактеризованы основные факторы, отличающие традиционную поверку счетчиков электрической энергии в случаях, когда владельцы привозят свои средства измерения в аккредитованные поверочные лаборатории, от поверки, когда метрологи выезжают к Заказчику на место эксплуатации. Выделены требования, предъявляемые к применяемому эталонному оборудованию, используемого на выездные работы. Представлена конкретная иллюстрация организации внегосударственного временного рабочего места поверителя государственного предприятия «Гомельский ЦСМС». Подытожены ключевые преимущества для владельцев в случае приглашения метрологической службы на места эксплуатации своих счетчиков электрической энергии.*

*Работа имеет практическую значимость и составлена на основе опыта работы поверителей средств измерений электромагнитных и радиотехнических величин. Автор приходит к выводу, что согласованность действий различных субъектов хозяйствования от владельца средств измерений, энергоснабжающей организации, поверочных лабораториях обеспечивает полное соблюдение правил, установленных в области обеспечения единства измерений.*

## **Annotation**

*The scientific work examines a current topic developing in the Republic of Belarus, “Metrological assessment of electrical energy meters on-site,” suggests ways to solve it, and highlights the features encountered by metrologists at the Gomel Center for Standardization, Metrology and Certification.*

*The work describes the main factors that distinguish the traditional verification of electric energy meters in cases where the owners bring their measuring instruments to accredited verification laboratories, from verification when metrologists go to the Customer’s place of operation. The requirements for the reference equipment used for field work are highlighted. A specific illustration of the organization of an off-territorial temporary workplace for an auditor of the state enterprise “Gomel CSMS” is presented. The key advantages for owners in the case of inviting a metrological service to the sites of operation of their electricity meters are summarized.*

*The work has practical significance and is compiled on the basis of the experience of verifiers of measuring instruments of electromagnetic and radio engineering quantities. The author comes to the conclusion that the coordination of the actions of various business entities from the owner of measuring instruments, the energy supply organization, and calibration laboratories ensures full compliance with the rules established in the field of ensuring the uniformity of measurements*

## **Актуальность в прикладном значении**

Для того чтобы счетчик осуществлял правильный учет электрической энергии, ему необходимо измерять электрические величины (напряжение, ток, угол фазового сдвига и т.д.) с определенной точностью на протяжении установленного времени. Для подтверждения того, что метрологические характеристики приборов учета соответствуют установленным требованиям, проводится поверка. Поверка счетчика осуществляется аккредитованными организациями, как в стационарных лабораториях, так и на месте эксплуатации счетчика.

## **Цель работы**

Выявление ключевых особенностей и различий между поверкой в стационарных лабораториях, так и на месте эксплуатации счетчика.



### **Практическая значимость**

Помощь поверочным лабораториям в развитии направления поверки счетчиков на местах эксплуатации. Удовлетворение запросов промышленного и бытового сектора экономики.

### **Задачи работы**

1.1. Описание видов счетчиков электрической энергии. История создания.

1.2. Метрологическая оценка счетчиков электрической энергии.

1.3. Эталонное оборудование для поверки счетчиков электрической энергии на месте эксплуатации.

1.4. Особенности поверки счетчиков электрической энергии на месте эксплуатации.

1.5. Экономический эффект потребителю при поверке счетчиков на месте эксплуатации

### **Суть работы**

Предложение решения по актуальному вопросу по метрологической оценке средств измерений энергетического сектора.

### **Полученные результаты**

Описание видов счетчиков электрической энергии. История создания.

В 1889 году венгр Отто Титуц Блати (1860-1939), работая на заводе «Ганц» (Ganz) в г. Будапешт, Венгрия, запатентовал свой «Электрический счетчик для переменных токов» (рисунок 1).

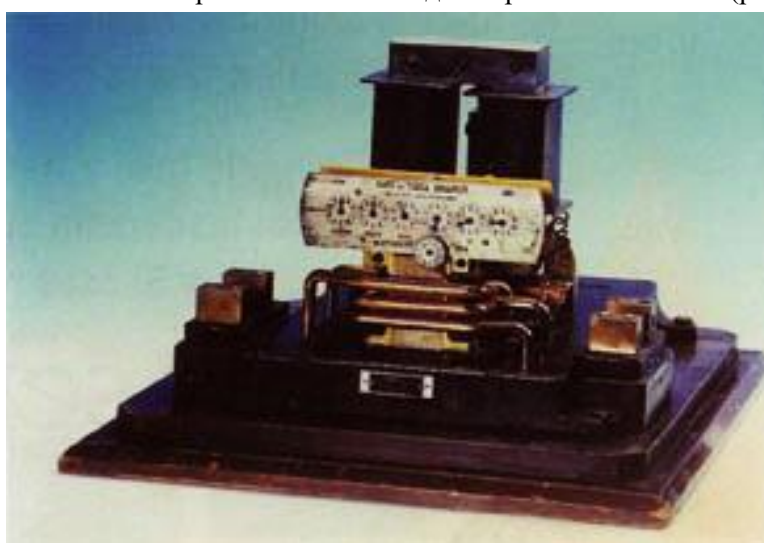


Рис. 1 - Электрический счетчик для переменных токов 1889 года

В последующие годы счетчик совершенствовался: уменьшались вес и габариты, расширялись диапазоны нагрузки, компенсировались изменения коэффициента нагрузки, напряжения и температуры, устранялось трение вала путем замены подпятников шарикоподшипниками, а затем двойными камнями и магнитными подшипниками, а также продлевался срок стабильной работы за счет улучшения качественных характеристик тормозных электромагнитов и удаления масла из опоры и счетного механизма. В начале XX века, были разработаны трехфазные индукционные счетчики, использующие две или три системы измерения, установленные на одном, двух или трех дисках.

Дальнейший ход научно-технического прогресса, а также развитие рыночных отношений нашли свое выражение и в производстве счетчиков. Серьезное влияние оказало развитие электроники – в 70-х годах XX века наряду с индукционными появились электронные счетчики (рисунок 2). Естественно, это существенно расширило функциональные возможности приборов. В первую очередь, это позволило создать автоматизированные системы учета (АСКУЭ), а также внедрить многотарифный режим.



Рис. 2 - Современные счетчики электрической энергии



### **Метрологическая оценка счетчиков электрической энергии**

Поверка счетчиков, как правило, проводится на поверочных установках, которые позволяют одновременно подключать от 3-х до 96-ти поверяемых устройств одновременно. Эти же установки изготавливались стационарного исполнения и не предусматривали проведение поверки вне лаборатории.

Поверка на местах эксплуатации проводится на внетерриториальных рабочих местах, что предъявляет особые требования к поверочной лаборатории, и это, прежде всего, мобильность. Применяемые эталоны и другие технические средства должны быть предназначены для поверки счетчиков электрической энергии, быть переносного исполнения, устойчивы к механической тряске.

#### **Эталонное оборудование для поверки счетчиков электрической энергии на месте эксплуатации**

Для создания внетерриториального временного рабочего места (рисунок 3) необходимы: источник (генератор) фиктивной мощности, эталонный счетчик электрической энергии, испытательный стенд с клеммными зажимами, преобразователи тока в частоту (для автоматизации поверки счетчиков с импульсными выходами), фотосчитывающее устройство (для поверки индукционных счетчиков и электронных счетчиков через оптический выход), приборы контроля условий окружающей среды (термогигрометр и барометр) и иные средства поверки, указанные в конкретной методике поверки.



Рис. 3 - Внетерриториальное временное рабочее место по поверке счетчиков электрической энергии государственного предприятия «Гомельский ЦСМС»

#### **Особенности поверки счетчиков электрической энергии на месте эксплуатации**

Поверка счетчиков электрической энергии на месте эксплуатации имеет свои особенности, которые могут различаться в зависимости от конкретных типов (исполнений) счетчиков. Индукционные и электронные счетчики несут в себе разные элементные базы, разный принцип работы и устройство.

Для поверки индукционных счетчиков необходима строго вертикальная завеска на испытательный стенд и правильно заданные параметры вращения диска на кВт·ч. Так как данный вид счетчиков находится в эксплуатации уже не один десяток лет, то они имеют высокий процент брака, выявляемого при поверке.

Электронным счетчикам, будь то с механическим счетным механизмом или с цифровым, геометрия завески не важна. Однако многие современные счетчики имеют встроенный элемент питания, ограниченный ресурс которого подразумевает его замену при последующей поверке. И для выполнения всех подготовительных работ перед поверкой, Владелец счетчика необходимо также произвести замену элемента питания в авторизованном сервисном центре.

Одним из немаловажных вопросов является создание условий, при которых возможна сама поверка на месте эксплуатации. Согласно требованиям методик поверки температура окружающего воздуха должна составлять  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для создания таких условий, зачастую необходимо использовать дополнительное оборудование, такое как тепловые пушки или кондиционер.

Кроме того, перед подключением к счетчику для проведения его поверки, необходимо согласовать с энергопоставляющей организацией снятие пломб с клеммной крышки счетчика.

Еще одна из особенностей поверки счетчиков на месте эксплуатации относится к счетчикам, которые входят в автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии. Если при поверке в стационарной поверочной лаборатории счетчик накопит всего лишь 5 кВт·ч, то при поверке счетчика на месте эксплуатации с учетом коэффициентов трансформации эта цифра может быть пересчитана вплоть до 16,5 МВт·ч. Для корректировки потребленной энергии за расчетный период, накопленной при поверке, заказчику необходимо обратиться в энергопоставляющую организацию.

#### **Экономический эффект потребителю при поверке счетчиков на месте эксплуатации**

При проведении поверки счетчика на месте эксплуатации, владелец получает ряд преимуществ по сравнению с поверкой в стационарной лаборатории. Во-первых, не требуется подменный фонд на каждый счетчик, что сокращает затраты на поддержание работоспособности резервного фонда (ТО и поверка). Во-вторых, не требуется доставка счетчика в поверочную лабораторию и ожидание возврата из поверки. В связи с этим, владелец рассчитывается за потребленную энергию по фактическим показаниям счетчика и не несет дополнительных затрат на расчет по средней потребленной энергии за прошедший период в период поверки счетчика. В-третьих, практически отсутствует остановка производственного процесса, что позволяет бесперебойно продолжить привычный темп работы.

# ВЫСОКОТОЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛООВОМ РЕЖИМЕ

Владислав Александрович Михеев<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"),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
8(812)323-96-32, v.a.mikheev@vniim.ru

## **Аннотация**

*Одной из задач «Стратегии экономического развития Содружества Независимых Государств на период до 2030 года» является «создание, внедрение и использование ресурсосберегающих технологий», в том числе использование теплоизоляционных материалов. Для эффективного применения теплоизоляционных материалов необходимо знать их значения теплопроводности и теплового сопротивления в эксплуатируемом диапазоне температур. Проведенный анализ метрологических характеристик средств измерений теплопроводности и теплового сопротивления утвержденного типа на рынке стран СНГ выявил ограниченность их применения, что подтверждает актуальность работы. В работе рассматриваются результаты разработки и предложенные конструктивные решения составных частей высокоточной установки для измерения теплопроводности и теплового сопротивления при стационарном тепловом режиме и подробно описан принцип работы установки. Разработанная установка обладает повышенной точностью и температурным диапазоном измерения теплопроводности и теплового сопротивления образцов, превосходящим доступные средства измерений на рынке стран СНГ в два раза. Результаты работы позволят изготовить опытный образец установки и организовать серийное производство во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».*

**Ключевые слова:** установка, теплопроводность, тепловое сопротивление, измерение, средства измерений, тепловая ячейка, разработка

## **Annotation**

*One of the objectives of the "Strategy for Economic Development of the Commonwealth of Independent States for the period up to 2030" is the "creation, implementation and use of resource-saving technologies", including the use of thermal insulation materials. For the effective use of thermal insulation materials, it is necessary to know the values of thermal conductivity and thermal resistance in the operated temperature range. The analysis of the metrological characteristics of measuring instruments of thermal conductivity and thermal resistance of the approved type in the CIS market revealed the limitations of their application, which confirms the relevance of the work. The paper discusses the results of the development and proposed design solutions for the components of a high-precision installation for measuring thermal conductivity and thermal resistance in a stationary thermal regime and describes in detail the principle of operation of the installation. The developed installation has an increased accuracy and temperature range for measuring the thermal conductivity and thermal resistance of samples, exceeding the available measuring instruments on the CIS market by two times. The results of the work will make it possible to produce a prototype of the installation and organize mass production at D.I. Mendeleev Institute for Metrology.*

**Key words:** installation, thermal conductivity, thermal resistance, measurement, measuring instruments, thermal cell, development

## **Актуальность работы**

Теплопроводность – это способность материала проводить тепловую энергию от более нагретой части к менее нагретой части. Потребность в измерении теплофизических характеристик материалов существует во всех областях промышленности: строительстве, металлургии, авиации, космонавтике, электронике и пр. Приоритетными задачами в рамках взаимодействия стран СНГ в сфере ресурсо- и энергосбережения [1] являются: «создание, внедрение и использование ресурсосберегающих технологий» и «создание принципиально новых высокоэффективных видов материалов, выступающих заменителями природных аналогов». Одной из эффективных ресурсосберегающих технологий является

использование материалов с теплоизолирующими свойствами, применение которых снизит потребление тепловой энергии на обогрев помещения и электрической энергии на охлаждение помещения. Основными параметрами теплоизолирующих материалов являются теплопроводность и тепловое сопротивление, которые используются в расчетах теплоизолирующих ограждающих конструкций зданий, сооружений и для расчета класса их энергоэффективности. Для проведения верных расчетов требуются достоверные данные о теплопроводности материалов, измеренные на средствах измерений (далее – СИ) теплопроводности и теплового сопротивления.

В странах СНГ СИ теплопроводности и теплового сопротивления утвержденного типа используется около 10, одно из которых высокоточное. Основными недостатками используемых СИ являются: малый диапазон температуры измерений, диапазон измерений теплопроводности и высокая относительная погрешность измерений. В связи с этим разработка высокоточных приборов для измерения теплопроводности и теплового сопротивления является актуальной и прикладной задачей.

**Целью** настоящей работы является разработка высокоточной установки для измерения теплопроводности и теплового сопротивления при стационарном тепловом режиме (далее – установка).

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**: определен состав установки, спроектирована тепловая ячейка установки и ее составные части (плита-холодильник, модуль измеритель-нагреватель), оценена погрешность измерений, проведен тепловой анализ и построена тепловая модель тепловой ячейки.

#### **Научная новизна и практическая значимость**

Научная новизна заключается в получении тепловой модели, обладающей симметричным и равномерным распределением тепловой энергии за счет применения разработанного тонкопленочного модуля измерителя-нагревателя на основе гибкой печатной платы. Практическая значимость данной работы заключается в разработке установки с высокой степенью готовности серийного производства, проведения испытаний в целях утверждения типа СИ как высокоточного прибора для измерений теплопроводности и теплового сопротивления в соответствии с [2, 3] и возможностью ее поставки заинтересованным метрологическим организациям и предприятиям.

#### **Суть работы**

Разработанная установка представляет собой прибор с горячей охранной зоной для одновременного испытания двух образцов, где плотность теплового потока, проходящего через испытуемые образцы, определяется по результатам измерения мощности, поступающей на нагреватель зоны измерения. При разработке в качестве прототипа была выбрана установка, описанная в [4, 5], с внедрением новых конструктивных решений и учетом некоторых предъявляемых к установке и ее составным частям требованиям согласно [6, 7]. Общий вид установки представлен на рисунке 1.

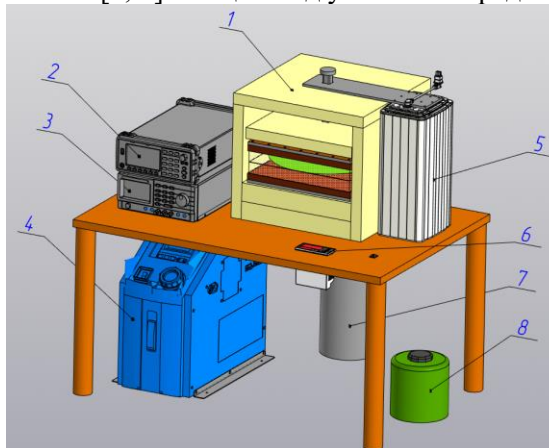


Рис. 1 – Общий вид высокоточной установки (кожух тепловой ячейки не показан)

В состав установки входят следующие составные части: тепловая ячейка 1, мультиметр 2, источник питания постоянного тока 3, жидкостной циркуляционный термостат 4, телескопический актуатор 5, регулятор температуры 6, термос со льдом 7, лабораторный автотрансформатор регулируемый 8 и твердотельное реле 9 (на рис.1 не показан).

В состав тепловой ячейки входит: верхняя плита-холодильник, верхний испытуемый образец, модуль измеритель-нагреватель (далее – модуль), нижний испытуемый образец, нижняя плита-холодильник, тепловая изоляция и кожух.

Верхняя и нижняя плиты-холодильники одинаковые и выполнены из меди марки М1 ГОСТ 859-2014 квадратной формы с габаритными размерами 300×300×20 мм. В плитах выполнены каналы, конструктивные решения которых представлены на рис.2.

Рекомендуемым конструктивным решением канала плиты-холодильника согласно [6] является 2а, что обеспечивает минимальный градиент температуры в центральной измерительной зоне испытуемого образца.

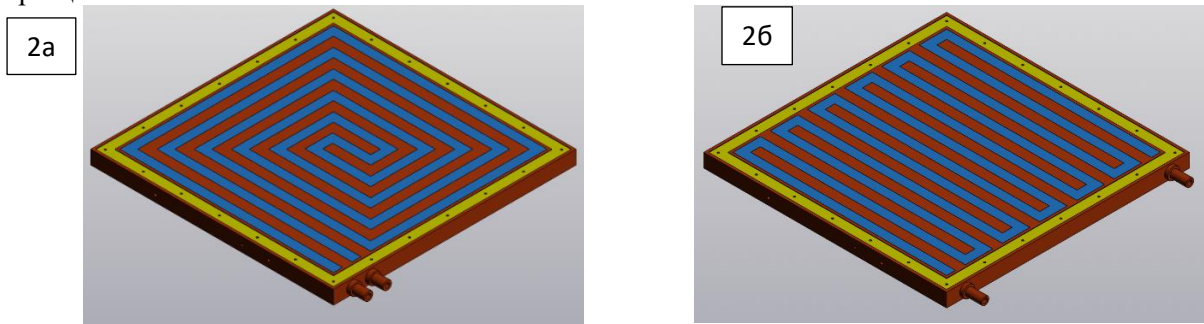


Рис. 2 – Конструктивное решение расположения канала плиты-холодильника (крышка не показана)

Модуль предназначен для создания теплового потока, проходящего через образцы, и измерения температуры с горячих лицевых граней испытуемых образцов. Модуль представляет собой гибкую печатную плату круглой формы диаметром 300 мм, на которой вытравлена топология, состоящая из двух нагревательных зон, выполненных в виде бифилярной катушки: центральной – измерительной зоны и кольцевой – охранной зоны. В измерительной зоне установлены четыре термопары, которые закреплены на печатную плату. Для поддержания равенства температур охранной и измерительной зон используется дифференциальная термопара, спаи которой равномерно размещены в охранной и измерительной зонах.

Принцип работы установки заключается в следующем. Два идентичных испытуемых образца, между которыми установлен модуль, устанавливаются в тепловую ячейку между верхней и нижней плитами-холодильниками. На плитах-холодильниках устанавливают необходимую температуру с помощью жидкостного циркуляционного термостата, который прокачивает охлаждающую жидкость в каналах плит-холодильников, а на измерительную зону модуля подают питание от источника постоянного тока, тем самым получая перепад температуры на испытуемых образцах. Тепловой поток, создаваемый центральным нагревателем, определяется путем определения электрической мощности. При этом средняя температура образца определяется как половина суммы температур холодильника и модуля. Равенство температур на измерительной и охранной зонах обеспечивается системой автоматического регулирования, которая состоит из терморегулятора, твердотельного реле и лабораторного автотрансформатора регулируемого.

Система автоматического регулирования работает следующим образом. На терморегулятор, который настроен на поддержание 0 °С, поступает сигнал с дифференциальной термопары модуля. В случае смещения температуры от заданной, терморегулятор выдает управляющий сигнал на твердотельное реле, которое замыкает цепь питания нагревателя охранной зоны от лабораторного автотрансформатора, и затем размыкает цепь питания при выходе на заданный режим. Измерение температуры горячих лицевых граней испытуемых образцов осуществляется абсолютными термопарами, входящими в состав модуля, при этом их холодные спаи термостатированы в термосе со льдом. Измерительная информация поступает на мультиметр с последующим выводом на ПК, где в специализированной программе проходят вычисления теплового сопротивления и теплопроводности.

Длительность проведения измерения составляет от 2 до 6 часов и зависит от материала испытуемого образца. Контрольные измерения проводят при достижении стационарного теплового режима, определяемый графически, при отсутствии монотонного возрастания/убывания. На рисунке 3 приведена тепловая модель тепловой ячейки установки, которая подтверждает правильность ее конструктивного решения.



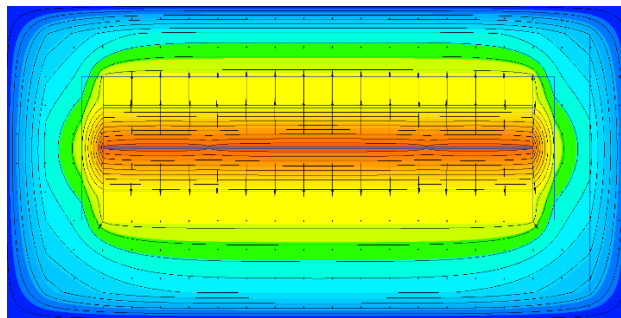


Рис. 3 – Тепловая модель тепловой ячейки

Тепловое сопротивление  $R$  вычисляется по формуле:  $R = \frac{T_1 - T_2}{\Phi} \cdot 2A = \frac{(T_1 - T_2) \cdot \pi \cdot D^2}{U \cdot I}$

где  $T_1$  – температура горячей лицевой грани образцов, °С;  $T_2$  – температура холодной лицевой грани образцов, °С;  $A$  – площадь измерительной зоны, м<sup>2</sup>;  $\Phi$  – тепловой поток, Вт;  $D$  – диаметр нагревателя измерительной зоны, м;  $U$  – напряжение электрического тока нагревателя измерительной зоны, В;  $I$  – сила тока, проходящего через нагреватель измерительной зоны, А.

Теплопроводность  $\lambda$  вычисляется по формуле:  $\lambda = \frac{h}{R} = \frac{2 \cdot U \cdot I \cdot h}{\pi \cdot D^2 \cdot (T_1 - T_2)}$

где  $h$  – средняя толщина образца.

Метрологические характеристики установки: диапазон измерений теплопроводности – от 0,02 до 2,00 Вт/(м·К) при средней температуре образца от минус 10 °С до 80 °С; толщина испытуемого образца – от 20 до 50 мм; относительная погрешность измерений – не более 3 %.

#### Полученные результаты

Разработана высокоточная установка для измерения теплопроводности и теплового сопротивления теплоизоляционных материалов, превосходящая по своим метрологическим характеристикам существующие средства измерений, которая обеспечит эффективное использование теплоизоляционных материалов и существенную финансовую экономию при решении задач энергосбережения.

#### Литература

1. Решение от 29 мая 2020 года «О Стратегии экономического развития Содружества Независимых Государств на период до 2030 года» – URL: <https://www.bc-cis.com/docs/strategy-2030> (дата обращения 10.04.2024).
2. Приказ Росстандарта от 21 ноября 2023 года № 2418 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений теплопроводности, теплового сопротивления и температуропроводности твердых тел в диапазоне температуры от 90 до 1100 К» - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304018932> (дата обращения 10.04.2024).
3. ГОСТ 8.140-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел в диапазоне от 0,02 до 20 Вт/(м·К) при температуре от 90 до 1100 К». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076430?ysclid=luwx176917472290652> (дата обращения 10.04.2024).
4. Соколов Н.А. Создание комплекса аппаратуры государственного первичного эталона единицы теплопроводности и системы передачи размера единицы в диапазоне от 0,02 до 0,2 Вт/(м·К). Дис. на соиск. уч. ст. д.т.н. // Санкт-Петербург: 2006. – 270 с.
5. Соколов Н.А. Метрологическое обеспечение энергосбережения (Измерение теплопроводности и связанных с ней величин): научное издание – учебное пособие // Санкт-Петербург: НИУПЦ «Межрегиональный институт окна», 2005. – 128 с.
6. ГОСТ 31925-2011 (EN 12667:2001) «Материалы и изделия строительные с высоким и средним термическим сопротивлением. Методы определения термического сопротивления на приборах с горячей охранной зоной и оснащенных тепломером». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101974> (дата обращения 10.04.2024).
7. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005006> (дата обращения 10.04.2024).

# АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРЕИМУЩЕСТВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОВСКОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ АНИЗОТРОПНЫХ СТАЛЕЙ

Наталья Ивановна Мороз

Республиканское унитарное предприятие  
«Гродненский центр стандартизации, метрологии и сертификации»  
Гродно, Республика Беларусь  
+375 29 588 05 18, natali84@tut.by

## **Аннотация**

*В работе представлен анализ методов рентгеновского структурного анализа: метода первичной экстинкции и метода аппроксимации для определения плотности дислокаций анизотропных кремнистых электротехнических сталей, применяемых для изготовления трансформаторов. Произведена оценка погрешностей определения плотности дислокаций по методу первичной экстинкции и по методу аппроксимации. Установлено, что расчет дислокационной структуры анизотропных электротехнических сталей методом аппроксимации позволяет получить достоверные результаты с учетом инструментальной погрешности и с учетом поправок на дублетность дифракционных максимумов.*

## **Annotation**

*The paper presents an analysis of X-ray structural analysis methods: the primary extinction method and the approximation method for determining the dislocation density of anisotropic silicon electrical steels used for the manufacture of transformers. The errors in determining the dislocation density using the primary extinction method and the approximation method were assessed. It has been established that calculating the dislocation structure of anisotropic electrical steels using the approximation method makes it possible to obtain reliable results taking into account the instrumental error and taking into account corrections for the doublet of diffraction maxima.*

В настоящее время анизотропная кремнистая электротехническая сталь интенсивно применяется в ленточных сердечниках, силовых и низкочастотных трансформаторах благодаря уникальным магнитным свойствам. Наиболее важные из них – это высокая магнитная индукция, низкий уровень анизотропии магнитных свойств и сравнительно низкая стоимость. Широкое применение анизотропной кремнистой электротехнической стали обусловлено также высокими значениями удельного сопротивления и низкими удельными магнитными потерями в магнитопроводе, которые позволяют использовать сталь с малой толщиной лент и наносить на них термостойкие электроизоляционные покрытия [1–2].

Известно, что при изготовлении тонколистовой холоднокатаной анизотропной стали и в результате механической обработки происходит смещение доменных границ, дробление и перестройка доменной структуры, что приводит к формированию сталей с повышенной дефектностью и внутренними напряжениями. В свою очередь, повышенная дефектность указывает на соответствующее ухудшение магнитных свойств. С целью контроля внутренних напряжений и плотности дислокаций в деформируемых прокаткой сталях используют прямые и косвенные методы исследования. К прямым методам, исследования относится метод травления. К косвенным методам относятся в первую очередь методы рентгеновского структурного анализа, основанные на исследовании структуры вещества по распределению в пространстве и интенсивностям рассеянного на анализируемом объекте рентгеновского излучения.

На сегодняшний день основные методы рентгеновского структурного анализа для определения дислокационной структуры металлов базируются на определениях искажений кристаллической решётки вещества в масштабе блоков и зёрен. Такие искажения считаются случайными и в данных случаях связываются с дислокационными окрестностями, значительно удалёнными от ядра [3–4].

Целью работы был выявление особенностей и установление преимуществ использования метода экстинкции и метода аппроксимации для определения дислокационной структуры электротехнических анизотропных сталей на основе железа (Fe) и кремния (Si), концентрация кремния в которых составляла 6,67 % (Ст 1) и 3,32 % (Ст 2) ГОСТ 21427.1[5].

Толщина стале́й без изоляционного покрытия составляла 0,3 мм. Измерение толщины тонколистовой холоднокатаной анизотропной стали осуществлялось при помощи магнитного толщиномера МТЦ-3 (Минск, ФТИ НАН Беларуси). Относительная погрешность измерений толщины покрытий не превышала 1 %.

Для анализа атомной структуры вещества использовался прибор для измерения интенсивности и направления рентгеновского излучения, дифрагированного на кристаллическом объекте – рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М с  $\text{CuK}\alpha$  излучением (0.154179 нм) (ИЦ «Буревестник», Санкт Петербург). Исследования проводили в лаборатории радиационного материаловедения ГрГУ имени Янки Купалы. Съемка образцов проводилась при режимах на рентгеновской трубке 40 кВ и 20 мА. Фазовый состав стале́й определялся при помощи картотеки JCPDS–ASTM.

Значение плотности дислокаций в анизотропных кремнистых сталях можно оценить, зная размеры областей когерентного рассеяния (ОКР). Для исследуемых стале́й размеры ОКР находятся в диапазоне 0,01–1,5 мкм [6-7]. Для стале́й с размерами ОКР больше 0,2 мкм оценка плотности дислокаций возможна по эффекту первичной экстинкции.

Интенсивность лучей, отраженных от идеально мозаичного кристалла, во много раз больше, чем от крупного совершенного, в котором наблюдается эффект первичной экстинкции. Эффект экстинкции эквивалентен увеличению коэффициента поглощения. Он проявляется тем сильнее, чем меньше отражающий угол и чем больше порядковый номер рассеивающего элемента.

Интегральная интенсивность реального кристалла  $I_p$  связана с интенсивностью мозаичного (эталона)  $I_{moz}$  согласно динамической теории Дарвина зависимостью [3]:

$$I_p = I_{moz} \frac{th(nq)}{nq}, \quad (1)$$

где  $th$  – гиперболический тангенс;

$n$  – число параллельных между собой отражающих атомных плоскостей в одном блоке;

$q$  – отражательная способность одной плоскости.

Величина  $q$  находится по формуле [3]:

$$q = \frac{e}{mc^2} N \frac{d_{hkl}}{\sin \theta} \lambda |F| = 1,69 \cdot 10^{11} \frac{\rho}{A} \frac{d_{hkl}}{\sin \theta} \lambda |F|, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность вещества;

$M$  – молярная масса;

$d_{hkl}$  – межплоскостное расстояние для плоскостей (hkl).

Размер блоков определяется из зависимости

$$D = nd_{hkl}, \quad (3)$$

Плотность дислокаций рассчитывалась по формуле [3]:

$$\sigma = \frac{3}{D^2} \quad (4)$$

Следует отметить, что с уменьшением размеров ОКР первичной экстинкцией можно пренебречь. Кроме того, для получения точных данных необходимо получить идеальный мозаичный эталон, что достаточно проблематично для анизотропных кремнистых стале́й.

В данном случае приемлем метод аппроксимации, который основан на разделении вкладов в уширение рефлексов на дифрактограммах микродеформаций и плотности дислокаций.

Физическое уширение рентгеновских линий — это увеличение ширины дифракционного максимума из-за наличия в образце дефектов кристаллического строения, дисперсных частиц или мелких зерен [4].

Поскольку анизотропные стали обладают анизотропией механических свойств, а внутренние напряжения растяжения и сжатия зависят, в первую очередь, от кристаллографического направления, изучаемого образца и эталона, то с этой целью на дифрактометре регистрировали профиль двух кратных линий, которые получаются в результате отражения рентгеновского излучения от атомных плоскостей одинаковых hkl (рисунок 1). Исследовались линии Fe(110) и Fe(220).



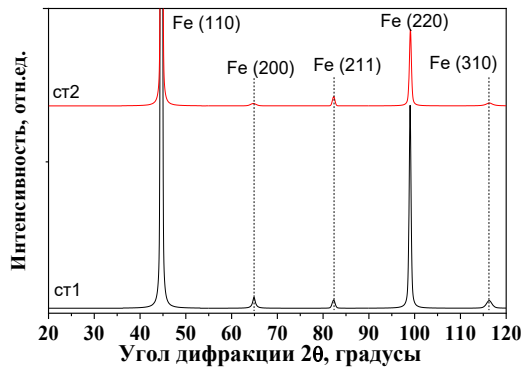
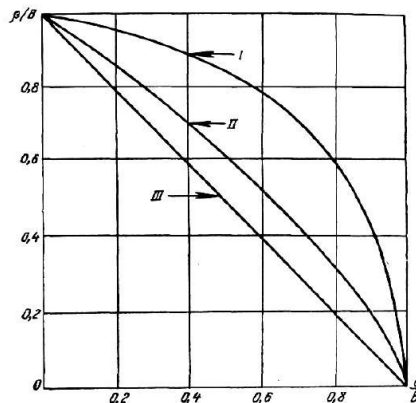


Рис. 1 – Рентгенограммы сталей Ст 1 и Ст 2

Важным в данном методе является точное определение физического уширения дифрактометрического пика. Для этого необходимо избавиться от погрешности измерений: дублетности и инструментальной погрешности. С этой целью используется поправочный график, представленный на рисунке 2 [4], по которому находится физическое уширение для исследуемых линий.



I – Аппроксимирующая функции  $e^{-\alpha x^2}$ ; II –  $1/(1+\alpha x^2)^2$ ; III –  $1/(1+\alpha x^2)$ .

Рис. 2 – График поправок на геометрическое уширение линий в зависимости от аппроксимации функциями

Значению отношения физических уширений  $\beta_2/\beta_1$  для двух обсчитываемых рефлексов на углах  $\theta_2$  и  $\theta_1$  сравнивается с численными соотношениями:  $\text{tg}\theta_2/\text{tg}\theta_1$  и  $\text{sec}\theta_2/\text{sec}\theta_1$ .

Если  $\beta_2/\beta_1$  совпадает с отношением тангенсов, то уширение связано с микродеформациями (МКД). Можно найти среднее значение МКД:

$$e_{hkl} = 0,25\beta_2 \text{ctg}\theta_2 \quad (5)$$

Связав МКД с хаотически распределенными дислокациями, можно найти их плотность  $\rho$ ,  $\text{см}^{-2}$ :

$$\rho = (lf / \beta_1^2) \text{ctg}^2\theta_2 \beta_2^2 \quad (6)$$

Если  $\beta_2/\beta_1$  совпадает с отношением секансов, то можно определить средний эффективный размер блоков (частиц) с помощью формулы:

$$D = 0,94\lambda\beta_2^{-1} \text{sec}\theta_2 \quad (7)$$

Если отношение  $\beta_2/\beta_1$  находится между отношениями тангенсов и секансов, то значимы оба источника уширения - МКД решетки и дисперсность [4].

Таким образом, анализ методов рентгеновского структурного анализа: метода первичной экстинкции и метода аппроксимации для определения плотности дислокаций в анизотропных кремнистых электротехнических сталях, применяемых для изготовления трансформаторов, позволяет заключить, что для расчета дислокационной структуры метод аппроксимации позволяет получить достоверные результаты с учетом поправок на дублетность дифракционных максимумов и инструментальной погрешности.

#### Литература

1. Казаджан, Л. Б. Магнитные свойства электротехнических сталей и сплавов / Под. ред. В. Д. Дурнева. – М.: ООО «Наука и технологии», 2000. – 224 с.

2. Миндлин, Б. И. Изотропная электротехническая сталь / Б. И. Миндлин, В. П. Настич, А. Е. Чеглов. – М. : Интермет Инжиниринг, 2006. – 240 с.
3. Дифракционные методы исследования кристаллов : лаб. практикум / В. М. Анищик [и др.]. – Минск : БГУ, 2007. – 84 с.
4. Анищик, В. М. Дифракционный анализ : учеб. пособие / В. М. Анищик, В. В. Понарядов, В. В. Углов. – Минск : Высшэйшая школа, 2011. – 215 с.
5. ГОСТ 21427.1-83. Сталь электротехническая тонколистовая. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 13 с.
6. Мороз, Н. И. Влияние отжига на коррозионную стойкость трансформаторной стали, легированной кремнием / Н. И. Мороз, Н. Г. Валько // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 108–116.
7. Мороз, Н. И. Влияние отжига на структуру электротехнической стали / Н. И. Мороз, Н. Г. Валько // Технология органических веществ: материалы докладов 86-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января - 12 февраля 2022 г. / Белорус. Гос. техн. ун-т; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – С. 230–232.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСАХ МЕТОДОМ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

Мейрбек Жанарбекович Мусатаев

Научный сотрудник ТОО «Казахстанский институт неразрушающего контроля»  
Алматинская обл., Карасайский район, с. Иргели, Республика Казахстан  
+7 7029810456, mussatayevm@gmail.com

## **Аннотация**

*Автоматизированная система по обнаружению дефектов в железнодорожном полотне способствует эффективному обеспечению безопасного движения поездов и своевременному обнаружению неисправностей на путях. Однако проблематика дефектоскопии рельсов усугубляется необходимостью обработки больших объемов данных и выделения релевантных участков для анализа. В данном исследовании исследуется направленный зонд на основе электромагнитных вихрей, разработанный и протестированный для встроенного обнаружения в тележке для инспекции типичных дефектов в железнодорожном полотне, таких как сжатие и других локальных дефектов. Первоначальные исследования были проведены для определения идеальных конфигураций направленного передающего и дифференциального приемного датчиков электромагнитных вихрей и методов их оптимизации для достижения наилучшего соотношения сигнал/шум. Исследование показывает, что вихретоковый датчик с возбуждающими катушками в форме восьмерки способен обнаруживать дефекты в объектах исследования с хорошим соотношением сигнал/шум.*

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, зонд вихретокового контроля, расстояние отрыва

## **Annotation**

*Automated defect detection systems in railway tracks contribute to the effective maintenance of train safety and timely identification of track irregularities. However, the complexity of rail defect detection is exacerbated by the need to process large volumes of data and extract relevant segments for analysis. This study examines a directional eddy-current probe that has been developed and tested for potential integration into an inspection trolley to detect common railway track defects like squats and other local damages. Initial investigations were conducted to determine optimal configurations of directional transmitting and differential receiving eddy-current sensors and methods for their optimization to achieve the best signal-to-noise ratio. The research demonstrates that the eddy-current probe with figure-8-shaped excitation coils is capable of detecting defects presented in this study with relatively high signal-to-noise ratio.*

**Key words:** Non-destructive evaluation, eddy current testing probe, lift-off

## **Введение**

### **Актуальность работы**

Обычно пассажирские поезда имеют среднюю нагрузку на ось менее 20 тонн [1]. Это современная проблема, не характерная для периода 1980-1990-х годов, когда двигатели не обладали такой высокой мощностью. В настоящее время мы имеем дело с чрезвычайно мощными двигателями, которые обеспечивают движение тысяч и тысяч поездов со скоростью до 125 миль в час. Даже массивные грузовые поезда движутся со скоростью более 100 миль в час. Таким образом, силы, генерируемые колесами, а не только низкое ускорение, торможение и изгиб, создают очень сложные сдвиговые напряжения. В результате кристаллография рельсов, которая растягивается в направлении и образует некоторые напряжения с последующими проходами, заставляет этот путь расти. Фактически, вдоль линии напряжения именно то, что произошло в аварии в Хартфилде в 2000 году и во всем мире. Этот весь эффект называется усталостью от контакта с катанием. До Хартфилда эти дефекты называли трещинами. Примером инспекции данного типа дефектов может служить коммерческая система "Ходунки для пешеходов", которая уже некоторое время используется в Великобритании, а также в последнее время - в Ирландии, Нидерландах, Швеции, Германии, Швейцарии и Соединенных Штатах [1]. Аналогичная

работа по реализации инспекции и классификации таких локальных дефектов как сжатие проиллюстрировано в Рисунке 1.

### Цель и задачи

Целью работы является разработка вихретоковых (ВТК) зондов, предназначенных для реального времени инспекции поверхности железнодорожных путей, а также изучение параметров конструкции нового направленного ВТК-зондов для обнаружения поверхностных трещин и общих дефектов железнодорожных рельсов.

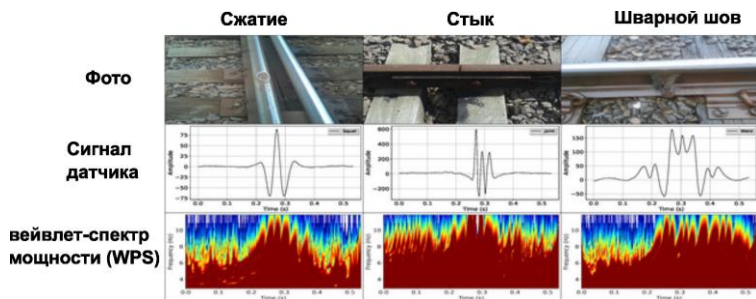


Рис. 1 – Сверху вниз фото аномалии, сенсор сигналы, вейвлет спектр мощности [6].



Рис. 2 – Улучшение эффективности инспекции в реальном времени.

В ходе работы были выполнены следующие задачи: 1) разработка нестандартных ВТК-зондов используя предыдущие работы представленные в литературах [2]–[4]; 2) определение оптимальной частоты; 3) расстояния отрыва для дальнейшей интеграции системы в в тележку для инспекции железнодорожного пути на заводе British Steel в Скунторпе, Великобритания.

### Научная новизна и практическая значимость

Для обеспечения безопасности передвижения на территории Казахстана имеются ряд требований к дефектоскопическим системам. Соответственно, для улучшения эффективности и точности инспекции железнодорожных путей, необходимо обеспечить полную автоматизацию процесса инспекции, что требует интеграции различных отдельных технологий, как иллюстрируется на Рисунке 2. Реализация данного проекта позволит значительно улучшить эффективность инспекции железных дорог в реальном времени.

### Материалы и методы

#### Оборудование

Сутью работы данном исследовании является с применением отношения сигнал/шум (ОСШ) для количественного анализа в соответствии с [5] сравнение чувствительности наилучшей конфигурации зонда из предшествующей работы автора [5] с двумя новыми конструкциями датчиков предложенными в рамках текущего исследования. Определение оптимальной частоты является ключевым для увеличения чувствительности к специфическим дефектам. Настоящее исследование фокусируется на диапазоне частот близости, резонансно настраивая катушку приемника для увеличения уровней ОСШ.

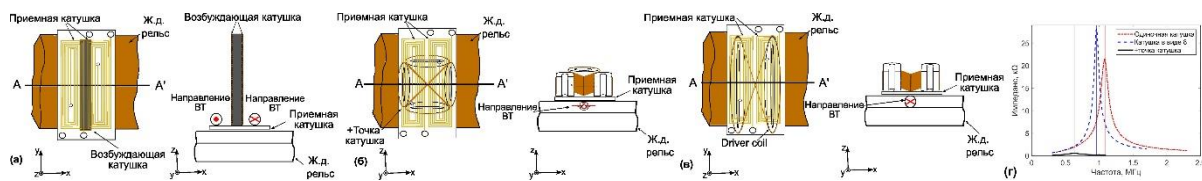


Рисунок 3 – Вихретоковые датчики с (а) одиночной возбуждающей катушкой, (б) четыре возбуждающие катушки в форме восьмерки с добавлением точки (в) катушка с эллиптической формой восьмерки и (е) резонансные частоты каждого из катушек.

Для уменьшения шума, связанного с расстоянием отрыва, все приемные катушки включают два смежных прямоугольных датчика с дифференциальной обмоткой, как показано на Рисунке 3(а-в). Кроме того, для повышения плотности и концентрации индуцированных вихретоков (ВТ) в материале были созданы одиночная возбуждающая катушка (Рисунок 3(а)), четыре возбуждающие катушки в форме восьмерки с добавлением точки (Рисунок 3(б)) и специальная катушка с эллиптической формой в виде восьмерки (Рисунок 3(в)), каждая из которых имеет собственную резонансную частоту, соответствующую Рисунку 3(г).

Экспериментальная установка и исследуемый материал изображены на Рисунке 4. Основное магнитное поле, созданное драйверной катушкой (смотрите ВНК датчик в Рисунке 4.(б)), индуцирует

вихревые токи в образце железнодорожного пути, что приводит к образованию вторичного магнитного поля. Вторичные магнитные поля, изменяющиеся со временем, вызывают индукцию напряжения в приемных катушках. Наличие дефекта на поверхности рельса нарушает локальное распределение вихревых токов, что приводит к незначительному изменению индуцированного напряжения, обнаруживаемого катушкой. Установка включает в себя ручной осциллограф (TiePie Engineering), который генерирует синусоидальный сигнал, связанный с стабильным источником тока (Sonemat) и питание постоянного тока НУ 3003 для усилителя. Один выход от источника тока подает постоянный ток на драйверную катушку для возбуждения магнитного поля. Другой выход подключен к ручному осциллографу, чтобы служить стабильной опорой напряжения для сравнения напряжения отклонения с полученными заборными сигналами от зонда. Источник питания обеспечивает  $\pm 9.5$  В постоянного тока для дифференциального усилителя. Управление в реальном времени и постобработка измерений осуществляются сценарием MATLAB, который соединяет ручной осциллограф с компьютером.

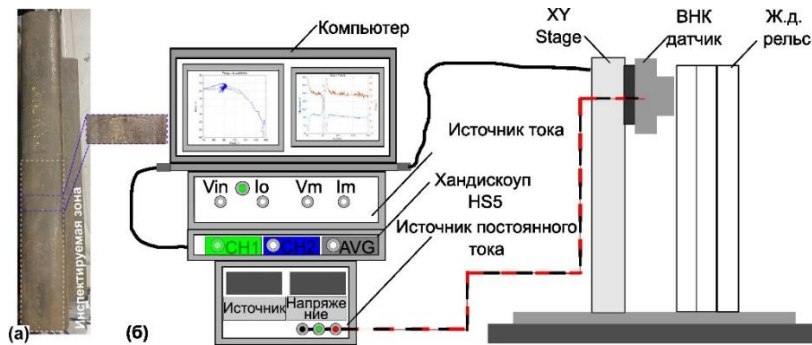


Рис. 4 – (а) рельсовое полотно (standard R260 grade) для инспекции с искусственным дефектом; (б) Схематическая диаграмма эксперимента.

### Материалы

На верхней поверхности образца железнодорожного пути вводится ряд искусственных дефектов для исследования оптимизации предлагаемой системы инспекции, как показано на Рисунке 4.(а). Материал образца изготовлен из стандартных рельсов класса R260. Возможности зонда могут быть оценены путем сравнения результатов измерения дефекта с относительно большой недефектной областью. Размеры искусственного дефекта (порез вдоль ширины) составляют 40x1.0x0.8 мм.

### Метод оценки отношения сигнал/шум

Оценка примера отношения сигнал/шум (SNR) приведена в рисунке 5 в соответствии с [5] и согласно уравнению:

$$SNR = \frac{V_{\max} + \text{abs}(V_{\min})}{RMS_{\text{шум}}},$$

где  $V_{\max}$ ,  $V_{\min}$  – максимум и минимума дифференциального напряжения сигнала;

$RMS_{\text{шум}}$  – суммированного квадрата значений к шуму.

Уровень превышения сигнала над уровнем шума демонстрируется путем умножения среднеквадратичного значения (RMS) шума на два (см. параллельную линию на Рисунке 5), в то время как уровень сигнала представлен вертикальной линией.

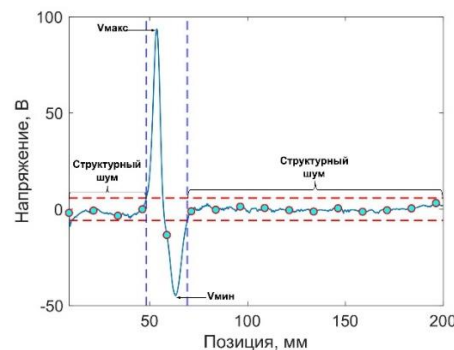


Рис. 5 – Пример сигнала датчика с формой восьмерки на частоте 0.4 МГц

### Результаты

#### Определение оптимальной частоты

На рисунке 6.(а) показаны результаты оценки отношения сигнал/шум вокруг резонансной частоты датчика, демонстрируя улучшение силы сигнала и снижение неопределенности в различных диапазонах

частот. Среди трех ЭД-зондов конфигурация с восьмиконтурной катушкой превзошла две другие, с максимальным отношением сигнал/шум, зарегистрированным на уровне 65 при 0,25 МГц. ЭД-зонд с единичным катушкой обладает возможностью инспекции в реальном времени, достигая отношения сигнал/шум примерно 13 при 0,5 МГц, в то время как зонд с восьмеркой с "+" удвоил производительность, достигнув примерно 27 отношения сигнал/шум при 0,6 МГц.

#### Определение оптимальной дистанции отрыва

Дальнейшее исследование влияния различных расстояний при подъеме их на чувствительность ЭД-зонда будет сосредоточено на зонде с восьмиконтурной катушкой. Наблюдалось значительное увеличение чувствительности ЭД зонда при расстоянии подъема 0,5 мм, как показано на рисунке 6.(б). Даже когда расстояние подъема было увеличено до 1 мм, зонд проявил самую низкую чувствительность в амплитудах напряжения, однако сохранял относительно высокое отношение сигнал/шум (SNR). Эти результаты показывают, что ЭД-зонд с восьмиконтурной катушкой демонстрирует высокую амплитуду напряжения при расстоянии подъема в 0,5 мм, сохраняя при этом отличную чувствительность обнаружения, с SNR более 100.

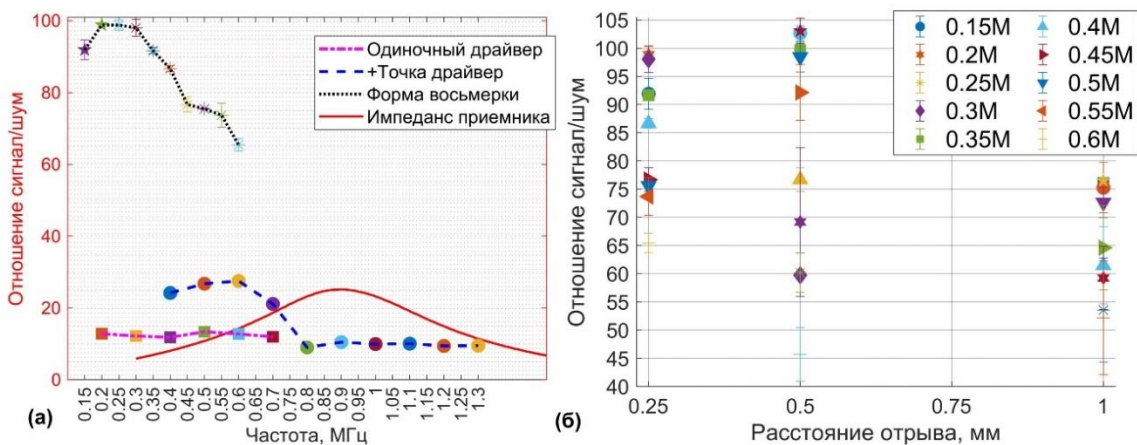


Рис. 6 – Отношение сигнал/шум с катушкой восьмерки: а) по определению оптимальной частоты конфигурации ВТК зондов; б) от функции расстояния отрыва

#### Заключение

Это исследование оценивало различные комбинации конструкций возбуждающих катушек в сочетании с прямоугольной плоской приемной катушкой. Анализ их потенциала позволил выявить лучший вихрековый (ВТК) зонд для интеграции в технологию высокоскоростной инспекции поездов в реальном времени. Чувствительность обнаружения в зависимости от расстояния также была подвергнута тщательному анализу. Вывод состоит в том, что обнаружение может быть улучшено с использованием катушки в форме восьмерки на частоте 0,3 МГц, при этом поддерживая расстояние отрыва примерно 0,5 мм. Улучшение эффективности инспекции представляет собой инновационный продукт, соответствующий критериям Индустрии 4.0. Для полного освоения потенциала этой передовой системы планируется инспекция и характеристика реальных дефектов железнодорожных полотно для демонстрации ее эффективности.

#### Литература

- [1] S. Rail, D. House, and R. T. C. Business, "A Pedestrian and Vehicle-Mounted System for Detecting RCF in Rail using Eddy Currents," *19th World Conf. Non Destr. Test.*, pp. 1–9, 2016.
- [2] H. Kosukegawa, Y. Kiso, M. Hashimoto, T. Uchimoto, and T. Takagi, "Evaluation of detectability of differential type probe using directional eddy current for fibre waviness in CFRP: Advanced Eddy Current Testing for CFRP," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 378, no. 2182, Oct. 2020, doi: 10.1098/rsta.2019.0587.
- [3] D. Wu, F. Cheng, F. Yang, and C. Huang, "Non-destructive testing for carbon-fiber-reinforced plastic (CFRP) using a novel eddy current probe," *Compos. Part B Eng.*, vol. 177, no. September, p. 107460, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107460.
- [4] C. Y. Xiao and J. Zhang, "Analytical solutions of transient pulsed eddy current problem due to elliptical electromagnetic concentrative coils," *Chinese Phys. B*, vol. 19, no. 12, 2010, doi: 10.1088/1674-1056/19/12/120302.
- [5] M. Mussatayev, Q. Yi, M. Fitzgerald, V. K. Maes, P. Wilcox, and R. Hughes, "Directional eddy current probe configuration for in-line detection of out-of-plane wrinkles," *Compos. Part B Eng.*, vol. 268, p. 111048, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.compositesb.2023.111048.



# ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

**Вохобжон Нишонов Хамидулла угли**

ГУ «Узбекский Национальный Институт Метрологии»,  
Ташкент, Узбекистан  
+998 99 699 69 23, v.nishonov@nim.uz

## **Аннотация**

*Предпосылки:* В современном развивающемся мире для диагностики, лечения и профилактики заболеваний используется большое количество различных современных медицинских средств измерений. Между тем безопасность, точность, надежность и прослеживаемость медицинских средств измерений с течением времени становятся все более важными.

*Задачи:* Задачей данного исследования является представление результатов внедрения системы законодательной метрологии, проводимой совместными усилиями Государственного центра экспертизы и стандартизации лекарственных средств, изделий медицинского назначения и медицинской техники и Узбекского национального института метрологии и обеспечить безопасность, точность, надежность и прослеживаемость медицинских средств измерений в межповерочном интервале.

*Методы.* Исследование основано на данных, собранных в ходе ежегодных проверок эффективности во всех учреждениях здравоохранения в период с 2016 по 2021 год по 37 видам средств измерений, используемых в медицине. Для получения выводов использовался анализ охвата данных.

*Результаты:* Результаты показывают, что внедрение системы законодательной метрологии приводит к значительному повышению точности медицинских средств измерений, что приводит к повышению надежности и безопасности пациентов в диагностических и терапевтических процессах. Для достижения этого результата и оказания квалифицированных услуг по медицинской метрологии создана мобильная лаборатория, разработаны методы поверки и для лучшего понимания пользователей, а также широкого внедрения медицинской метрологии опубликованы монография и научная статья по базе Scopus.

*Выводы:* Внедрение законодательной метрологии в медицине позволяет использовать более эффективные стратегии технического обслуживания, тем самым повышая экономическую эффективность и сокращая время простоя оборудования. Это, в свою очередь, приводит к более эффективной системе здравоохранения, способной решать проблемы общества.

**Ключевые слова:** законодательная метрология, изделия медицинского назначения, погрешность, безопасность, надежность, прослеживаемость

## **Annotation**

*Background:* 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, accuracy reliability and traceability of medical devices are becoming more emphasized as the time passes.

*Objectives:* The objective of this study is to present the results of the implementation of the legal metrology framework conducted by joint efforts of the State Center of Expertise and Standardization of Medicines, Medical Devices, and Medical Equipment and the Uzbek National Institute of Metrology and to provide safety, reliability, accuracy and traceability of medical measurement devices during upcoming verification interval.

*Methods:* 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.

*Results:* Results indicate that the implementation of legal metrology the framework leads to a significant increase in the accuracy of medical devices hence leading to increased reliability and patient safety in diagnostic and therapeutic processes. In order to achieve this result and provide qualified medical metrology service, mobile laboratory has been created, verification methods have been developed and for the well understanding of users as well as widely implementation of medical metrology monograph and scientific article under Scopus base has been published.

*Conclusions: Implementation of legal metrology to the medicine 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.*

**Key words:** legal metrology, medical devices, accuracy, safety, reliability, traceability

## Введение

Сегодня на мировом рынке представлено более 2 миллионов различных видов медицинской техники, разделенных на более чем 7000 групп универсальных устройств [1]. Более 90 % диагнозов и методов лечения, проводимых медицинскими работниками, основаны на результатах анализов с использованием МСИ, а остальные 10 % основаны на других диагностических методах, таких как прямой медицинский осмотр и сбор анамнеза. Поскольку измерения, производимые МСИ, используются для диагностики, профилактики, мониторинга заболеваний и жизнеобеспечения, они представляют потенциальный риск для жизни пациента [2].

МСИ как таковые должны контролироваться и регулироваться на всех этапах их жизненного цикла, от этапа разработки до использования в медицинских учреждениях [3]. Быстрый прогресс в системах здравоохранения в последние годы был вызван появлением биомедицинской инженерии и значительными достижениями в области цифровых технологий.

В Узбекистане спрос на здравоохранение резко увеличился в последние годы из-за роста распространенности предотвратимых неинфекционных заболеваний и неоптимального использования ресурсов здравоохранения [4]. Двумя основными организациями, отвечающими за поверку МСИ по метрологическим характеристикам измеряемых величин, являются Узбекский национальный институт метрологии (УЗНИМ) [5] и Государственный центр экспертизы и стандартизации лекарственных средств, изделий медицинского назначения и медицинской техники (ГЦЭСЛСИМНМТ) при Министерстве здравоохранения [6].

## Методы и материалы

В соответствии с законодательной базой Узбекистана поверки МСИ проводятся ежегодно. В данном исследовании данные по поверке, проведенные на территории Узбекистана, были собраны в период с 1 января 2016 года по 31 декабря 2021 года.

В целях анализа результатов внедрения системы законодательной метрологии было выявлено общее количество МСИ и рассмотрены все соответствующие отчеты по этим МСИ. Для сбора данных и эффективного осуществления метрологической службы в области медицины создана мобильная лаборатория, представленная на рисунке 1.

В таблице 1 представлены данные о поверенных и неповеренных МСИ в учреждениях здравоохранения. Поверенные МСИ были разделены на две категории: исправные (А) и неисправные (F) МСИ.

Анализ охвата данных (DEA) — это непараметрический метод оценки эффективности сложных систем. Его суть заключается в построении границы эффективности [7].

Были выбраны два входа и один выход:

X1 – процент МСИ, прошедших метрологический контроль в 2016 году;

X2 – процент МСИ, прошедших метрологический контроль в 2021 году;

Y1 – процент увеличения количества исправных МСИ.

## Результаты и Обсуждение

При сравнении соотношений поверенных и неповеренных МСИ в 2016 и 2021 годах результаты свидетельствуют о существенном улучшении и увеличении на 71 % поверенных МСИ при таком же сокращении количества неповеренных МСИ (Таблица 1).

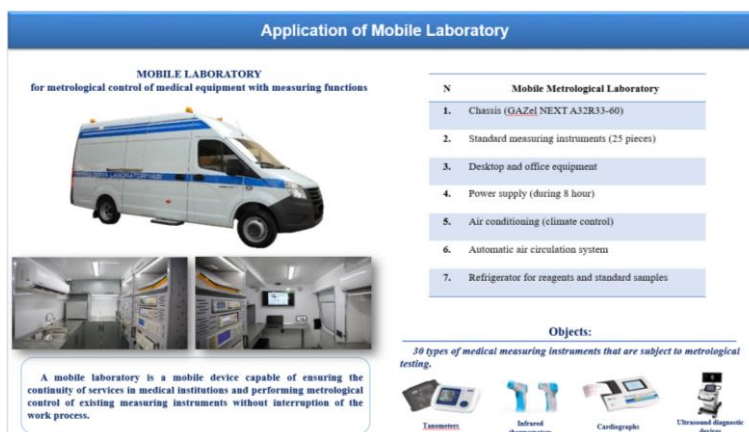


Рис. 1. Мобильная лаборатория и ее технические возможности



Таблица 1. Процент поверенных и неповеренных МСИ

Год	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)	2020 (%)	2021 (%)
Поверенные МСИ	15	20	33	61	70	86
Неповеренные МСИ	85	80	67	39	30	14

Доля неповеренных МСИ значительно снизилась при сравнении 2016 года с 2021 годом. В 2016 году доля неповеренных МСИ снизилась с 85 % до 14 %, а доля поверенных МСИ увеличилась соответственно с 15 % до 86 %. Прогнозные показатели на 2016 и 2021 годы свидетельствуют о том, что эта тенденция сохранится, и в ближайшие годы все МСИ будут охвачены метрологическим контролем.

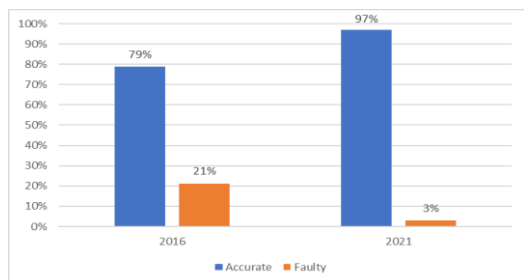


Рис. 2. Повышение точности медицинских приборов в период с 2016 по 2021 год

Как показано на рисунке 2, в 2016 году почти 21,3 % поверенных МСИ оказались неисправными, а 78,7 % из них оказались исправными. В 2021 году 3 % поверенных МСИ оказались неисправными, а 97 % из них оказались исправными. Это свидетельствует о существенном повышении безопасности и надежности работы МСИ за счет внедрения законодательной метрологической базы.

Таблица 2. Улучшение точности каждого поверенного МСИ в 2021 году по сравнению с 2016 годом

Целевое МСИ	Процент поверенных МСИ в 2016 году, X1 (%)	Процент поверенных МСИ в 2021 году, X2 (%)	Процентная точка, (%)	2016		2021		Y <sub>1</sub> , (%)
				X ( % )	✓ ( % )	X ( % )	✓ ( % )	
ЭЭГ	23	89	76	23	77	2	98	21
ЭКГ	17	92	75	25	75	6	94	19
Пульсоксиметр	0	41	41	0	0	39	61	0
Сфигмоманометр	21	85	64	24	76	8	92	16
Электромиограф	7	91	84	21	79	0	100	21
Эхоэнцефалограф	11	93	82	18	82	0	100	18
Реографы	14	87	73	19	81	0	100	19
УЗИ	19	90	71	25	75	9	91	16
Гематологический анализатор	22	94	72	22	78	1	99	21
Биохимический анализатор	20	95	75	23	77	4	96	19
Физиотерапевтическое оборудование	15	86	71	35	65	11	89	24
<b>Средний:</b>	15	86	71	21	69	7	93	17

В таблице 2 представлены основные результаты метрологического контроля МСИ после шестилетнего внедрения системы законодательной метрологии. Наиболее существенное улучшение количества МСИ, подлежащих метрологическому контролю, отмечено в электромиографических средствах измерений, где наблюдается прирост на 84 %. С другой стороны, доля пульсоксиметров, подлежащих метрологическому контролю, увеличилась наименьше всего – на 41 %. Причина низкого процентного роста для пульсоксиметров заключается в том, что они были включены в законодательную метрологию в 2020 году, тогда как другие МСИ были включены гораздо раньше. Фактором, который необходимо принять во внимание, является уровень импорта, который существенно повлиял на уровень метрологического контроля электромиографических средств измерений, где наблюдался значительный рост показателей их метрологического контроля в соответствии с увеличением их присутствия на рынке.

Доля исправных электромиографов, эхоэнцефалографов и реографов, прошедших поверку в 2021 году, составляет 100 %, как указано в таблице 2. По сравнению с 2016 годом метрологический контроль этих МСИ свидетельствует об увеличении доли исправных МСИ на 21 %, 18 % и 19 % соответственно.

Это подчеркивает положительный эффект, который оказывает регулярный метрологический контроль. Для достижения данного положительного эффекта в УзНИМ создана мобильная лаборатория, разработаны методы поверки МСИ, расширена область оказания услуг УзНИМ.

Не существует тесной связи между метрологическими институтами и медицинскими организациями, некоторые медицинские организации не обращают внимание на поверку МСИ и многие не знают о важности метрологии. В целях широкого распространения важности метрологии среди медицинских учреждений издана монография (рис. 3) [8]. Также в рамках международной конференции опубликована научная статья по проведенным исследованиям, индексируемая в базе Springer и Scopus [9].

### Дальнейшее развитие

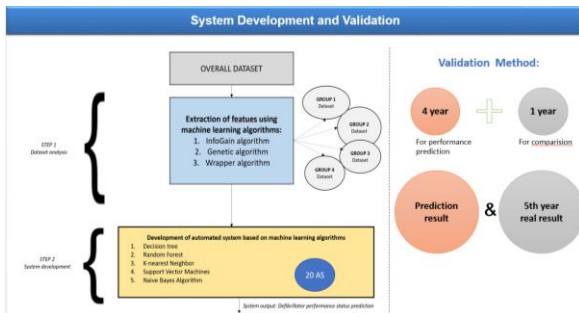


Рис. 4. Рабочий процесс разработки системы

Данные, собранные в ходе проведенных исследовательских работ, по визуальному состоянию МСИ, электробезопасности и производительности цифровизированны [9] для максимального использования. Поскольку эти данные собираются стандартизированным образом, это обеспечивает их полезность для прогнозного моделирования достоверности результатов МСИ для реализации наилучших возможных стратегий обслуживания. Это означает, что эти оцифрованные данные позволяют прогнозировать пригодность МСИ. На основе существующих данных была разработана модель прогнозирования пригодности МСИ (рис. 4), а в настоящее время разрабатывается программное обеспечение для прогнозирования пригодности МСИ.

### Вывод

Результаты данного исследования, которое являются первыми в Узбекистане такого рода, показывают, что эффективное внедрение законодательной метрологической базы для МСИ потенциально может предотвратить использование непригодных МСИ.

Дальнейшие усилия будут направлены на разработку программного обеспечения для прогнозирования пригодности МСИ. Таким образом будет обеспечена точность, безопасность, надежность и прослеживаемость МСИ в межповерочный период. Это, в свою очередь, обеспечит качество медицинской диагностики и лечения, а также безопасность пациентов.

### Литература

- [1] Alen Bosnjakovic, Zijad Dzemic Legal Metrology: Medical Devices. Proceedings of the International Conference on Medical and Biological Engineering, 2017 March 15, Volume-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, Almir et al. 'Post-market Surveillance of Medical Devices: A Review'. 1 Jan. 2022: 1 – 15.
- [4] 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).
- [5] Uzbek National Institute of Metrology. <https://nim.uz/en/about-us/general-information>.
- [6] State center for expertise and standardization of medicines, medical devices and medical equipment. <https://uzpharm-control.uz/en/>.
- [7] 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.
- [8] V.X.Nishonov, Sh.X.Ismatullaev, N.SH.Mo'minov "Tibbiyot o'Ichash vositalari metrologik tekshiruv" Monografiya, Innovatsion rivojlanish nashriyoti-matbaa uyi, Toshkent-2024.
- [9] Nishonov, V. et al. (2024). Implementation of Legal Metrology Framework for Medical Devices to Healthcare Sector in the Republic of Uzbekistan. In: Badnjević, A., Gurbeta Pokvić, L. (eds) MEDICON'23 and CMБEBIH'23. MEDICON CMБEBIH 2023 2023. IFMBE Proceedings, vol 94. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-49068-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-49068-2_9).

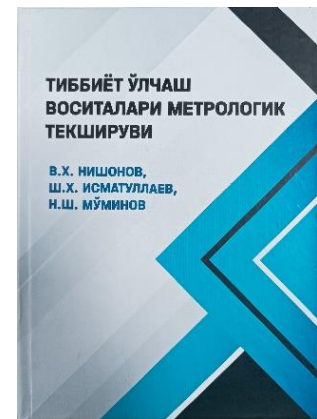


Рис. 3. Монография

[9] 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.

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ (E-METROLOGIYA.UZ)

Асомиддин Зухриддинович Нуриддинов<sup>1</sup>, Ахмадбек Эргашев<sup>2</sup>, Руслан Валиев<sup>3</sup>

ГУ «Узбекский Национальный Институт Метрологии»,  
Ташкент, Узбекистан  
+998 (78) 150 64 87, 29-bolim@nim.uz

## **Аннотация**

*Информационная система e-metrologiya.uz разработана с целью упрощения и автоматизации процессов метрологического контроля средств измерений в Узбекистане. В контексте стремительного развития информационных технологий и повышения требований к точности и надежности измерений, такая система становится необходимой для обеспечения эффективного функционирования государственных метрологических служб и улучшения качества метрологических услуг для предприятий и организаций. Основными преимуществами e-metrologiya.uz являются возможность онлайн-подачи заявок на метрологические услуги, согласование договоров и получение электронных сертификатов на средства измерений. Это позволяет существенно сократить временные затраты на получение метрологических услуг, ускорить процедуры подготовки необходимой документации и повысить уровень доверия к результатам измерений. В рамках развития системы e-metrologiya.uz акцентируется внимание на обеспечении высокой степени безопасности и конфиденциальности данных пользователей, а также на создании удобного и интуитивно понятного интерфейса для взаимодействия с системой. Благодаря такому подходу, информационная система e-metrologiya.uz становится важным инструментом для современных предприятий и организаций, стремящихся к повышению эффективности своей деятельности и обеспечению высокого качества своей продукции.*

**Ключевые слова:** конфиденциальность, информационная система, мониторинг, цифровизация, автоматизация, электронные услуги, метрологические услуги

## **Annotation**

*The e-metrologiya.uz information system developed to simplify and automate the processes of metrological control of measuring instruments in Uzbekistan. In the context of rapid development of information technologies and increasing requirements for the accuracy and reliability of measurements, such a system becomes necessary to ensure the efficient functioning of state metrological services and improve the quality of metrological services for enterprises and organizations. The main advantages of e-metrologiya.uz include the possibility of online submission of applications for metrological services, approval of contracts, and obtaining electronic certificates for measuring instruments. This significantly reduces the time spent on metrological control, speeds up the procedures for preparing the necessary documentation, and increases the level of trust in measurement results. In the development of the e-metrologiya.uz system, emphasis placed on ensuring a high degree of security and confidentiality of user data, as well as creating a convenient and intuitive interface for interaction with the system. Thanks to this approach, the e-metrologiya.uz information system becomes an important tool for modern enterprises and organizations striving to improve the efficiency of their activities and ensure the high quality of their products.*

**Key words:** confidentiality, information system, monitoring, digitalization, automation, electronic services, metrological services.

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

Современный мир требует активного развития цифровизации на всех этапах и процессах системы каждого государства, жизни и производства. В республике реализуются комплексные меры по активному развитию цифровой экономики, а также широкому внедрению современных информационно-коммуникационных технологий во все отрасли и сферы, прежде всего, в государственное управление, образование, здравоохранение и сельское хозяйство. Ради этих целей главой государства была утверждена Стратегия «Цифровой Узбекистан-2030» и меры по её эффективной реализации Указом Президента РУз от 5 октября 2020 года № УП-6079.

Во исполнение этого Указа была создана Информационная система e-metrologiya.uz с целью упрощения и автоматизации получения метрологических услуг заявителям. Система прежде всего направлена на искоренение существующих на тот период бюрократических барьеров и исключения бумажного документооборота в экологических аспектах.

Система позволяет проводить анализ, следить за метрологическим обеспечением средств измерений, используемых в калибровочных, поверочных, испытательных или в других лабораториях. Это возможно благодаря существующей базе данных, которая предусматривает доступ к актуальным и старым документам оформленных по результатам метрологического контроля, оформленных государственной метрологической службой. Это предоставляет исследователям надежную платформу для управления данными измерений, отслеживания календарей калибровки с соблюдением международных стандартов и лучших практик.

Автоматизация и цифровизация метрологических процессов в системе e-metrologiya.uz приносит существенные преимущества бизнесу, включая сокращение времени выполнения работ, улучшение метрологической отслеживаемости результатов измерений и оптимизацию распределения ресурсов. Информационная система и реализации электронной сертификации позволило снизить срок оказания метрологических услуг вдвое, а документооборот втрое, что в свою очередь сэкономило 6,2 млрд узбекских сум.

Более того, в контексте мировой торговли и сотрудничества гармонизация метрологических практик необходима для облегчения обмена товарами и услугами между странами. Система e-metrologiya.uz способствует этому, содействуя стандартизации и прозрачности метрологических процедур, тем самым способствуя укреплению доверия и уверенности международных партнеров.

В целях дальнейшего развития информационной системы e-metrologiya.uz и в соответствии с Законом Республики Узбекистан «О метрологии» обеспечения реализации единой государственной политики в области метрологической деятельности предусматривается применения данной системы как единой платформой для государственной метрологической службы, метрологических служб республиканских органов исполнительной власти и органов хозяйственного управления, а также метрологических служб юридических лиц, не являющихся республиканскими органами исполнительной власти и органами хозяйственного управления.

В заключение, разработка системы e-metrologiya.uz представляет собой своевременный и значимый ответ на изменяющиеся потребности как научных исследований, так и промышленных приложений. Путем использования современных информационных технологий для модернизации метрологических процессов данная система не только повышает эффективность и точность измерений, но и укрепляет основы для инноваций, сотрудничества и устойчивого развития в Узбекистане и за его пределами.

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

Практическая новизна данной темы состоит в создании современной информационной системы, целью которой является автоматизация процессов метрологического контроля средств измерений. Эта система предоставляет уникальные функциональные возможности, направленные на упрощение и улучшение качества метрологических процедур:

**Электронная цифровая подпись и система аутентификации:** Использование современных методов аутентификации и электронной цифровой подписи повышает безопасность и подтверждает достоверность всех метрологических документов и сертификатов.

**Онлайн-подача заявок и контрактов:** Предоставление возможности подачи заявок и заключения контрактов онлайн значительно упрощает и ускоряет процесс начала метрологических измерений.

**Мониторинг и учет состояния средств измерений:** Система позволяет осуществлять онлайн-мониторинг и учет состояния средств измерений, что позволяет пользователям оперативно получать информацию о статусе проводимых метрологических процедур.

**Онлайн-утверждение договоров и выдача электронных сертификатов:** Автоматизированный процесс утверждения договоров и выдачи электронных сертификатов сокращает время на выполнение процедур и повышает их эффективность.

**Интеграция с другими системами:** Возможность интеграции с другими системами позволяет обеспечить совместимость и эффективный обмен данными между различными структурами и организациями.

Эти инновационные функциональности делают данную информационную систему незаменимым инструментом для современных метрологических служб, а также повышают доступность и качество метрологических услуг для конечных пользователей.

### **Задача работы**

Задачей данной работы является разработка информационной системы для автоматизации процессов метрологического контроля средств измерений, которая будет способствовать повышению эффективности, точности и прозрачности метрологических измерений. Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи:

– Анализ существующих процессов метрологического контроля и выявление узких мест и проблемных зон.

– Определение требований к информационной системе и разработка её функциональных возможностей.

– Проектирование и разработка информационной системы с учетом современных технологических требований и стандартов безопасности.

– Тестирование и отладка системы для обеспечения её стабильной работы и соответствия заявленным требованиям.

– Внедрение информационной системы на практике и обеспечение её успешного функционирования в рамках государственных метрологических служб.

– Оценка эффективности системы и выявление возможностей для её дальнейшего совершенствования и развития.

### **Суть работы**

Суть работы связана с разработкой информационной системы, которая автоматизирует процессы метрологического контроля средств измерений. Главная цель состоит в повышении эффективности и точности метрологических измерений через цифровую трансформацию и оптимизацию работы государственных метрологических служб.

Это включает в себя следующие аспекты:

**Разработка функционала:** Разработка функционала системы, который включает в себя механизмы подачи и обработки заявок, заключение договоров, выдачу электронных сертификатов, а также обеспечение онлайн-мониторинга и учета состояния средств измерений.

**Область применения:** Определение области применения системы, которая включает в себя сотрудников государственных метрологических служб, а также физические и юридические лица, требующие проведения государственных метрологических услуг.

**Функциональные возможности:** Определение функциональных возможностей системы, включая электронную цифровую подпись, онлайн-подачу заявок и контрактов, автоматизированное согласование документов, выдачу электронных сертификатов, а также мониторинг и учет состояния средств измерений через интерфейс личного кабинета.

**Цель и практическая новизна:** Целью является создание современной и удобной информационной системы, которая повысит доступность и прозрачность метрологических услуг, а также улучшит качество и точность измерений. Практическая новизна заключается в использовании современных технологий для автоматизации процессов метрологического контроля, что приведет к сокращению времени на выполнение процедур и уменьшению вероятности человеческих ошибок.

На сегодняшний день с момента внедрения системы (с июня 2021 года) поступило всего 129 050 заявок на проведение метрологических услуг 943 567 единиц средств измерений, из которых 81 407 единиц средств измерений и 53 459 единиц средств испытаний на проведение метрологической аттестации, 57 422 единиц средств измерений на услуги по проведению калибровки.

Данные за 2023 год приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Заявки на проведение метрологических услуг в разрезе отраслей

Отрасль	Вид метрологической услуги		
	Поверка	Метрологическая аттестация	Калибровка
Легкая промышленность	36 988	3 647	1 881
Кожевенно-обувная	25 297	3 325	952
Сельское хозяйство	45 157	5 067	1 574
Пищевая промышленность	47 100	3 591	2 269
Электротехника	95 201	7 139	1 410
Химическая промышленность	62 338	5 671	2 064
Строительная промышленность	27 569	6 149	2 471
Машиностроение	64 371	6 029	1 579
Нефтегазовая отрасль	105 126	7 410	3 144
Экология	16 334	5 422	566
Здравоохранения	18 107	6 174	2 174
Металлургия	23 147	3 174	2 846
Информационные технологии	7 612	3 622	947
Всего	574 347	66 420	23 877

#### Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030» и мерах по ее эффективной реализации» (№ УП–6079, 05.10.2020 г.).

2. Закон Республики Узбекистан «О метрологии» в новой редакции (№ ЗРУ–614, 07.04.2020 г.).

3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан «О дополнительных мерах по совершенствованию порядка оказания метрологических услуг в Республике Узбекистан» (№ 528, 28.08.2020 г.).

# УЛУЧШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ОТ КОНЦЕПЦИИ К ПРАКТИКЕ

Андрей Олегович Отроков

ООО «Газпром трансгаз Москва» «Инженерно-технический центр»,  
Липецк, Российская Федерация  
+7-910-250-68-03, otrokov48@gmail.com

## **Аннотация**

*В данной работе представлен опыт разработки и внедрения цифровых инструментов для оптимизации процессов поверки средств измерений в ООО "Газпром трансгаз Москва". Было создано мобильное приложение "ПиКСИ Assistant" для упрощения поиска информации о СИ и передачи данных о поверке, а также программа "ПиКСИ DataBuilder" для автоматизации оформления и передачи данных о поверке во ФГИС "АРШИН" и ФГИС "Росаккредитация". Внедрение данных инструментов привело к повышению эффективности работы метрологической службы и снижению вероятности ошибок.*

**Ключевые слова:** метрологический контроль, цифровые технологии, оптимизация процесса, мобильное приложение, автоматизация процессов

## **Annotation**

*This paper presents the experience of developing and implementing digital tools to optimize the verification processes of measuring instruments (MI) in the Gazprom Transgaz Moscow company. The mobile application "ПиКСИ Assistant" was created to simplify the search for information about MI and the transfer of verification data, as well as the "ПиКСИ DataBuilder" program to automate the processing and transfer of verification data to the FGIS "Arshin" and FGIS "Rosakkreditatsiya". The implementation of these tools has led to a significant increase in the efficiency of the metrological service and a reduction in the likelihood of errors.*

**Key words:** metrological control, digital technologies, process optimization, mobile application, process automation

## **Актуальность**

Метрологический контроль играет ключевую роль в обеспечении качества продукции, безопасности технологических процессов, в формировании оснований для экономических расчётов. Для контроля этих параметров требуется определенное количество средств измерений, межповерочный интервал которых тоже подлежит контролю. Традиционные методы контроля, основанные на бумажной документации и ручных операциях, отличаются низкой эффективностью, подвержены ошибкам и требуют значительных временных затрат. Внедрение цифровых технологий позволяет оптимизировать процессы метрологического контроля, повысить их точность и скорость, а также снизить издержки.

## **Цель работы**

Разработка и внедрение цифровых инструментов для оптимизации процессов поверки средств измерений (далее - СИ), включая поиск информации о СИ, оформление и передачу данных о поверке в государственные информационные системы.

## **Задачи работы**

- Анализ существующих проблем в организации метрологического контроля.
- Разработка мобильного приложения для поиска информации о СИ и передачи данных о поверке (синхронизация).
- Разработка программы для автоматизации оформления и передачи данных о поверке во ФГИС "АРШИН" и ФГИС "Росаккредитация".
- Внедрение разработанных инструментов в практику метрологической службы.
- Оценка эффективности внедрения цифровых инструментов.

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

- Разработка мобильного приложения "ПиКСИ Assistant": Приложение обеспечивает быстрый поиск информации о СИ, доступ к истории поверок, калькулятор поправок и возможность передачи данных о поверке на сервер (синхронизация).



- Разработка программы "ПиКСИ DataBuilder": Программа автоматизирует процесс оформления и передачи данных о поверке во ФГИС "АРШИН" и ФГИС "Росаккредитация".

- Комплексный подход к оптимизации: Решения охватывают весь цикл поверки СИ, от поиска информации до передачи данных в государственные системы.

### Суть работы

**1. Анализ:** Были проведены исследования для выявления проблемных мест в процессе поверки СИ, связанных с поиском информации, оформлением результатов поверки и передачей данных.

**2. Разработка мобильного приложения:** С использованием языка программирования Kotlin и фреймворка Jetpack Compose было разработано мобильное приложение "ПиКСИ Assistant". Приложение предоставляет удобный интерфейс для поиска информации о СИ (рис. 1), просмотра истории поверок, а также позволяет поверителям отмечать поверку СИ и синхронизировать данные с сервером. Кроме того, приложение включает калькулятор поправок при поверке для рабочих эталонов по каналу давления.

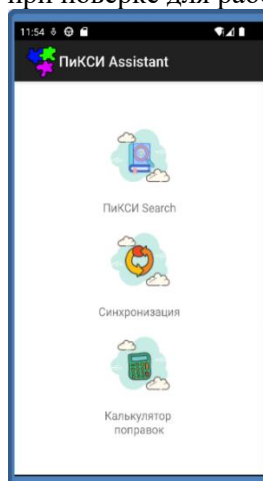


Рис. 1 – Внешний вид приложения

**3. Разработка программы для ПК:** На языке программирования Python была разработана программа "ПиКСИ DataBuilder", которая обеспечивает синхронизацию данных с сервером, автоматическое заполнение форм и формирование данных о поверке в формате XML для передачи во ФГИС "АРШИН" и ФГИС "Росаккредитация".

**4. Внедрение:** Разработанные инструменты были внедрены в работу метрологической службы общества "Газпром трансгаз Москва".

**5. Оценка эффективности:** Была проведена оценка временных затрат на поиск информации о СИ и оформление данных о поверке до и после внедрения цифровых инструментов. Результаты демонстрируют значительное повышение эффективности работы (рис. 2).

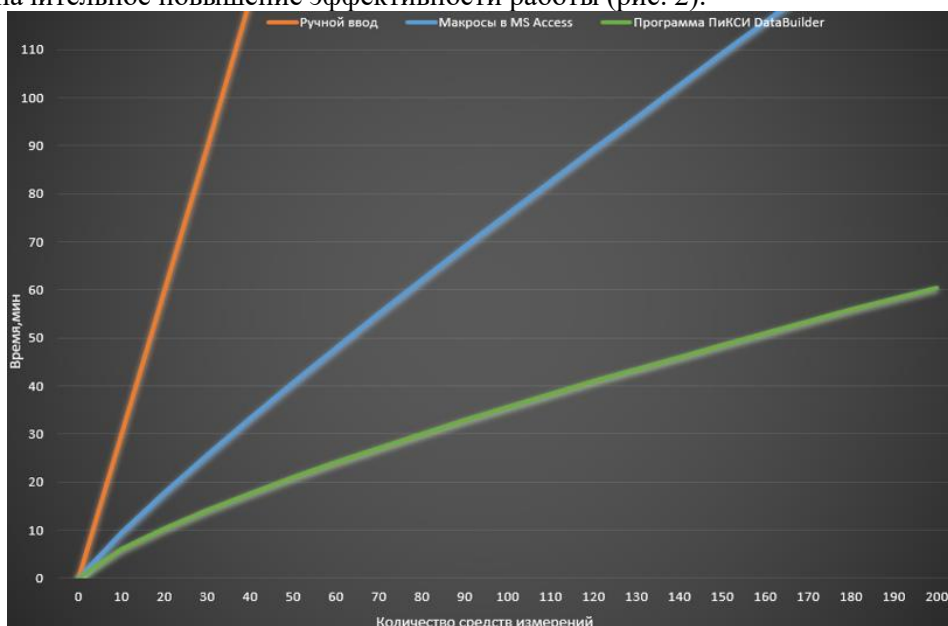


Рис. 2 – График затрат времени на поиск информации о СИ

### **Полученные результаты**

• **Снижение времени поиска информации о СИ:** В зависимости от объема данных, время поиска сократилось от 6 до 80 раз.

• **Ускорение процесса оформления и передачи данных о поверке:** Время оформления и передачи данных сократилось в несколько раз, в зависимости от количества СИ и метода поиска.

• **Снижение вероятности ошибок:** Автоматизация процессов минимизирует влияние человеческого фактора и снижает вероятность ошибок.

• **Повышение эффективности работы метрологической службы:** Сэкономленное время может быть использовано для выполнения других задач.

• **Снижение потребления бумаги:** Переход на цифровые технологии способствует экологичности и ресурсосбережению.

### **Заключение**

Внедрение цифровых инструментов, таких как мобильное приложение "ПиКСИ Assistant" и программа "ПиКСИ DataBuilder", позволяет существенно оптимизировать процессы метрологического контроля, повысить их эффективность и точность, а также снизить издержки. Данные решения могут быть адаптированы и внедрены в других организациях, занимающихся поверкой средств измерений, что способствует развитию и совершенствованию метрологического обеспечения в различных отраслях.

### **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. The Impact of Mobile Applications on Efficiency and the Transition from Paper-Based Systems. Journal of Digital Innovation, Smith, J. (2022), 45-62 p.

# РАЗРАБОТКА КАЛИБРАТОРА ТОКОВОЙ ПЕТЛИ

**Олег Викторович 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»)

Тюмень, Российская Федерация

+7(922)483-93-77; +7(3452)59-29-99; pazdnikovov@csm72.ru

## **Аннотация**

*Ввиду широкого распространения средств измерений, оснащенных выходным интерфейсом токовая петля (4-20 мА), есть потребность в портативных многоканальных калибраторах постоянного тока, позволяющих выполнять поверку на месте эксплуатации. Проведенный анализ рынка привел к решению создания портативного калибратора токовых и импульсных сигналов.*

*Целью работы является разработка портативного калибратора силы постоянного тока, способного работать от автономного источника питания в течение продолжительного времени и обладающего точностью, предъявляемой оборудованию данного типа. Метрологические характеристики полученных опытных образцов должны быть тщательно исследованы.*

*Создание устройства предполагало использование компонентов общего назначения. Схемотехника должна быть упрощена, насколько это возможно. Была оценена погрешность полученных прототипов, проведены испытания на воздействия внешних влияющих факторов: изменения напряжения питания, изменения температуры полупроводниковых компонентов, изменение сопротивления нагрузки и другие.*

*Для минимизации погрешности, ввиду воздействия влияющих факторов, принято решение оценивать величину влияющего фактора, и автоматически вводить корректирующие коэффициенты по средствам имеющихся аппаратных ресурсов.*

*В ходе работы получены прототипы узлов калибратора токовой петли имеющие необходимые показатели точности. На основании которых, был создан портативный калибратор, который в настоящее время готовится для испытаний в целях утверждения типа средств измерений.*

**Ключевые слова:** *воспроизведение силы постоянного тока, аналого-цифровое преобразование, цифро-аналоговое преобразование, цифровая обработка сигналов, разработка средств измерений, высокоточное измерение силы постоянного тока, ПИД-регулирование*

## **Annotation**

*Due to the widespread use of measuring instruments equipped with a current loop output interface (4-20 mA), there is a need for portable multi-channel DC calibrators that allow perform on-site verification procedure. The market analysis led to the decision to create a portable calibrator for current and pulse signals.*

*Thus, the goal of the work is to develop a portable DC current calibrator that can operate from an autonomous power source for a long time and has the accuracy required for this type of equipment. The metrological characteristics of the obtained test samples must be carefully examined.*

*The creation of the device involved the use of general-purpose components. The circuitry should be simplified as much as possible. The error of the resulting prototypes was assessed, tests were carried out for the effects of external influencing factors: changes in supply voltage, changes in the temperature of semiconductor components, changes in load resistance and others.*

*To minimize the error, due to influencing factors, it was decided to evaluate the magnitude of the influencing factor and automatically introduce correction factors using the available hardware resources.*

*In the course of the work, prototypes of current loop calibrator units with the necessary accuracy were obtained. On the basis of which, a portable calibrator was created, which is currently being prepared for testing of type approval of measuring instruments*

**Key words:** *DC current source, analog-to-digital conversion, digital-to-analog conversion, digital signal processing, measuring instrument development, high-precision DC current measurement, PID control*

### Актуальность в научном или прикладном значении

Для проведения поверки средств измерений на месте эксплуатации широко применяются универсальные калибраторы различных физических величин. Для удобства эксплуатации в полевых условиях, калибраторы должны обладать малыми размерами и весом, а также иметь автономное питание, при этом обеспечивая высокую точность воспроизведения сигналов [1]. В средствах измерений, используемых в инфраструктуре промышленной автоматизации, широко распространены средства измерений (СИ), имеющие импульсный выход, а также снабженные аналоговым интерфейсом токовая петля (4-20 мА). Как следствие, имеется потребность метрологических служб в портативных многоканальных калибраторах токовых и импульсных сигналов.

### Цель работы

Целью работы является разработка портативного калибратора силы постоянного тока и импульсных сигналов, способного работать от автономного источника питания в течение продолжительного времени и обладающего точностью, предъявляемой оборудованию данного типа.

### Научная новизна или практическая (прикладная) значимость

Имеющиеся на данный момент портативные калибраторы не полностью удовлетворяют требованиям точности. Помимо этого, часть из них, импортного производства более не поставляется на российский рынок. Калибраторы аналогичного назначения, отечественного производства, в свою очередь, представляют собой достаточно крупногабаритные устройства, с питанием от сети 220 В [2], [3], что создает дополнительные трудности при их использовании при работе в полевых условиях.

Создание малогабаритного, энергоэффективного, но при этом точного калибратора позволит обеспечить метрологические службы удобным в применении портативным эталоном, пригодным для множества задач.

### Задачи работы

Ввиду наличия практического опыта в разработке генераторов импульсных сигналов, а также невысоких требований к показателям точности в части формирования частоты следования импульсов, основной задачей является разработка узла калибратора постоянного тока с диапазоном от 1 до 22 мА, с абсолютной погрешностью не более  $\pm 3$  мкА. Для гарантий сохранности метрологических характеристик за межповерочный интервал, полученные опытные образцы должны быть тщательно исследованы.

### Суть работы

Изначально, было принято решение, реализовать модуль калибратора на основании специализированного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) с выходом токовая петля DAC161S997. Данная микросхема позволяет сформировать по команде управляющего микроконтроллера (МК) непосредственно аналоговый сигнал в виде постоянного тока, с диапазоном от 0,2 до 24 мА. Наличие встроенного в ЦАП токоизмерительного резистора (шунта) избавляет от необходимости использования внешних прецизионных резисторов, что предельно упрощает схему включения (рис. 1).

В результате, получился миниатюрный модуль, на печатной плате размерами 45x30 мм, пригодный для подключения к эталонному оборудованию, для определения метрологических характеристик.

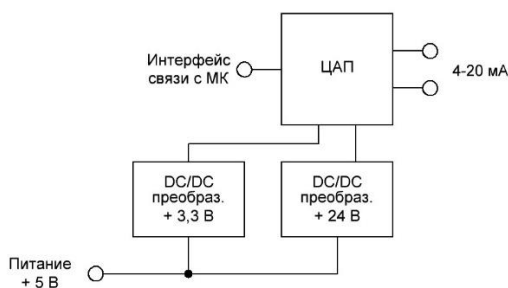


Рис. 1. Блок-схема модуля на специализированном ЦАП

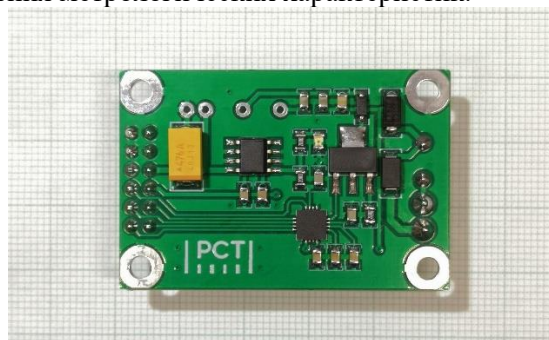


Рис. 2. Внешний вид модуля на специализированном ЦАП

Однако, ввиду ограничения поставок на территорию Российской Федерации компонентов импортного производства, дальнейшие исследования и разработка модуля на основе специализированного ЦАП было решено остановить. Для возможности беспрепятственного производства разрабатываемых изделий в будущем, принято решение использовать компоненты общего назначения. Схемотехника устройства должна быть упрощена, насколько это возможно.

В ходе нескольких итераций и путем реализации нескольких экспериментальных образцов было получено следующее решение, схема которого приведена на рисунке 3, а фотография внешнего вида на рисунке 4.

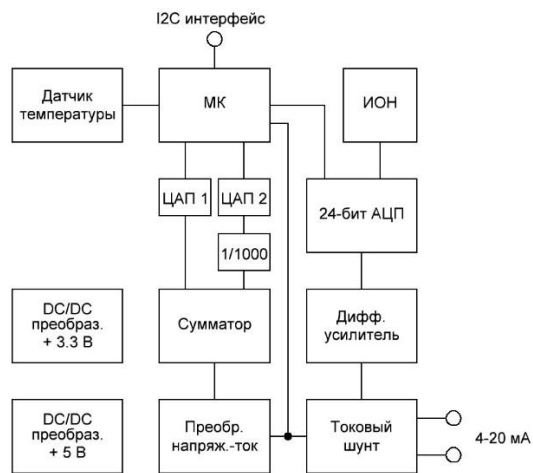


Рис. 3. Блок схема модуля на компонентах общего применения



Рис. 4. Внешний вид модуля на компонентах общего применения

Рассмотрим подробнее принцип действия полученного модуля. Управляющий МК получая по цифровой шине I2C команду на задание требуемой величины силы тока на выходе, управляет двумя 12 разрядными ЦАП. ЦАП формируют на своем выходе напряжение, пропорциональное цифровому коду, получаемому от МК, далее сигналы постоянного напряжения складываются в пропорции 1/1000 посредством аналогового сумматора на операционном усилителе (ОУ) и поступают на преобразователь напряжение-ток. Объединение таким образом двух 12 разрядных ЦАП, позволяет получить, в теории, разрешение в 24 разряда, что требуется для достижения необходимой точности поддержания силы тока на выходе. Далее токовый сигнал проходит через шунт, падение напряжения на котором усиливается дифференциальным усилителем и подается на 24 разрядный дельта-сигма аналого-цифровой преобразователь, формирующий цифровой код, который поступает обратно в МК. Таким образом реализуется, обратная связь, благодаря которой и алгоритму пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора [4], реализуемого на МК, осуществляется задание и динамическое поддержание требуемой силы тока на выходе.

Исследования первого опытного образца выявили явную зависимость погрешности воспроизведения силы постоянного тока от сопротивления нагрузки. Данная зависимость обусловлена изменением напряжения на входах дифференциального усилителя, т.е. изменением, так называемого, синфазного сигнала. Численно, погрешность могла достигать минус 12 мкА, что в четыре раза превышает допустимое значение. Попытки уменьшения этой погрешности подбором компонентов, и заменой модели дифференциального усилителя не увенчались успехом, однако многочисленные эксперименты выявили явную, линейную зависимость величины погрешности от сопротивления нагрузки. Таким образом, было принято решение реализовать возможность измерения напряжения синфазного сигнала на входе дифференциального усилителя, посредством АЦП основного МК, и автоматически вводить поправочные коэффициенты для минимизации этой погрешности, для чего каждый экземпляр проходит индивидуальную калибровку и внесение рассчитанных коэффициентов в память МК.

Так же на результирующую погрешность оказывает влияние изменение температуры полупроводниковых компонентов [5]. Идеальным вариантом было бы помещение узла формирователя тока в термостат, но в концепцию портативного прибора данное решение не вписывается, ввиду увеличения габаритов прибора и значительным увеличением потребляемой мощности (на поддержание температуры внутри термостата). Для минимизации этой составляющей погрешности элементы, отвечающие за измерение силы тока (токовый шунт, дифференциальный усилитель, АЦП и его источник опорного напряжения) расположены в одной области печатной платы, и накрыты пластиковым экраном (на рис. 4, показан модуль без этого экрана). Температура внутри объема, ограниченного этим экраном и плоскостью печатной платы, измеряется с помощью терморезистора и АЦП МК. Посредством помещения модуля во внешний термостат производится оценка погрешности формирования силы тока в

диапазоне температур от плюс 10 °С до плюс 50 °С. Далее, полученная зависимость рассчитывается и так же вносится в память МК для автоматической коррекции.

### **Полученные результаты**

Применение вышеописанных решений позволило достичь погрешности не более  $\pm 3$  мкА при формировании силы тока в диапазоне от 1 до 22 мА. Опасения вызывало явление дрейфа параметров компонентов измерительной схемы, что привело бы к постепенному увеличению погрешности со временем, с момента первоначальной калибровки. Для оценки величины дрейфа были изготовлены 5 модулей, каждый из которых содержит 4 канала воспроизведения силы постоянного тока, т.е. в общей сложности 20 каналов. В течение последних 9 месяцев, один раз в две недели производится оценка погрешности всех каналов, и в настоящее время, тенденции к систематическому её увеличению со временем не выявлено.

Используя полученный модуль, был создан портативный калибратор, который в настоящее время готовится для испытаний в целях утверждения типа средств измерений.

### **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.
3. Устройства поверки вторичной аппаратуры «УПВА-Эталон». Описание типа средства измерений № 70045-17.
4. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. Пер. с англ. М.: Вильямс, 2004. 992 с.
5. ГОСТ 20.57.406-81 Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2005. 32 с.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Сергей Владимирович Пахомов

Филиал ПАО «Россети»-Ростовское ПМЭС  
Ростов-на-Дону, Российская Федерация  
+7 (863)- 238 52 88, Pahomov-SV@fskees.ru

## **Аннотация**

*Измерение давления – это измерение силы, приложенной текучей средой (жидкостью или газом) к поверхности. Давление обычно измеряется в единицах силы на единицу площади поверхности. В холдинге ПАО «Россети» ежедневно происходит измерение десятков различных физических величин в том числе и измерение давления с помощью манометров. Данные измерения используются для контроля давления масла в гидроприводе высоковольтных выключателей, давления воды в системах пожаротушения, давления воздуха в компрессорном агрегате. Настоящей работой предусмотрена автоматизация измерения давления вышеуказанных параметров с целью уменьшения времени получения информации персоналом, обслуживающим электроустановку, последующего анализа и оценки технического состояния оборудования в целом. Такая автоматизация позволит в возможно короткие сроки выявлять быстро развивающиеся дефекты в электротехническом оборудовании, отслеживать положительную или отрицательную динамику фактического состояния оборудования и как следствие значительно уменьшить риск появления аварийных дефектов оборудования, снизить экономические затраты на ремонт и замену дефектного оборудования, повысить надежность электроснабжения потребителей электросетевого комплекса. Автоматизированная система контроля давления (далее по тексту-АСКД) принципиально состоит из манометров различного типа установки в зависимости от места размещения (открытое распределительное устройство, компрессорная, система пожаротушения) с цифровым выходом RS-485, объектных контроллеров, автоматизированного рабочего места оперативного персонала (далее по тексту – АРМ) с функцией отображения уровня давления в оборудовании, возможностью контроля допустимых значений и наличием звуковой сигнализации.*

**Ключевые слова:** измерение давления, автоматизация, измерительный канал, электроустановка, манометр

## **Annotation**

*Pressure measurement is the measurement of the force applied by a fluid (liquid or gas) to a surface. Pressure is usually measured in units of force per unit surface area. Dozens of different physical quantities are measured daily at the PJSC ROSSETI holding company, including pressure measurement using pressure gauges. These measurements are used to control the oil pressure in the hydraulic drive of high-voltage switches, water pressure in fire extinguishing systems, and air pressure in the compressor unit. This work provides for automation of pressure measurement of the above parameters in order to reduce the time for information to be received by the personnel servicing the electrical installation, subsequent analysis and assessment of the technical condition of the equipment as a whole. Such automation will make it possible to identify rapidly developing defects in electrical equipment in the shortest possible time, monitor the positive or negative dynamics of the actual condition of the equipment and, as a result, significantly reduce the risk of emergency equipment defects, reduce the economic costs of repairing and replacing defective equipment, and increase the reliability of power supply to consumers of the electric grid complex. The automated pressure monitoring system (hereinafter referred to as APMS) basically consists of pressure gauges of various types of installation, depending on the location (open switchgear, compressor, fire extinguishing system) with digital output RS-485, object controllers, automated workplace of operational personnel (hereinafter referred to as AWOP) with the function of displaying the pressure level in the equipment, the ability to control the permissible values and the presence of an audible alarm.*

**Key words:** Pressure measurement, automation, measuring channel, electrical installation, pressure gauge

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

Надежное электроснабжение потребителей– это амбициозный вызов, который в наше время встречает электросетевой комплекс. Основополагающим инструментом для надежного функционирования электросетевого комплекса является – измерение физических величин. В данной



работе предлагается обратить внимание на проблему автоматизации значений давления в электротехническом оборудовании, измерение которого напрямую влияет на надежность и качество электроснабжения потребителей.

### Цель работы

Автоматизация контроля измерений давления оборудования электроустановки для своевременного вывода оборудования в ремонт на основе обнаружения развивающихся дефектов обслуживающим персоналом или устройствами релейной защиты и автоматики.

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

Научная новизна этой работы заключается в том, что впервые автоматизированы измерения давления масла в гидроприводе высоковольтных выключателей, воды в системах пожаротушения, давления воздуха в компрессорном агрегате с функцией отображения уровня давления в оборудовании на автоматизированном рабочем месте персонала обслуживающего электроустановку с возможностью контроля допустимых значений и наличием звуковой сигнализации.

### Задачи работы.

Задачами настоящей работы являются:

Разработка на объекте АСКД.

### Суть работы

Разработка и описание цифрового измерительного канала давления масла в гидроприводе высоковольтного выключателя на электрической подстанции:

Для разработки данного информационного измерительного канала используем манометр с климатическим исполнением УХЛ1 (ГОСТ 15150-69), верхним пределом измерений 4 кгс/см<sup>2</sup> (типовая инструкция по эксплуатации маслonaполненных вводов на напряжение 110-750 кВ ТИ-34-70-026-84), классом точности 1,5 (ГОСТу 2405-88), питанием 12-24 В и цифровым выходом RS-485. Дополнительно используем кабель симметричный для промышленного интерфейса RS-485 КИ-485-ЭВнг(А)-LS 7x2x0.6 для организации измерительного канала и собственного питания манометра. Так же используем моноблочный объектный контроллер с возможностью ведения обмена данными SCADA по открытому протоколу OPC (DA, HDA). Выполним монтаж манометра на вентиль согласно схемам 1 и 2.

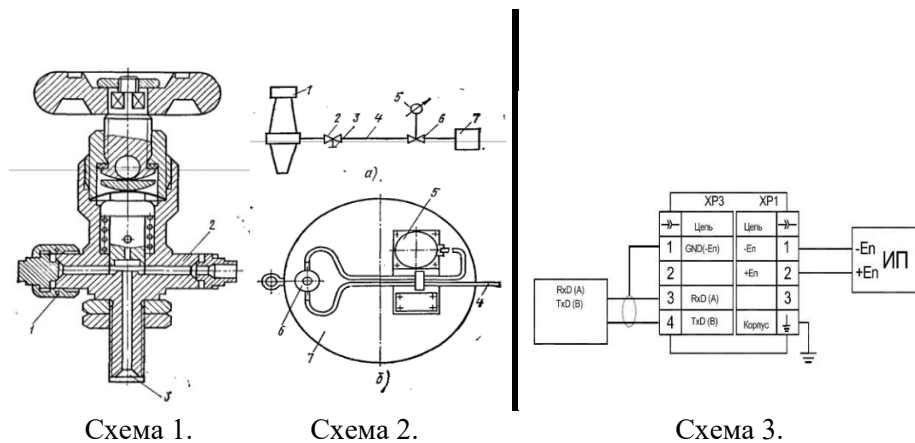


Схема 1. Вентиль. 1 — штуцер для накидной гайки с глухим ниппелем, 2— штуцер для подсоединения трубки, 3 — штуцер для установки во ввод.

Схема 2. Схема (а) подсоединения бака давления к вводу и расположение (б) деталей на крышке бака давления:

1 — ввод, 2 — вентиль ввода, 3 — накидная гайка вентиля ввода, 4 — трубка, соединяющая ввод с баком давления, 5 — манометр, 6 — вентиль бака давления, 7— бак давления.

Далее проводим подключение манометра используя схему 3.

Схема 3. XP-1 —разъем для подключения источника питания (1 и 2 вход питания манометра 12-24В), XP-3- разъем интерфейса RS-485 (1-земля,3 и 4 цифровой выход RS-485) ИП-источник питания.

После чего используемый кабель RS-485 КИ-485-ЭВнг(А)-LS 7x2x0.6 подключаем в объектный котроллер и затем с помощью кабеля Ethernet на автоматизированное рабочее место персонала.

(См.п.4 настоящего раздела).

Разработка и описание цифрового измерительного канала давления воды в системе пожаротушения на электрической подстанции:



Для разработки данного информационного измерительного канала используем манометр с климатическим исполнением УХЛЗ (ГОСТ 15150-69), верхним пределом измерений 16 кгс /см<sup>2</sup> (ГОСТ Р 59636-2021) , классом точности 1,5 (ГОСТ 2405-88) ,питанием 12-24 В и цифровым выходом RS-485. Дополнительно используем кабель симметричный для промышленного интерфейса RS-485 КИ-485-ЭВнг(А)-LS 7x2x0.6 для организации измерительного канала и собственного питания манометра. Так же используем моноблочный объектный контроллер с возможностью ведения обмена данными SCADA по открытому протоколу OPC (DA, HDA). Выполним монтаж манометра на вентиль согласно схемам 4 и 5.

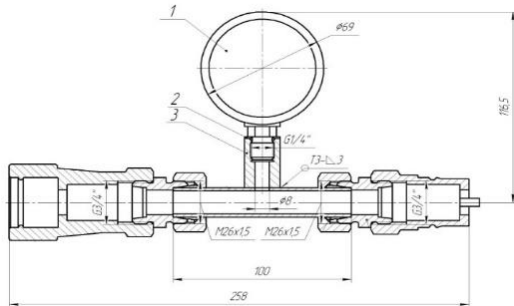


Схема 4

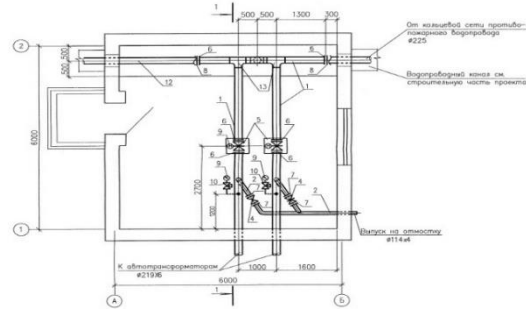


Схема 5

Схема 4. Общий вид. 1 —манометр, 2—сварочный шов, 3 — штуцер для установки во ввод.

Схема 5. Схема размещения манометров в системе пожаротушения:

1,2 — труба стальная электросварная, 3,4 — задвижка клиновья фланцевая, 5 — задвижка с электроприводом, 6,7-фланец, 9- манометр, 10- Кран переходной, 11 труба стальная оцинкованная, 12- Труба ПНД, 15-16 – стальная труба футляр.

Для подключения интерфейсных цепей RS-485 используем аналогичный схеме 3 настоящего раздела принцип. После чего используемый кабель RS-485 КИ-485-ЭВнг(А)-LS 7x2x0.6 подключаем в объектный котроллер и затем с помощью кабеля Ethernet на автоматизированное рабочее место персонала. (См.п.4 настоящего раздела).

Разработка и описание цифрового измерительного канала давления воздуха в компрессорном агрегате на электрической подстанции.

Для разработки данного информационного измерительного канала используем манометр с климатическим исполнением УХЛЗ (ГОСТ 15150-69), верхним пределом измерений 100 кгс /см<sup>2</sup> (ГОСТ Р 8.905-2015) , классом точности 1,0 (ГОСТ 2405-88) ,питанием 12-24 В и цифровым выходом RS-485, специального исполнения - вибростойкий. Дополнительно используем кабель симметричный для промышленного интерфейса RS-485 КИ-485-ЭВнг(А)-LS 7x2x0.6 для организации измерительного канала и собственного питания манометра. Так же используем моноблочный объектный контроллер с возможностью ведения обмена данными SCADA по открытому протоколу OPC (DA, HDA). Выполним монтаж манометра согласно схем 6 и 7.

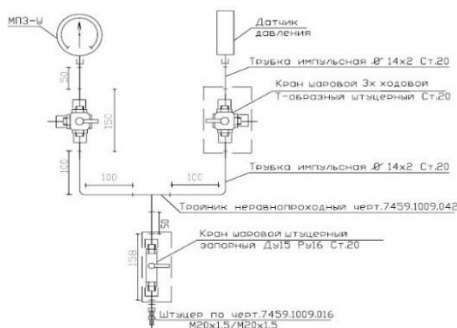


Схема 6

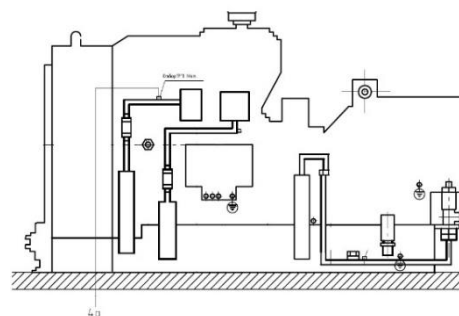


Схема 7

Схема 6. Монтажная схема манометра.

Схема 7. Схема размещения манометра на компрессорном агрегате для измерения давления IV ступени. 4а –установочное место.

Для подключения интерфейсных цепей RS-485 так же используем схему 3 настоящего раздела. После чего используемый кабель RS-485 КИ-485-ЭВнг(A)-LS 7х2х0.6 подключаем в объектный контроллер и затем с помощью кабеля Ethernet на автоматизированное рабочее место персонала. (См.п.4 настоящего раздела).

Консолидация полученных измерений на автоматизированном рабочем месте персонала с функцией отображения и наличием звуковой сигнализации.

Приходящие контакты кабеля RS -485 измерительных каналов давления масла в гидроприводе высоковольтного выключателя, давления воды в системе пожаротушения, давления воздуха в компрессорном агрегате подключаем в объектный контроллер (рассмотрен контроллер на базе существующего КОМПАС ТМ 2.0. ЕК 570Е)

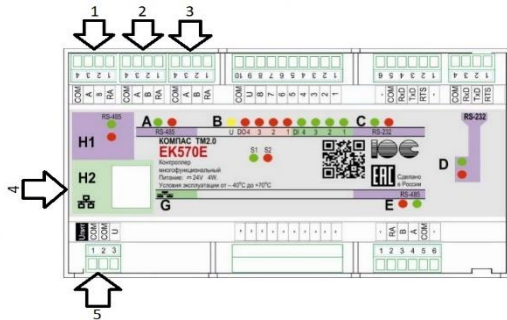


схема 8

Подключение RS-485 к порту А

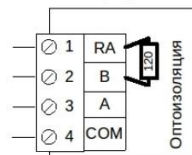


схема 9

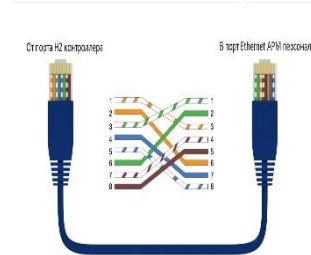


схема 10

Схема 8. Подключение к контроллеру. 1 — RS-485 измерения давления масла в гидроприводе высоковольтного выключателя, 2— RS-485 давления воды в системе пожаротушения, 3— RS-485 давления воздуха в компрессорном агрегате, 4 Выход Ethernet для подключения автоматизированного рабочего места персонала (далее по тексту – АРМ), 5 – канал подключения собственного питания контроллера.

Схема 9. Детальная схема подключения RS-485 к порту А используемого контроллера.

Схема 10. Схема выполнения адресации кабеля Ethernet в линии контроллер – АРМ персонала.

Используя схемы 3, 8-10 выполним коммутацию цифровой линии манометр – АРМ персонала. Затем параметризацию контроллера используя специальную утилиту SCADA, при этом функциональные характеристики контроллера определяются резидентным программным обеспечением, загруженным во FLASH-память контроллера. Для каждой группы манометров в зависимости от места установки с использованием утилиты задаются фактически измеренные значения: нормальное, предаварийное, аварийное. При достижении значения «предаварийное» срабатывает звуковой сигнал «внимание». Значения давления в оборудовании отображаются в режиме реального времени. Полученные значения возможно интегрировать в систему релейной защиты на объекте для автоматического вывода оборудования в ремонт. На дисплее АРМ персонала при необходимости шкалы измерений манометров могут отображаться различными видами (рисунок 1).



Рис. 1. Формы отображения измерений.

### Полученные результаты

В результате проведенной работы выполнена автоматизация измерений давления масла в гидроприводе высоковольтных выключателей, давления в системе пожаротушения, давления воздуха в

компрессорном агрегате. Выполнена консолидация полученных измерений с отображением на дисплее АРМ персонала, ну уровне программного обеспечения заданы значения срабатывания звуковой сигнализации. Подобная автоматизация позволит в режиме реального времени отслеживать значение давления в электрооборудовании и снизит количество времени на принятие решения о выводе в ремонт при выявлении аварийных значений.

#### **Литература**

1. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов окружающей среды.
2. ГОСТ 2405-88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры. Общие технические условия.
3. ТИ-34-70-026-84. Типовая инструкция по эксплуатации маслonaполненных вводов на напряжение 110-750 кВ.
4. ГОСТ Р 59636-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Установки пожаротушения автоматические. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность.
5. ГОСТ Р 8.905-2015. Манометры показывающие. Рабочие средства измерений. Метрологические требования и методы испытаний.
6. Инструкция по эксплуатации контроллера КОМПАС ТМ 2.0. ЕК 570Е.

## О ХОДЕ РАЗРАБОТКИ ИСХОДНОГО ЭТАЛОНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ВОДЫ В ПОТОКЕ

Олеся Евгеньевна Первухина, М.П. Крашенинина, О.С. Голынец, А.Б. Туринцева

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  
pervuhinaoe@uniim.ru

### **Аннотация**

*Согласно Федеральному закону от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» на объектах I категории, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ, образующихся при эксплуатации технических устройств, оборудования или их совокупности (установок), должны быть оснащены системами автоматического контроля. Основными обязательными требованиями к автоматическим информационно-измерительным системам являются требования, изложенные в Постановлениях Правительства РФ от 13.03.2019 г. № 262 и № 263. Ключевая особенность систем автоматического контроля заключена в объединении двух видов измеряемых величин: системы ведут физико-химические измерения, определяя содержание загрязняющих веществ и свойства воды, а помимо этого учитывают объемный (массовый) расход для возможности формирования отчетности по текущим и интегральным показателям загрязнений выбросов (сбросов) и суммарных сбрасываемых загрязнений. Таким образом, для метрологического обеспечения систем автоматического контроля необходима разработка исходного эталона контроля состава и свойств воды в потоке. В данной работе представлены: краткая характеристика систем автоматического контроля, подходы к разработке исходного эталона для контроля состава и свойств воды в потоке и ожидаемые результаты и предполагаемые метрологические характеристики.*

**Ключевые слова:** *исходный эталон, вода в потоке, система автоматического контроля, контроль выбросов и сбросов, загрязняющие вещества*

### **Annotation**

*According to the Federal Law dated 10.01.2002 No. 7-FZ "On Environmental Protection" at the facilities of the I category, which have a significant negative impact on the environment, stationary sources of emissions of pollutants, discharges of pollutants formed during the operation of technical devices, equipment or their aggregate (installations), must be equipped with automatic control systems. The main mandatory requirements for automatic information are measuring systems are the requirements set out in the Decrees of the Government of the Russian Federation dated 13.03.2019 No. 262 and No. 263. The key feature of automatic control systems of emissions and discharges control is the combination of two types of measured quantities: the systems conduct physics-chemical measurements, determining the content of pollutants and water properties, and, in addition, take into account the volumetric (mass) flow rate for the possibility of reporting on current and integral indicators of emissions (discharges) and total discharged pollutants. Thus, for metrological support of automatic control systems it is necessary to develop an initial standard of control of composition and properties of water in the flow. This paper presents: a brief characteristic of the automatic control system, approaches to the development of an reference standard for controlling the composition and properties of water in the stream and the expected results and expected metrological characteristics.*

**Key words:** *reference standard, water in the flow, automatic control system, emissions and discharges control, pollutant discharges*

Основанием к разработке исходного эталона для контроля состава и свойств воды в потоке послужили требования, регламентированные Федеральным законом от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ (о внесении изменений в Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды») [1], предписывающие организацию автоматического контроля выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также Федерального закона от 29.07.2018 г. № 252-ФЗ (о внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды») [2] и отдельные законодательные акты Российской Федерации»

в части создания систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ. При этом, в соответствии с № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [3], измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования, должны выполняться по аттестованным методикам, с использованием средств измерений утвержденного типа, прошедших поверку.

Система автоматического контроля (далее – САК) – комплекс технических средств, обеспечивающих автоматические измерения и учет показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, фиксацию и передачу информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Исходный эталон единицы величины – эталон единицы величины, обладающий наивысшими показателями точности среди эталонов единицы величины, который применяется в подведомственной организации федерального органа исполнительной власти, государственной корпорации, у юридического лица или индивидуального предпринимателя, от которого передается единица величины (Постановление Правительства РФ от 23.09.2019 г. № 734 [4]).

Основными обязательными требованиями к автоматическим информационно-измерительным системам (далее – АИС) являются требования, изложенные в Постановлениях Правительства РФ от 13.03.2019 г. № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ» [5] и № 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду» [6].

Ключевой особенностью АИС контроля выбросов и сбросов заключена в объединении двух видов измеряемых величин: системы ведут физико-химические измерения, определяя содержание загрязняющих веществ и свойства воды, а помимо этого учитывают объемный (массовый) расход для возможности формирования отчетности по текущим и интегральным показателям загрязнений выбросов (сбросов) и суммарных сбрасываемых загрязнений.

Таким образом, для метрологического обеспечения САК и многопараметрических промышленных анализаторов, в частности, для проведения испытаний в целях утверждения типа, была необходима разработка исходного эталона контроля состава и свойств воды в потоке, поскольку особенностью испытаний в целях утверждения типа САК сбросов является необходимость проведения испытаний в два этапа.

На первом этапе испытания проводятся в условиях одной лаборатории для градуировки анализаторов свойств и состава воды, для проверки калибровочных (градуировочных) характеристик и настроек измерительных каналов; отсутствия перекрестного влияния загрязняющих веществ; соответствия характеристик погрешности по всему диапазону измерений; соответствия характеристик погрешности при изменении внешних условий.

На втором этапе необходимо проверить метрологические характеристики средств измерений или САК в потоке, то есть выявить источники дополнительной погрешности средств измерений, вызванной проведением измерений в потоке, с возможной инертностью датчиков, воздействием перекрестного влияния и других факторов.

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует эталон, обеспечивающий передачу единиц содержания (массовой концентрации) компонентов и показателей в потоке: рН, растворенного кислорода, удельной электропроводности (УЭП), мутности, взвешенных веществ, химическое потребление кислорода (ХПК), фосфатов, ионов аммония, хлоридов, нитратов, нитритов, температуры (далее – компонентов и показателей), в связи с чем необходимо создание исходного эталона состава и свойств воды в потоке, способного непрерывно измерять содержание (массовую концентрацию) компонентов и показателей, а также создание экспериментальных эталонных установок для применения юридическими лицами, аккредитованных на проведение поверок средств измерений. Исходный эталон должен представлять собой замкнутые контуры с циркулирующим контрольным раствором, моделирующим поток с установленными датчиками и стационарными установками для измерений состава и свойств воды.

Измерительные стенды представляют собой закрытые гидравлические системы с циркулирующей магистралью для подключения промышленных многопараметрических анализаторов погружного типа

или поточного типа для измерения состава и свойств природных, питьевых, промышленных и сточных вод.

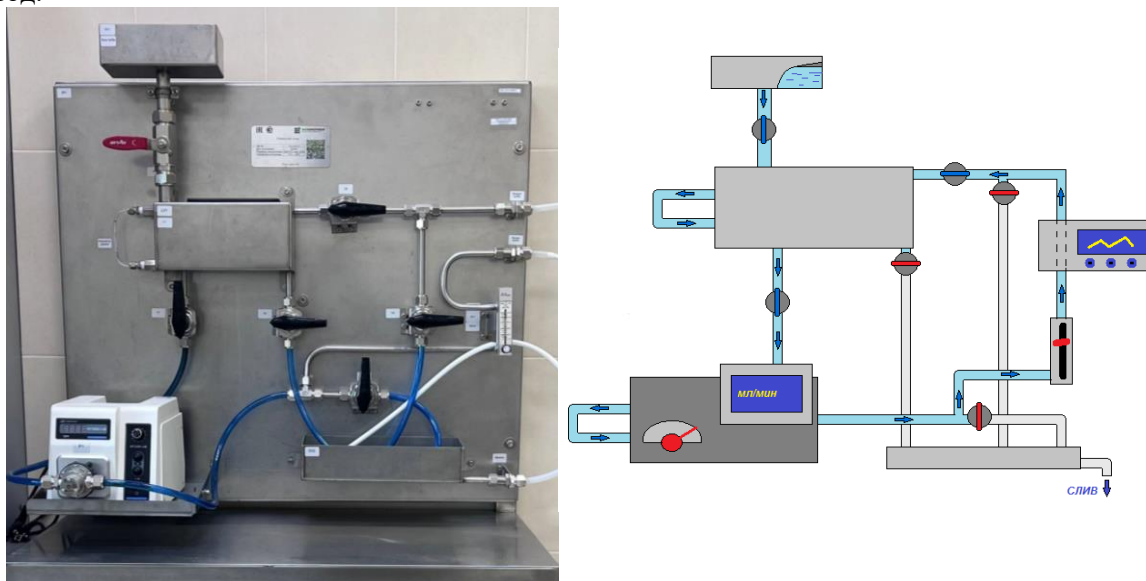


Рис. 1 - 2 Замкнутый контур с контролируемой скоростью потока для испытаний анализаторов поточных

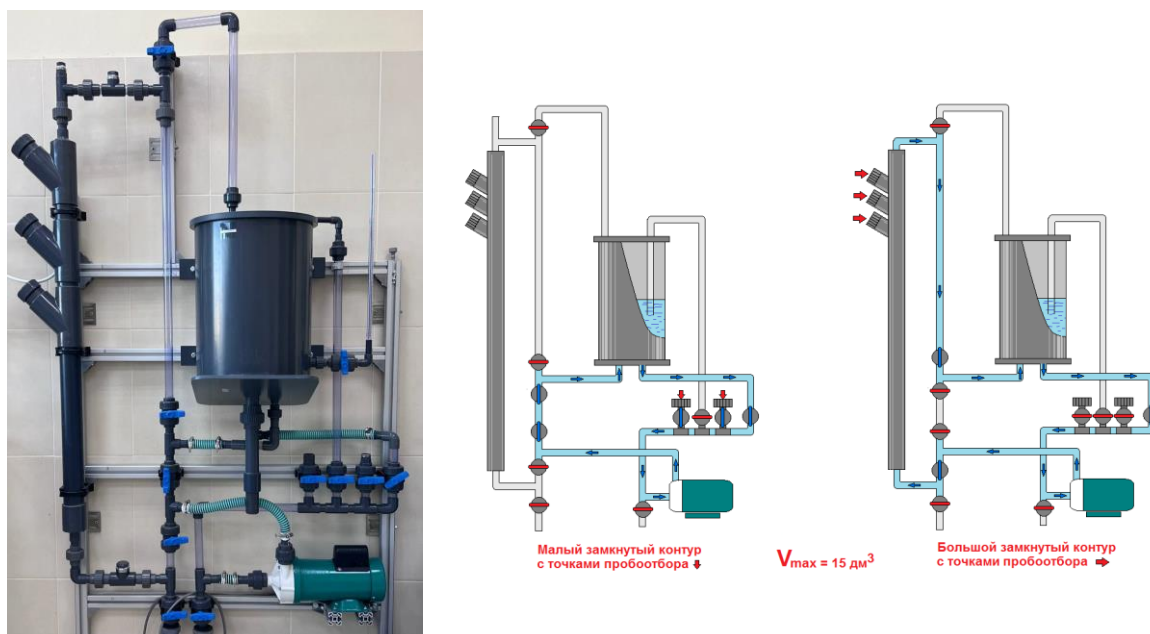


Рис. 3 - 4 Замкнутый контур с точкой пробоотбора для испытаний погружных поточных датчиков

Работы над разработкой исходного эталона ведутся с 2016 года, когда специалисты 241 лаборатории участвуют в написании Информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». В 2018 г. в УНИИМ ввели в эксплуатацию испытательный стенд на основе замкнутого контура с циркулирующей водой, с точками пробоотбора для испытаний погружных поточных датчиков. Данный стенд оснащён единой магистралью для размещения анализаторов и датчиков контроля свойств и состава воды, вторичных преобразователей, измерительных каналов испытуемых САК сбросов для проведения испытаний средств измерений состава и свойств воды. Затем в 2022 г. был разработан и введён в эксплуатацию испытательный стенд на основе замкнутого контура с циркулирующей водой и контролируемой скоростью потока для испытаний анализаторов поточных. В настоящее время в УНИИМ – филиале ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» ведётся разработка исходного эталона контроля состава и свойств воды в потоке

Специалистами УНИИМ ежегодно проводятся испытания в целях утверждения типа анализаторов воды многопараметрических и датчиков промышленных непрерывного действия, которые могут использоваться самостоятельно и в составе САК.

Востребованность разработки исходного эталона подтверждается необходимостью утверждения типа систем автоматического контроля, промышленных многопараметрических анализаторов для измерения показателей в потоке, подлежащих контролю в соответствии с Постановлениями Правительства РФ от 13.03.2019 № 262 и № 263, а также при получении комплексных экологических разрешений в соответствии с постановлением Правительства РФ от 04.08.2022 № 1386 «О порядке рассмотрения заявок на получение комплексных экологических разрешений, выдачи, переоформления, пересмотра, отзыва комплексных экологических разрешений и внесения в них изменений» [7].

Проводились экспериментальные исследования с использованием стандартных образцов, ГВЭТ-176-1-2010, спектрофотометра и рН-метра, в результате которых были получены следующие метрологические характеристики (таблица 1).

Таблица 1 – Планируемые метрологические характеристики исходного эталона

Анализируемый показатель	Диапазон измерений	Погрешность
рН	от 0 до 14	± 0,02 абс.
УЭП	от 0,005 до 20 См/м	± 2,0 % отн.
Массовая концентрация ионов, мг/дм <sup>3</sup>	от 0,005 до 1000 мг/дм <sup>3</sup>	± 8,0 % отн.
Массовая концентрация растворенного кислорода, мг/дм <sup>3</sup>	от 0,4 до 20 мг/дм <sup>3</sup>	± 0,05 абс.
Массовая концентрация взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	от 0,5 до 10000 мг/дм <sup>3</sup>	± 8,0 % отн.
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	от 0,5 до 10500 мг/дм <sup>3</sup>	± 4,0 % отн.
Мутность, ЕМФ	от 0,05 до 4000 ЕМФ	± 4,0 % отн.
Температура, °С	от 0 до 50 °С	± 0,2 абс.

#### Выводы

- Разработаны техническое задание и конструкторская документация испытательных стендов.
- Разработаны подход к оценке метрологических характеристик исходного эталона для контроля состава и свойств воды в потоке.
- Проведены экспериментальные исследования по оценке метрологических характеристик исходного эталона.
- Результаты проведенных исследований открывают перспективы разработки исходного эталона для контроля состава и свойств воды в потоке.
- Результаты работы открывают перспективы метрологического обеспечения многопараметрических средств измерений или систем автоматического контроля с учётом особенностей применения этих средств измерений, а именно непрерывные поточные измерения.

#### Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ о внесении изменений в Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
2. Федеральный закон от 29.07.2018 г. № 252-ФЗ о внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды».
3. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
4. Постановление Правительства РФ от 23.09.2010 г. № 734 Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (с изменениями на 21 октября 2019 года)
5. Постановление Правительства РФ от 13 марта 2019 г. № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ».
6. Постановление Правительства РФ от 13 марта 2019 г. № 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».
7. Постановление Правительства РФ от 04.08.2022 г. № 1386 «О порядке рассмотрения заявок на получение комплексных экологических разрешений, выдачи, переоформления, пересмотра, отзыва комплексных экологических разрешений и внесения в них изменений».

# МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СТЕНДЫ: РАЗРАБОТКА, ВНЕДРЕНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Светлана Анатольевна Плеханова

ООО «Газпром трансгаз Сургут» Инженерно-технический центр  
Сургут, Российская Федерация  
+7(922)-775-97-52, svetlanaplehanowa@yandex.ru,

## **Аннотация**

*В данной работе исследуется тема метрологических стендов на различных этапах их жизненного цикла. Рассматривается процесс разработки, внедрения и эксплуатации метрологических стендов на примере трех конкретных образцов – стенда для калибровки уровнемеров, стенда для поверки и калибровки средств измерений температуры и установки сопловой для поверки счетчиков газа. Автор описывает преимущества использования метрологических стендов, а также выделяет возникающие сложности и проблемы при их использовании. Работа направлена на повышение качества и эффективности метрологических измерений, а также на выявление путей оптимизации процесса работы с метрологическими стендами.*

**Ключевые слова:** метрология, метрологические стенды, поверка, калибровка, уровнемеры, внедрение, разработка, эксплуатация

## **Annotation**

*The paper explores the topic of metrological stands at various stages of their life cycle. The process of development, implementation and operation of metrological stands is considered on the example of three specific samples – a stand for calibrating level meters, a stand for checking and calibrating temperature measuring instruments and a nozzle installation for checking gas meters. The author describes the advantages of using metrological stands, as well as highlights the difficulties and problems that arise when using them. The work is aimed at improving the quality and efficiency of metrological measurements, as well as at identifying ways to optimize the process of working with metrological stands*

**Key words:** metrology, metrological stands, verification, calibration, level meters, implementation, development, operation

Метрологические стенды — это специализированные устройства, предназначенные для калибровки и поверки измерительных приборов. Они играют ключевую роль в обеспечении точности и надёжности измерений в различных областях, таких как медицина, промышленность, наука и техника.

Существует множество типов метрологических стендов, которые могут различаться по конфигурации и функциональности в зависимости от требований к точности измерений. Они могут включать в себя различные датчики, преобразователи, генераторы сигналов и другие элементы.

Использование метрологических стендов позволяет обеспечить соответствие измерительных приборов установленным стандартам и требованиям. Это является важным условием для обеспечения качества продукции и услуг, а также для поддержания научной и промышленной точности.

Почему метрологические стенды являются большим шагом в цифровизации метрологии?

Во-первых, они позволяют автоматизировать процесс калибровки и поверки, что значительно сокращает время и трудозатраты. Во-вторых, они обеспечивают высокую точность и надёжность измерений, что является необходимым условием для цифровизации. В-третьих, они могут быть интегрированы в системы управления качеством, что позволяет автоматизировать контроль за соблюдением стандартов и требований.

Таким образом, метрологические стенды являются важным инструментом для цифровизации метрологии, обеспечивая точность, надёжность и автоматизацию процессов калибровки и поверки. Применение метрологических стендов имеет ряд преимуществ, которые делают их актуальными в различных областях. Таким образом, тема «метрологические стенды: разработка, внедрение, эксплуатация» является актуальной и важной для современного общества.

Цель работы: исследовать метрологические стенды на разных этапах их жизненного цикла — разработки, внедрения и эксплуатации, на конкретных примерах рассмотреть особенности их применения и функционирования.



## Разработка

В центральной метрологической лаборатории был разработан и произведён стенд для калибровки уровнемеров. Полезная модель относится к устройствам для калибровки уровнемеров, предназначенных для измерения объема, расхода, уровня жидкости и границы раздела фаз жидкостей. В частности, стенд используется для калибровки микроволновых уровнемеров, при помощи которых происходит измерение уровня масла в маслобаках работающих газоперекачивающих агрегатов. Стенд для калибровки микроволновых уровнемеров, предназначенных для измерения объема, расхода, уровня жидкости и границы раздела фаз жидкостей, содержащий вертикально расположенную рабочую камеру, представляющую собой полый резервуар, куда заливается жидкость, при этом рабочая камера опирается в нижней части на опоры, выполненные жесткими с возможностью винтовой регулировки высоты для подстройки необходимого уровня рабочей камеры, при этом сбоку рабочая камера при помощи жестких креплений соединена по принципу сообщающихся сосудов с прозрачной трубкой, которая служит эталонным средством измерения уровня жидкости в рабочей камере, при этом уровень жидкости в рабочей камере будет соответствовать уровню жидкости в прозрачной трубке, при этом между рабочей камерой и прозрачной трубкой сверху и снизу расположены крепления для установки штангенциркуля, снимающего показания об уровне жидкости с эталонного средства измерения, при этом в верхней части рабочей камеры имеется отверстие, в которое помещается и фиксируется калибруемый уровнемер, подключенный к измерительному прибору, снимающему показания с калибруемого уровнемера, при этом показания измерительного прибора прямо пропорциональны измеряемому уровню жидкости в стенде для калибровки уровнемеров, а в днище рабочей камеры имеется патрубок с краном для подачи или слива жидкости из рабочей камеры, при этом рабочая камера может быть заполнена жидкостью как при помощи крана, так и через отверстие в верхней части, при этом стенд для калибровки уровнемеров благодаря легкости и конструктивной простоте может быть перемещен и установлен в любом помещении, в том числе на удаленных промышленных объектах, что значительно сокращает временные затраты на калибровку при исключении погрешности калибровки.

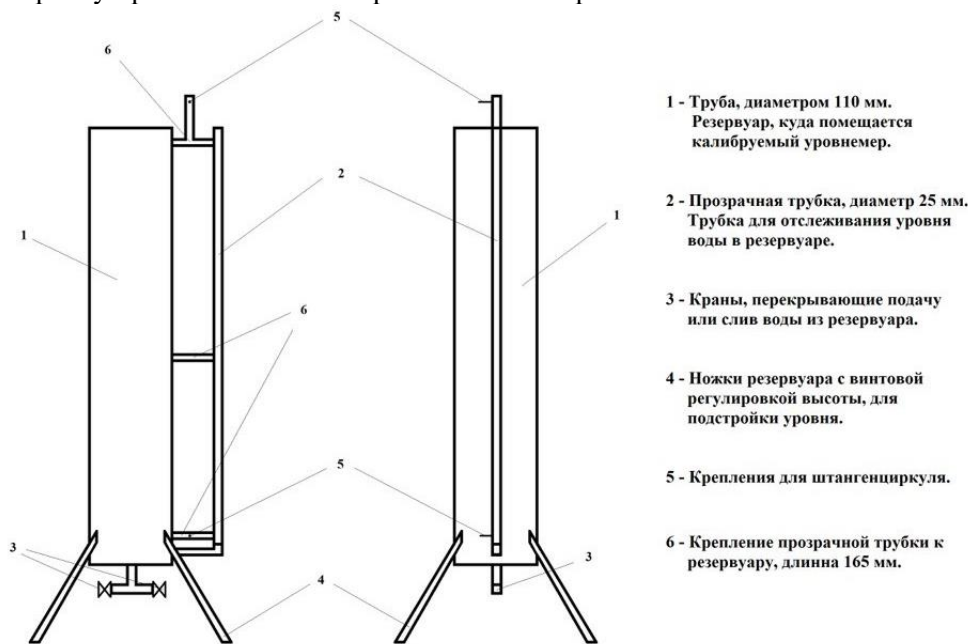


Рис. 1 – Стенд для калибровки уровнемеров.

## Внедрение

Центральная метрологическая лаборатория приобрела стенд для поверки и калибровки средств измерений температуры, непосредственно участвуя в разработке. Такие стенды технологически сложнее рассмотренных ранее и состоят из большого количества средств измерений, программного обеспечения и рабочего места.

Стенд для поверки средств измерений температуры может состоять из следующих компонентов:

— Эталонный термометр или термопреобразователь, который используется для сравнения и оценки точности поверяемых приборов.

— Система регулирования и поддержания температуры, которая позволяет создавать и поддерживать заданные температурные условия для поверки.

- Измерительные приборы и датчики, которые используются для измерения температуры и других параметров в процессе поверки.
  - Программное обеспечение для управления стендом, сбора и анализа данных, а также для автоматизации процесса поверки.
  - Рабочее место оператора, где осуществляется управление стендом и обработка результатов поверки.
  - Дополнительные компоненты, такие как системы охлаждения, нагревания, термостаты и т. д., в зависимости от конкретных требований к поверке.
  - Защитные и предохранительные устройства для обеспечения безопасности при работе со стендом.
  - Коммуникационные интерфейсы для подключения к другим системам и оборудованию.
- Конкретный состав стенда для поверки средств измерений температуры зависит от типа и модели поверяемых приборов, требований к точности и других факторов.



Рис. 2 – Пример стенда для поверки и калибровки средств измерений температуры.

Для того чтобы внедрить такой стенд, необходимо оценить весь парк приборов, требующих поверки или калибровки, и имеющуюся эталонную базу метрологической лаборатории. Помимо того, что такие стенды требуют большой проведённой работы для проектирования, они стоят очень дорого, а также требуют грамотной пуско-наладки.

Пуско-наладка — это комплекс работ, который проводится с целью проверки работоспособности оборудования, выявления и устранения возможных неисправностей, а также для обеспечения стабильной и эффективной работы оборудования в соответствии с требованиями и стандартами.

Стенд для поверки и калибровки температуры представляет собой комплекс оборудования, который позволяет проводить поверку и калибровку термометров различных типов и моделей. Он обеспечивает высокую точность и стабильность измерений, что позволяет использовать его для поверки и калибровки других средств измерений температуры.

Применение таких стендов автоматизирует процесс поверки средств измерений, что значительно упрощает работу метрологической лаборатории и повышает её эффективность. Однако стоит учитывать и сложности по внедрению, связанные с необходимостью оценки всего парка приборов, требующих поверки или калибровки, а также имеющейся эталонной базы метрологической лаборатории.

Помимо этого, такие стенды требуют большой проведённой работы для проектирования, стоят очень дорого, а также требуют грамотной пуско-наладки. Поэтому перед внедрением необходимо тщательно оценить все возможные риски и преимущества, чтобы обеспечить успешное использование стенда и повышение качества услуг метрологической лаборатории.

#### **Эксплуатация**

Установка для поверки счетчиков газа СПУ-7 — это современное оборудование, предназначенное для поверки и калибровки бытовых и промышленных счётчиков газа. Она позволяет проводить поверку и калибровку приборов с высокой точностью и в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.

Установка для поверки счётчиков газа СПУ-7 состоит из нескольких основных компонентов:

- эталонных сопел;
- системы создания и поддержания давления;

— измерительных приборов;

— программного обеспечения для управления установкой и обработки результатов поверки.

Эталонные сопла создают поток газа с заданными параметрами, которые используются для поверки и калибровки счётчиков газа. Система создания и поддержания давления позволяет регулировать и контролировать параметры потока газа. Измерительные приборы позволяют измерять параметры потока газа и сравнивать их с эталонными значениями. Программное обеспечение обеспечивает автоматизацию процесса поверки и упрощает обработку результатов.

Установка для поверки счётчиков газа СПУ-7 имеет ряд преимуществ, которые делают её востребованной на рынке метрологического оборудования.



Рис. 3 – Установка поверочная сопловая СПУ-7

Установка для поверки счётчиков газа СПУ-7 может использоваться для поверки и калибровки различных типов счётчиков газа, таких как бытовые, промышленные, ротационные, турбинные и другие. Она широко применяется в метрологических лабораториях, на предприятиях и в других организациях, где требуется точное и надёжное оборудование для поверки и калибровки.

Для установки и использования установки для поверки счётчиков газа СПУ-7 необходимо иметь соответствующие навыки и знания. Перед началом работы необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации и соблюдать все меры безопасности.

Ввод в эксплуатацию такой установки — трудоёмкий и дорогостоящий процесс. Помимо сложностей, рассмотренных в предыдущем пункте, нужно учесть, что для установки требуется помещение, удовлетворяющее определённым требованиям.

В итоге, применение метрологических стендов открывает перед современной наукой и промышленностью широкие перспективы в автоматизации процессов измерений и контроля качества. Однако, необходимо помнить о том, что такие технологии требуют тщательной оценки и анализа всех преимуществ и возможных сложностей, связанных с их применением. Важно грамотно подходить к выбору и внедрению метрологических стендов, чтобы максимально эффективно использовать потенциал автоматизации в метрологии.

#### Литература

1. Жуков П.М., Пиршин Ю.А., Яковлев В.И. и др. Метрологические стенды и исследовательские установки: Учебник для высших учебных заведений. Москва: Высшая школа, 2008. 560 с.
2. Рогов И.Е., Жуков П.М., Хорошавин А.П. и др. Метрологические стенды и лаборатории: Справочник. Москва: Машиностроение, 1992. 392 с.
3. Соловьев С.Е., Сомов В.В. Метрологические стенды в машиностроении. СПб: Колос, 2004. 320 с.
4. Кузнецов Б.П. Метрологическое обеспечение измерений на стендах. Москва: Горячая линия–Телеком, 2016. 224 с.
5. Иванов С.Д., Тихомиров А.В., Сметанин В.А. и др. Метрологические стенды и лаборатории в механике: Учебное пособие. Москва: Наука, 2001. 360 с.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Антон Сергеевич Саванин

ООО «НИИ Транснефть»  
Москва, Российская Федерация  
(495) 950-82-95 доб. 22-92, (495) 950-82-97, SavaninAS@niitnn.transneft.ru

## **Аннотация**

Целью работы является совершенствование обеспечения единства измерений количества нефти и нефтепродуктов в рамках Евразийского Экономического Союза. Актуальность работы определяется проводимыми странами Евразийского Экономического Союза мероприятиями по формированию общих рынков нефти и нефтепродуктов. Реализованные участником конкурса работы по совершенствованию обеспечения единства измерений количества нефти и нефтепродуктов включают в себя разработку единых положений методик (методов) измерений, характеристик и требований к средствам и системам измерений количества нефти и нефтепродуктов и относятся к оптимизационным задачам активно развиваемого научного направления в области учета энергетических ресурсов.

В рамках работы был проведен комплексный анализ процессов и процедур, а также применяемых при измерении количества нефти и нефтепродуктов нормативных документов. Впервые на уровне межгосударственного стандарта подготовлены технические и метрологические характеристики систем измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов, а также типовые методики измерений массы нефти и нефтепродуктов. Впервые разработаны типовые методика поверки и методика калибровки турбинных, ультразвуковых, роторных и лопастных преобразователей расхода нефти и нефтепродуктов. Впервые разработана «Концепция развития нормативной документации в области метрологического обеспечения учетных операций в сфере магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов в Российской Федерации».

В заключении работы подготовлены предложения о развитии международного сотрудничества в рамках Евразийского Экономического Союза.

**Ключевые слова:** измерение, учет, стандарт, совершенствование, актуализация, гармонизация, нефть, нефтепродукт

## **Annotation**

The goal of the work is to improve the uniformity of measurements of the amount of oil and oil products within the Eurasian Economic Union. The relevance of the work is determined by the measures taken by the countries of the Eurasian Economic Union to form common markets for oil and oil products. The work carried out by the competition participant to improve the uniformity of measurements of the quantity of oil and oil products includes the development of uniform provisions for measurement techniques (methods), characteristics and requirements for means and systems for measuring the quantity of oil and oil products and relate to the optimization tasks of an actively developing scientific direction in the field of energy accounting resources.

As part of the work, a comprehensive analysis of processes and procedures was carried out, as well as regulatory documents used in measuring the amount of oil and oil products. For the first time, at the level of an interstate standard, technical and metrological characteristics of systems for measuring the quantity and quality indicators of oil and oil products, as well as standard methods for measuring the mass of oil and oil products, have been prepared. For the first time, standard verification techniques and calibration techniques for turbine, ultrasonic, rotary and vane oil and oil product flow transducers have been developed. For the first time, the "Concept for the development of regulatory documentation in the field of metrological support of accounting operations in the field of main pipeline transport of oil and oil products in the Russian Federation" was developed.

At the conclusion of the work, proposals were prepared for the development of international cooperation within the framework of the Eurasian Economic Union.

**Key words:** measurement, accounting, standard, improvement, updating, harmonization, oil, oil product

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

В странах Евразийского Экономического Союза (далее – ЕАЭС) действует (применяется) более 45 межгосударственных и национальных стандартов, рекомендаций по межгосударственной стандартизации, регламентирующих положения по измерению количества нефти и нефтепродуктов, а также метрологическому обеспечению учетных операций с нефтью и нефтепродуктами. Как правило, такие документы являются частью национальных систем обеспечения единства измерений стран ЕАЭС. Наравне с такими документами в странах ЕАЭС действует (применяется) более 89 документов различного вида (рекомендации, руководящие документы, методики) по вышеуказанной тематике, введенных в действие и утвержденных различными организациями и ведомствами, некоторые из которых в настоящее время уже не существуют. Все документы вводились в разное время (некоторые более 10 лет назад) по мере необходимости, единого подхода к разработке документов не было.

В настоящее время сложилась ситуация, в которой положения документов противоречат друг другу, дублируют друг друга, содержат устаревшие требования. Также, не редки случаи отсутствия необходимых положений по измерению количества нефти и нефтепродуктов.

Учитывая проводимые странами ЕАЭС мероприятия по формированию общих рынков нефти и нефтепродуктов [1-2], является необходимой и актуальной работа по разработке единых положений по измерению количества нефти и нефтепродуктов в рамках межгосударственной и национальной стандартизации. Кроме того, совершенствование в России нормативного обеспечения, техники и технологий предусмотрено «Стратегией обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года» [3]. Описанные в настоящей статье работы относятся к оптимизационным задачам активно развиваемого научного направления в области учета количества энергетических ресурсов.

### **Цель работы**

Целью работы является совершенствование обеспечения единства измерений количества нефти и нефтепродуктов.

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

Рассматриваемая работа участником конкурса начата в 2013 году.

Впервые разработана «Концепция развития нормативной документации в области метрологического обеспечения учетных операций в сфере магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов в Российской Федерации». Разработанная концепция позволила применить единый подход к разработке и актуализации документов.

Впервые на уровне межгосударственного стандарта подготовлены единые технические и метрологические характеристики систем измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов, а также типовые методики измерений массы нефти и нефтепродуктов.

Впервые разработаны типовые методика поверки и методика калибровки турбинных, ультразвуковых, роторных и лопастных преобразователей расхода нефти и нефтепродуктов. Это позволило исключить необходимость применения документов вида «рекомендации по метрологии», утверждаемых государственными научными метрологическими институтами.

Проводимые работы и полученные результаты на постоянной основе обсуждаются на:

- заседаниях МТК 553 «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)»;
- заседаниях ТК 024 «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)»;
- ежегодной международной метрологической конференции «Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкостей и газов».

Полученные результаты изложены в 21 научной статье, которые опубликованы в научных периодических изданиях, таких, как, например, «Нефть, газ и бизнес» [4], «Законодательная и прикладная метрология» [5] и т.д.

Результаты работы применяются нефтяными компаниями, государственными научными метрологическими институтами при разработке и актуализации документов, при разработке программного обеспечения, проектировании, изготовлении и испытаниях средств и систем измерений.

### **Задачи работы**

Совершенствование обеспечения единства измерений количества нефти и нефтепродуктов достигается за счет решения следующих задач:

- определение методик (методов) измерений, средств и систем измерений количества нефти и нефтепродуктов;
- определение документов, используемых при измерении количества нефти и нефтепродуктов;

- непосредственное исследование и анализ методик (методов) измерений, средств и систем измерений количества нефти и нефтепродуктов;
- непосредственное исследование и анализ документов, используемых при измерении количества нефти и нефтепродуктов, установление единых требований;
- оптимизация и унификация методик (методов) измерений, средств и систем измерений количества нефти и нефтепродуктов;
- систематизация, актуализация и гармонизация документов, используемых при измерении количества нефти и нефтепродуктов.

#### **Суть работы**

Суть работы заключается в выполнении мероприятий по установленным выше задачам. На первоначальном этапе работы был проведен комплексный анализ деятельности организаций по приему, перекачке, сдаче и перевалке нефти и нефтепродуктов. По результатам анализа были определены методики (методы) измерений, средства и системы измерений количества нефти и нефтепродуктов, а также применяемые при измерении количества нефти и нефтепродуктов документы. Для последующего исследования полученная информация была структурирована по разработанным участником конкурса критериям.

В общем случае все методики (методы) измерений, средства и системы измерений количества нефти и нефтепродуктов были сгруппированы по следующим критериям:

- приемо-сдаточные пункты;
- средства измерений расхода;
- измерительные системы;
- резервуары;
- испытательные лаборатории.

Далее были определены требования к методикам (методам) измерений, средствам и системам измерений количества нефти и нефтепродуктов, отобраны документы, содержащие данные положения. Отобранные документы в общем случае были сгруппированы по следующим критериям:

- основополагающие документы;
- документы на объекты;
- документы на процессы;
- документы на методы контроля и испытаний.

Всего было отобрано 134 документа, вид которых приведен в таблице 1.

*Таблица 1 – Документы, участвовавшие в анализе*

№ п.п.	Вид документа	Количество
1	2	3
1	Межгосударственный стандарт – ГОСТ	23
2	Рекомендация по межгосударственной стандартизации – РМГ	14
3	Национальный стандарт – ГОСТ Р	8
4	Рекомендации по метрологии – МИ	79
5	Рекомендации Росстандарта – Р	3
6	Руководящий документ – РД	1
7	Методики измерений – ФР	6
ВСЕГО		134

Для последующего исследования разработана система взаимодействия обозначенных выше групп. Далее в рамках сформированной системы проводится исследование и анализ методик (методов) измерений, средств и систем измерений количества нефти и нефтепродуктов, а также отобранных документов по следующим критериям:

- взаимное влияние и дублирование требований, наличие противоречий;
- соответствие характеристик и требований современным достижениям науки и техники;
- соответствие области распространения и содержания документа его названию;
- рациональность номенклатуры измеряемых параметров;
- оптимальность требований к точности измерений;
- полнота и правильность требований к точности средств измерений;
- соответствие действительной точности измерений заданным требованиям;
- контролепригодность средств измерений и измерительных систем;
- возможность эффективного метрологического обслуживания выбранных средств измерений;
- рациональность выбранных средств измерений и методик выполнения измерений;



- использование вычислительной техники при измерениях;
- актуальность метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц.

Результаты проведенных исследований и анализа изложены в подготовленных участником конкурса следующих материалах:

- «Концепция развития нормативной документации в области метрологического обеспечения учетных операций в сфере магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов в Российской Федерации»;

- единые технические и метрологические характеристики систем измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов;
- типовые методика поверки и методика калибровки турбинных, ультразвуковых, роторных и лопастных преобразователей расхода нефти и нефтепродуктов;
- типовые методики измерений массы нефти и нефтепродуктов;
- предложения по оптимизации и унификации средств и систем измерений количества нефти и нефтепродуктов.

Подготовленные материалы содержат предложения по отмене 120 действующих в странах ЕАЭС документов и разработке взамен них 27 новых документов (в т.ч. 3 документов, не имеющих аналогов).

### **Полученные результаты**

Реализация рассмотренных мероприятий окажет положительное воздействие на систему стандартизации, а именно позволит сократить количество применяемых документов, привести все документы в соответствие между собой и главное – построить единую и понятную всем участникам взаимоотношений «прозрачную» и логичную систему (комплекс) стандартов.

В настоящее время участником конкурса разработаны и в соответствии с установленными процедурами утверждены и внедрены следующие стандарты:

- ГОСТ 34396-2018 «Системы измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия»;
- ГОСТ 8.587-2019 «Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений»;
- ГОСТ Р 8.908-2015 «Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений объемного расхода нефти и нефтепродуктов. Испытания, поверка и калибровка с применением трубопоршневых поверочных установок»;
- ГОСТ Р 8.1011-2022 «Государственная система обеспечения единства измерений. Системы измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов. Ввод в эксплуатацию, эксплуатация, вывод из эксплуатации».

На основе ГОСТ 8.587-2019 ООО «НИИ Транснефть» разработано «Программное обеспечение расчета массы нефти и нефтепродуктов в резервуарах», которое сертифицировано ФГБУ «ВНИИМС» (сертификат соответствия № ТП 270-22). Методики, изложенные в ГОСТ Р 8.908-2015, реализованы в измерительно-вычислительном комплексе ТН-01, разработанном АО «Транснефть – Верхняя Волга» (номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 67527-17).

В настоящее время участником конкурса продолжают работы по систематизации и актуализации документов – в России ведется разработка двух национальных стандартов, устанавливающих основные положения по транспортировке нефти и нефтепродуктов по системе магистрального трубопроводного транспорта.

В целях обеспечения функционирования общих рынков нефти и нефтепродуктов и развития международного сотрудничества перспективным является создание единой системы стандартов по метрологическому обеспечению функционирования общего рынка нефти и нефтепродуктов, в рамках которой рассмотреть применение существующих и разработку новых межгосударственных стандартов (в т.ч. на основе ранее утвержденных в России национальных стандартов ГОСТ Р 8.908-2015 и ГОСТ Р 8.1011-2022).

### **Литература**

[1] Концепция формирования общих рынков нефти и нефтепродуктов Евразийского экономического союза, утверждена решением Высшего Евразийского экономического совета № 8 от 31.05.2016.

[2] Программа формирования общих рынков нефти и нефтепродуктов, утверждена решением Высшего Евразийского экономического совета № 23 от 06.12.2018.

[3] Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// docs.google.com/ viewerng/ viewer?url=http:// minpromtorg.gov.ru/common/ upload/files/ docs/ Strategy\\_29\\_07\\_2016\\_s\\_ pravkami.doc](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Strategy_29_07_2016_s_pravkami.doc), свободный. – Загл. с экрана.

[4] Кацал И.Н., Аралов О.В., Саванин А.С. Анализ системы стандартизации в области измерений количества нефти и нефтепродуктов // Нефть газ и бизнес, 2017, № 2, с. 34-39.

[5] Саванин А.С. Совершенствование нормативных документов, используемых при измерении количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов // Законодательная и прикладная метрология, 2023, № 5 (185), с. 26-30.



# СТАНДАРТНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ПЛОТНОСТИ ДИМЕТИЛОВОГО И ДИЭТИЛОВОГО ЭФИРОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ

Екатерина Юрьевна Скотаренко

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»  
(ФГБУ «ВНИИМС»)

Москва, Российская Федерация  
+79114729207, e.skotarenko@vniims.ru

## **Аннотация**

Стандартные справочные данные представляют собой таблицы со значениями плотности диметилового и диэтилового эфиров как в однофазных областях (газ, жидкость, сверхкритический флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения), приводятся также значения давления насыщенного пара. Таблицы значений плотности диметилового эфира охватывают область температур от 140 К до 525 К и область давлений от 0,0000096 до 40 МПа. Таблицы значений плотности диэтилового эфира рассчитаны в диапазоне температур от 270 К до 500 К и в диапазоне давлений от 0,005619 до 40 МПа. Исключены значения плотности в околокритической области:  $0,98 \leq T/T_{cr} \leq 1,1$  и  $0,7 \leq \rho/\rho_{cr} \leq 1,4$ . Стандартные справочные данные плотности и давления насыщенного пара. В работе приводится алгоритм расчёта плотности в однофазных областях и на линии насыщения, основанный на использовании фундаментального уравнения состояния чистого вещества, приближённых уравнений для плотностей и давления на линии насыщения и критерия Максвелла, а также итерационного метода Ньютона.

**Ключевые слова:** стандартные справочные данные, плотность, теплофизические свойства, диметиловый эфир, диэтиловый эфир, дизельное топливо, коэффициент сжимаемости

## **Annotation**

Standard reference data are tables with density values of the dimethyl ether and diethyl ether both in single-phase areas (liquid, vapour and supercritical fluid phases) and at the gas-liquid phase transition line (saturation line), saturated vapour pressure values are also given. Dimethyl ether tables are determined for temperatures from 140 K to 525 K at pressures from 0,0000096 to 40 MPa. Diethyl ether tables cover the temperature range from 270 K to 500 K and pressure range from 0,005619 to 40 MPa. Density values in the near-critical region ( $0,98 \leq T/T_{cr} \leq 1,1$  and  $0,7 \leq \rho/\rho_{cr} \leq 1,4$ ) are excluded. Also standard reference data contain values of expanded uncertainty in density and saturation vapour pressure. Density calculation algorithm for single-phase areas and saturation line is presented in this work. It is based on the fundamental equation of state for the pure substance, ancillary equations for vapour pressure and saturated liquid and vapour and Maxwell's criterion, as well as on an iterative Newton's method.

**Key words:** standard reference data, density, thermophysical properties, dimethyl ether, diethyl ether, diesel fuel, compressibility factor

## **Актуальность в прикладном значении**

Диметиловый эфир (далее — ДМЭ) является перспективным топливом для высокомошных двигателей. Использование его в топливных смесях и топливных ячейках позволяет снизить выбросы выхлопных газов (оксида азота, углеводородов и монооксида углерода), а также сделать процесс возгорания более устойчивым, о чём говорит высокое цетановое число вещества (55 – 60). Возможность получения ДМЭ из природного газа обуславливает сравнительную дешевизну такого топлива [1 – 4]. В Китае принят стандарт использования диметилового эфира в качестве топлива, а ряд зарубежных компаний разрабатывают автомобили с двигателями, работающим на нём.

Диэтиловый эфир (далее — ДЭЭ) востребован в качестве растворителя при производстве целлюлозных пластиков, таких как ацетат целлюлозы [5]. Обладает высоким цетановым числом (85 – 96) и используется в качестве стартовой жидкости для дизельных и бензиновых двигателей из-за своей высокой летучести и низкой температуры самовоспламенения. Применяется как компонент топлива в авиамодельных компрессионных двигателях. Также диэтиловый эфир давно широко используются в

качестве анестезирующего средства в медицине, теплоносителя в криогенной технике, экстрагента для разделения плутония и продуктов его деления при получении и переработке ядерного топлива, при выделении урана из руд.

Значения плотности данных веществ необходимы для расчёта свойств смесей, содержащих эфиры, в том числе дизельного и биодизельного топлива.

### Цель работы

Целью данной работы является разработка стандартных справочных данных о плотности ДМЭ и ДЭЭ в пределах диапазонов определения их уравнений состояния для последующего утверждения согласно ГОСТ Р 8.614-2018 и ГОСТ 8.566-2011.

### Практическая значимость

Справочные данные о плотности ДМЭ и ДЭЭ, утверждённые в качестве стандартных, могут быть применены: при разработке средств учёта вещества (расходомеров) в компаниях, использующих и хранящих сырьё для топлива; в методиках расчёта теплофизических свойств смесей, содержащих ДМЭ и ДЭЭ, применяемых в химической, нефтехимической, фармакологической промышленности; для внедрения в программное обеспечение, моделирующее динамику данных веществ в технических системах и для предварительного расчёта их расхода.

### Задачи работы

Основные задачи, выполненные в рамках данной работы:

1. Реализация алгоритма расчёта плотности по фундаментальному уравнению состояния в однофазных областях и на линии насыщения на языке программирования Python.
2. Расчёт значений плотности в однофазных областях и на линии насыщения.
3. Анализ полученных результатов и исключение значений, выходящих за границы расширенной неопределённости фундаментального уравнения состояния.
4. Оформление стандартных справочных данных о плотности ДМЭ и ДЭЭ.

### Суть работы

В основе работы лежат фундаментальное уравнение состояния вещества (далее — ФУС), приближённые уравнения для описания плотности и давления на линии насыщения и алгоритм расчёта теплофизических свойств, построенный на дифференциальных уравнениях термодинамики. Программная реализация алгоритма произведена на языке Python, а результаты вычислений представлены в виде таблиц.

Таблицы стандартных справочных данных содержат значения плотности  $\rho$  ДМЭ и ДЭЭ как в однофазных областях (газ, жидкость, сверхкритический флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения, или кривая кипения), а также приводятся значения давления насыщенного пара  $p_s$ .

Таблицы охватывают области температур от 140 К до 525 К и давлений от 0,0000096 до 40 МПа — для ДМЭ, и области температур от 270 К до 500 К и давлений от 0,005619 до 40 МПа — для ДЭЭ. Для обоих веществ исключена окологкритическая область:  $0,98 \leq T/T_{кр} \leq 1,1$  и  $0,7 \leq \rho/\rho_{кр} \leq 1,4$ .

ФУС описывает свободную энергию Гельмгольца  $F(T, \rho)$  в зависимости от температуры  $T$  и плотности  $\rho$ , что позволяет записать расчётное выражение для последней. Для расчёта применены ФУС, полученные авторами работы [6] — для ДМЭ, [7] — для ДЭЭ. Выбор данных уравнений обусловлен тем, что для их построения использовались массивы наиболее точных экспериментальных данных о теплофизических свойствах ДМЭ [8] и ДЭЭ [9].

Безразмерная свободная энергия Гельмгольца  $f(\tau, \omega)$  представлена в виде суммы идеально-газовой части  $f_0(\tau, \omega)$  и неидеальной части  $f_r(\tau, \omega)$ . Для расчёта плотности нужна только неидеальная часть ФУС (2) и её производные (3), поэтому уравнение идеально-газовой части здесь не приводится:

$$f(\tau, \omega) = f_0(\tau, \omega) + f_r(\tau, \omega) = \frac{f_0(T, \rho) + f_r(T, \rho)}{RT} = \frac{F(T, \rho)}{RT}; \quad (1)$$

$$f_r(\tau, \omega) = \sum_{i=1}^{I_{pol}} n_i \omega^{d_i} \tau^{-t_i} + \sum_{i=I_{pol}+1}^{I_{exp}} n_i \omega^{d_i} \tau^{-t_i} \exp(-\omega^{l_i}) + + \quad (2)$$

$$\sum_{i=I_{exp}+1}^{I_{Gauss}} n_i \omega^{d_i} \tau^{-t_i} \exp[-\eta_i(\omega - \varepsilon_i)^2 - \beta_i(\tau^{-1} - \gamma_i)^2];$$

$$A_0 = \omega \left( \frac{\partial f_r}{\partial \omega} \right)_{\tau}; \quad A_1 = \omega^2 \left( \frac{\partial^2 f_r}{\partial \omega^2} \right)_{\tau, \tau}. \quad (3)$$

Здесь  $\omega = \rho/\rho_{cr}$  — относительная плотность;  $\tau = T/T_{cr}$  — относительная температура; индексом «сг» отмечены параметры в критической точке. В формуле (2)  $\{n_i\}$  — коэффициенты уравнения состояния, значения которых вместе с показателями степеней  $\{d_i\}, \{t_i\}, \{l_i\}$  и параметрами  $\{\eta_i\}, \{\varepsilon_i\}, \{\beta_i\}, \{\gamma_i\}$  приведены в работе [8] — для ДМЭ, в работе [9] — для ДЭЭ. Пределы суммирования в формуле (2) приведены в таблице 1 для обоих веществ.

Таблица 1 — Пределы суммирования в ФУС (2) для ДМЭ и ДЭЭ

Предел суммирования	ДМЭ	ДЭЭ
$I_{pol}$	5	7
$I_{exp}$	11	16
$I_{Gauss}$	15	—

Разработчиками ГСССД был неоднократно [11–13] описан алгоритм вычисления термодинамических свойств чистых веществ на основе производных от свободной энергии Гельмгольца. Он был применён для расчёта давления насыщенных паров и плотности ДМЭ и ДЭЭ в однофазных областях и на линии насыщения «жидкость-газ» (рисунок 1).

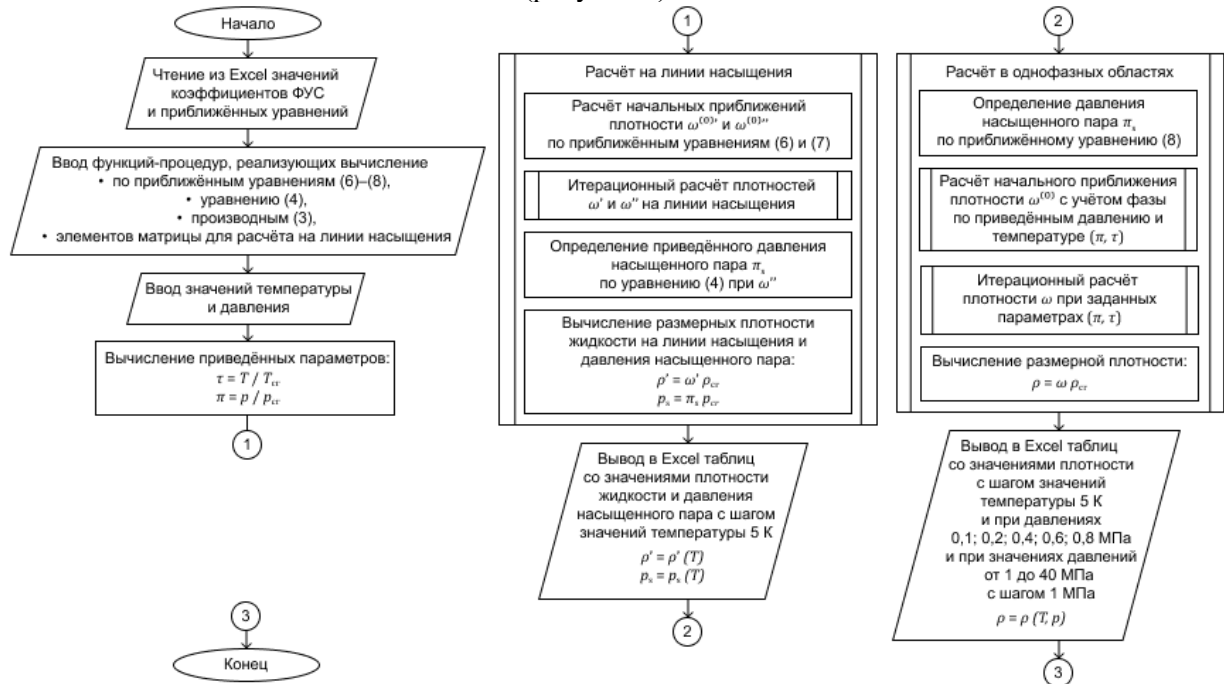


Рис. 1 — Блок-схема алгоритма для расчёта давления насыщенного пара и плотности чистого вещества на линии насыщения и в однофазных областях (газ, жидкость и сверхкритический флюид)

Плотность  $\omega$  в однофазных областях при заданных значениях давления  $p$  и температуры  $T$  определяется из итерационного решения уравнения для относительного давления  $\pi$ :

$$\pi = \frac{\omega\tau(1+A_0)}{z_{cr}} \quad (4)$$

Здесь  $z_{cr} = \frac{p_{cr}}{\rho_{cr}RT_{cr}}$  — коэффициент сжимаемости при параметрах критической точки.

Относительные плотности жидкости и пара  $\omega'$  и  $\omega''$  на линии насыщения определяются в результате решения системы уравнений, описывающих условие фазового равновесия:

$$\begin{cases} F_1(\omega', \omega'') = \omega' - \omega'' + \omega' A'_0 - \omega'' A''_0 = 0, \\ F_2(\omega', \omega'') = \ln\left(\frac{\omega'}{\omega''}\right) + f'_r + A'_0 - f''_r - A''_0 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Давление насыщенного пара  $\pi_s$  рассчитывается по уравнению (4) для относительной плотности насыщенного пара  $\omega''$ .

Для описания начальных приближений при итерационном расчёте как в однофазных областях, так и на линии насыщения, необходимы стартовые значения давления насыщенных паров, а также плотности насыщенных жидкости и пара. Их вычисление возможно с помощью приближённых уравнений [6], [7]:

$$\omega' = 1 + \sum_{i=1}^{I_{st}} n_i (1 - \tau)^{t_i}; \quad (6)$$

$$\omega'' = \exp\left[\sum_{i=1}^{I_{sv}} n_i (1 - \tau)^{t_i}\right]; \quad (7)$$

$$\pi_s(\tau) = \exp\left[\tau^{-1} \sum_{i=1}^{I_{sp}} n_i (1 - \tau)^{t_i}\right]. \quad (8)$$

Параметры  $\{n_i\}$  и  $\{t_i\}$  в (6) – (8) представлены в работах [8] — для ДМЭ, [9] — для ДЭЭ. Пределы суммирования в (6) – (8) указаны в таблице 2 для обоих веществ.

Таблица 2 — Пределы суммирования в приближённых уравнениях для свойств на линии насыщения для ДМЭ и ДЭЭ

Предел суммирования	ДМЭ	ДЭЭ
$I_{sl}$	4	5
$I_{sv}$	5	5
$I_{sp}$	4	4

Реализация алгоритма на языке Python выполнена в соответствии с блок-схемой, представленной на рисунке 1.

### Полученные результаты

В ходе выполнения программного кода были вычислены значения плотности ДМЭ и ДЭЭ на линии насыщения со стороны жидкой и газовой фаз, а также значения давления насыщенного пара. Расчёт произведён с шагом значений температуры 5 К. Далее был произведён расчёт значений плотности в однофазных областях веществ с тем же шагом температуры при давлениях 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6, 0,8 МПа и от 1 до 40 МПа с шагом 1 МПа.

Неопределённость значений оценивалась как процентное отклонение рассчитанных данных от экспериментальных. В таблице 3 приведены значения расширенной неопределённости (для уровня доверия 95 % коэффициент охвата  $k = 2$ ) для рассчитанных величин. Значения плотности паровой фазы на линии насыщения не приводятся ввиду того, что имеющиеся экспериментальные данные достаточно старые, их мало и они плохо согласуются между собой, так что невозможно дать оценку неопределённости рассчитанных по ФУС данных.

Таблица 3 — Расширенная неопределённость значений плотности и давления насыщенного пара ДМЭ и ДЭЭ

Расширенная неопределённость U, %	ДМЭ	ДЭЭ
Плотность в жидкой фазе	0,1	0,2
Плотность в газовой фазе	0,3	0,2
Плотность в области сверхкритического флюида	0,5	0,5
Плотность жидкой фазы на линии насыщения	0,05	0,2
Давление насыщенных паров	0,35 при $T < 230$ К 0,2 при $T \geq 230$ К	0,4

На рисунке 2 приведён вид таблиц стандартных справочных данных [8], [9], где значения приводятся вместе с соответствующей неопределённостью.

Таблица 7 - Плотность диметилового эфира в однофазной среде в диапазоне давлений от 0,1 до 0,8 МПа

Т, К	p, МПа				
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
140	872,14	872,18	872,27	872,36	872,45
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
145	866,09	866,14	866,23	866,32	866,42
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
150	860,04	860,09	860,18	860,28	860,38
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
155	853,98	854,03	854,13	854,23	854,33
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
160	847,90	847,95	848,06	848,16	848,27
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица 16 – Давление насыщения и плотность диметилового эфира на линии насыщения

Т, К	Р <sub>нат</sub> , МПа	ρ', кг/м <sup>3</sup>
	δρ <sub>нат</sub> , %	δρ', %
140	9,59E-6	872,1
	0,35	0,05
145	2,107E-5	866,1
	0,35	0,05
150	4,361E-5	860,0
	0,35	0,05
155	8,558E-5	854,0
	0,35	0,05
160	0,0001601	847,9
	0,35	0,05

Таблица 7 - Плотность диэтилового эфира в однофазной среде в диапазоне давлений от 0,1 до 0,8 МПа

Т, К	p, МПа				
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
270	739,260	739,373	739,599	739,824	740,048
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
275	733,839	733,957	734,193	734,427	734,661
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
280	728,354	728,477	728,722	728,967	729,210
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
285	722,800	722,928	723,185	723,440	723,694
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
290	717,174	717,308	717,576	717,842	718,108
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 16 – Давление насыщения и плотность диэтилового эфира на линии насыщения

Т, К	Р <sub>нат</sub> , МПа	ρ', кг/м <sup>3</sup>
	δρ <sub>нат</sub> , %	δρ', %
270	0,4	0,2
	0,00561816	739,171
275	0,00749663	733,753
	0,00989673	728,272
280	0,0129333	722,726
	0,0167392	717,109
285	0,0214673	711,420
	0,0272917	705,654
290	0,0344093	699,809
	0,0430408	693,878

Рис. 2 — Примеры таблиц стандартных справочных данных о плотности и давлении насыщенных паров ДМЭ и ДЭЭ с указанием неопределённости значений

## Литература

- [1] Ахматов, Мулаев. — Вестник магистратуры. — 2018. — №5-1(80). — с. 16–22.
- [2] Sahriah Basri, Siti Kartom Kamarudin. Chapter 8 - Direct dimethyl ether fuel cells (DDMEFCs) // Direct Liquid Fuel Cells. — Academic Press. — 2021. — pp. 177–189.
- [3] Лапушкин, Савенков, Федотов. — Транспорт на альтернативном топливе. — 2008. — №3 (3) — с. 43–49.
- [4] Soltic, Hilfiker, Wright, Hardy, Fröhlich, Klein. — Fuel. — Volume 355. — 2024. — pp. 129357.
- [5] Lawrence Karas, W. J. Piel. Ethers // Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. — John Wiley & Sons, Inc. — 2004. Retrieved on 2007-09-05. — 1084 p.
- [6] Wu, Zhou, Lemmon. — Journal of Physical and Chemical Reference Data. — 2011. — Т. 40. — № 2. — pp. 023104.
- [7] Thol, Piazza, Span. — International Journal of Thermophysics. — 2014. — Т. 35. — № 5. — pp. 783–811.
- [8] ГСССД 412–2022. Диметиловый эфир жидкий и газообразный. Плотность при температурах от 140 К до 525 К и давлениях до 40 МПа.
- [9] ГСССД 411–2022. Диэтиловый эфир жидкий и газообразный. Плотность при температурах от 270 К до 500 К и давлениях до 40 МПа.
- [10] ГСССД 369-2020. Этилен жидкий и газообразный. Термодинамические свойства при температурах от 104 К до 450 К и давлениях до 100 МПа.
- [11] ГСССД 393-2021. Толуол жидкий и газообразный. Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная и изобарная теплоемкости и скорость звука при температурах от 180 К до 700 К и давлениях до 100 МПа.
- [12] ГСССД 355-2019. Теплофизические свойства жидкой воды от давления в тройной точке до 0,3 МПа при температурах от 0 °С до 100 °С (для метрологии).

# АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНЫХ ВОДОРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕНИ

Султанбек Бериккулы Смагулов<sup>1,2</sup>, К. Г. Мишагин<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> РГП «КазСтандарт»

Астана, Казахстан

+7 708 7761259, s.smagulov@ksm.kz

<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

## **Аннотация**

*В настоящей работе представлены результаты анализа долговременных характеристик пассивных водородных стандартов частоты и времени, на основе которых реализуется национальная шкала времени UTC(KZ). Осуществлено комплексное исследование ключевых параметров водородных стандартов, включая стабильность дрейфа частоты и долговременную стабильность частоты (девиацию Аллана). Проведена оценка коэффициента температурной зависимости частоты, исследуется вопрос о постоянстве данного коэффициента.*

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

*Впервые представлены результаты долговременных характеристик пассивных водородных стандартов частоты на интервале времени наблюдения более 2 лет.*

*Проведено экспериментальное исследование основных характеристик пассивных водородных стандартов частоты VCH-1008, производства АО «Время-Ч», Россия.*

*Результаты данной работы представляют интерес для национальных лабораторий времени и частоты, частотно-временного обеспечения спутниковых навигационных систем, систем связи, а также будут использоваться для дальнейшего улучшения метрологических характеристик Государственного первичного эталона времени и частоты Республики Казахстан и ведения национальной шкалы времени UTC(KZ).*

**Ключевые слова:** *температурный коэффициент частоты, пассивные водородные стандарты, UTC(KZ), VCH-1008, стабильность дрейфа частоты, девиация Аллана*

## **Annotation**

*This paper presents the findings of an analysis on the long-term characteristics of passive hydrogen frequency and time standards, serving as the foundation for the implementation of the national time scale UTC(KZ). A comprehensive exploration of critical parameters of hydrogen standards has been undertaken, encompassing aspects such as frequency drift stability and long-term frequency stability (Allan deviation). Temperature to frequency influence and its stability is analyzed.*

*UTC(KZ) stands as the inaugural national time scale, exclusively reliant on passive hydrogen masers. This marks the first instance of presenting the outcomes from a prolonged evaluation of passive hydrogen masers, spanning an observation period exceeding 2 years.*

*An experimental investigation into the principal features of passive hydrogen masers, specifically the VCH-1008 model manufactured by JSC “Vremya-Ch” in Russia, was conducted.*

*The findings from this study hold significance for national laboratories engaged in time and frequency research, time-frequency support for satellite navigation and communication systems. Moreover, they will contribute to the ongoing enhancements of the metrological characteristics of the State Primary Standard of Time and Frequency in the Republic of Kazakhstan, along with the maintenance of the national UTC(KZ) time scale.*

**Key words:** *temperature coefficient of frequency, passive hydrogen masers, UTC(KZ), VCH-1008, frequency drift stability, Allan deviation*

### **Актуальность работы**

Анализ долговременных характеристик пассивных водородных стандартов частоты и оценка динамики основных параметров являются весьма важными не только для национальных эталонов времени и частоты, но также для спутников Galileo, BeiDou и ГЛОНАСС, которые используют пассивные водородные стандарты в качестве бортовых часов.

### **Цель работы**

Целью работы является анализ долговременных характеристик пассивных водородных стандартов частоты и оценка динамики основных параметров, влияющих на поведение атомных часов, участвующих в формировании национальной шкалы времени UTC(KZ).

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

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

Впервые представлены результаты долговременных характеристик пассивных водородных стандартов частоты на интервале времени наблюдения более 2 лет.

Проведено экспериментальное исследование основных характеристик пассивных водородных стандартов частоты VCH-1008, производства АО «Время-Ч», Россия.

Результаты данной работы представляют интерес для национальных лабораторий времени и частоты, частотно-временного обеспечения спутниковых навигационных систем, систем связи, а также будут использоваться для дальнейшего улучшения метрологических характеристик Государственного первичного эталона времени и частоты Республики Казахстан и ведения национальной шкалы времени UTC(KZ).

### **Задачи работы**

Необходимо провести анализ характеристик пассивных водородных стандартов частоты и времени VCH-1008, входящих в состав Государственного первичного эталона времени и частоты Республики Казахстан;

Необходимо провести оценку влияния температуры и сделать прогноз на возможное изменения температурного коэффициента частоты в будущем.

### **Суть работы**

Критическая информационная инфраструктура, включая секторы телекоммуникаций, радиовещания, энергетики и финансов, надежно функционирует благодаря точному времени, которое опирается на национальную стандартную временную шкалу. В Республике Казахстан эта временная шкала обеспечивается РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» (КазСтандарт) и представляет собой локальную реализацию всемирного координированного времени (UTC), известного как UTC(KZ).

Национальная шкала времени Республики Казахстан UTC(KZ) реализуется на основе пассивных водородных стандартов частоты и времени VCH-1008. Данные измерений UTC(KZ) относительно глобальных навигационных систем и данные внутренних сличений стандартов частоты ежедневно передаются в МБМВ. На основе полученных данных МБМВ формирует раз в месяц протоколы Circular T и раз в неделю протоколы UTCr [1] с информацией об отклонении шкалы UTC относительно участвующих в измерениях шкал лабораторий, включая UTC(KZ) за соответствующий период, а также присваивает веса отдельным стандартам частоты. В большинстве ведущих метрологических лабораторий шкалы времени формируются на основе активных водородных стандартов, которые обладают высокой стабильностью и предсказуемостью. Такие шкалы можно корректировать не чаще одного раза в месяц на основе данных Circular T и достигать сходимости с UTC в пределах единиц наносекунд. Пассивные водородные стандарты частоты обладают большей нестабильностью частоты, поэтому для достижения сопоставимой высокой точности подстройки шкалы, формируемой на их основе, под UTC требуется более частое управление. В работах [2, 3] анализируется поведение шкалы UTC(KZ), автоматически подстраиваемой по данным UTCr.

В 2021 году Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени Республики Казахстан (ГЭВЧ) был оснащён эталонным комплексом времени и частоты ЯКУР.411735.024 производства АО «Время-Ч», Россия.

Для задачи формирования шкалы атомного времени ключевыми характеристиками водородных стандартов являются долговременная нестабильность частоты (девиация Аллана) и предсказуемость дрейфа частоты. В работе анализируются эти характеристики на основе данных непрерывных измерений в течение более двух лет.

Существенное влияние на результат воспроизведения и хранения единиц времени, частоты и национальной шкалы времени оказывает изменение температурного режима. В связи с этим в данной работе исследуется влияние изменения температуры на характеристики стандартов частоты.

### Полученные результаты

#### Долговременная нестабильность частоты и дрейф

Основу ГЭВЧ составляют три стандарта частоты и времени водородных VCH-1008 два из которых (PHM1 и PHM2) расположены в климатической камере VCH-A18, в которой поддерживается температура в пределах  $\pm 0,2$  °C, а третий (PHM3) расположен вне камеры. При этом температура в помещении ГЭВЧ за время наблюдения изменялась в достаточно больших пределах от 18 °C до 31 °C.

На начальном этапе работы модернизированного ГЭВЧ (декабрь 2021 – февраль 2022) была выполнена оценка дрейфа частоты каждого стандарта на основе данных кодовых измерений сигналов глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) в дифференциальном режиме относительно UTC(SU). Были получены следующие величины суточного дрейфа:  $-3,9 \cdot 10^{-16}$ ,  $-2,1 \cdot 10^{-16}$ ,  $-2,7 \cdot 10^{-16}$  соответственно для PHM1, 2 и 3. Следует отметить, что такие значения считаются достаточно малыми для пассивных водородных стандартов частоты, они на порядок меньше характерной величины суточной нестабильности частоты и приводят к увеличению девиации Аллана уже на более длительных интервалах времени измерения (более 10 суток). При выпуске дрейф частоты пассивных водородных стандартов может составлять величину порядка нескольких единиц  $10^{-15}$ . Тем не менее для задачи хранения времени имеет смысл предельно минимизировать величину дрейфа. Начиная с конца февраля 2022 года с помощью программного обеспечения в автоматическом режиме осуществляется компенсация дрейфа частоты путем коррекции кода синтезатора на  $10^{-15}$  с периодом, рассчитанным для соответствующей величины дрейфа.

На рис. 1а представлены совмещенные графики температуры и относительных разностей частот стандартов. На рис. 1б представлены графики нестабильности частоты PHM2 и PHM3 относительно PHM1.

Полученные результаты свидетельствуют о высоких метрологических характеристиках современных пассивных водородных стандартах частоты. Усредненные суточные дрейфы разности частот равны  $1,75 \cdot 10^{-17} \pm 2,2 \cdot 10^{-18}$  и  $-1,62 \cdot 10^{-17} \pm 6,6 \cdot 10^{-18}$  (доверительные интервалы указаны для вероятности 95 %). Получены следующие оценки усредненного суточного дрейфа для каждого стандарта в отдельности относительно UTC(SU):  $1,25 \cdot 10^{-17} \pm 1,34 \cdot 10^{-17}$ ,  $2,31 \cdot 10^{-17} \pm 1,09 \cdot 10^{-17}$ ,  $-1,33 \cdot 10^{-17} \pm 1,33 \cdot 10^{-17}$ . Результаты подтверждают эффективность системы автоматической компенсации дрейфа, уменьшающей его более, чем на порядок.

Суточная нестабильность частоты для стандартов, расположенных в климатических камерах, составляет величину около  $10^{-15}$ , что соответствует характеристике активных водородных стандартов предыдущего поколения, таких как VCH-1005. Суточная нестабильность частоты третьего стандарта, расположенного вне климатической камеры и подверженного сильным температурным колебаниям, тем не менее, при усреднении на длительном интервале показывает величину  $2,1 \cdot 10^{-15}$ , что укладывается в требования спецификации для VCH-1008.

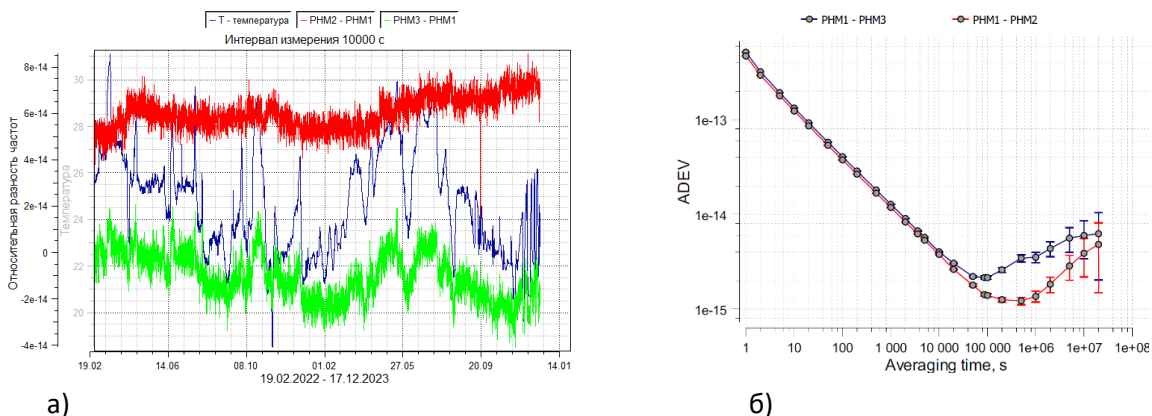


Рис. 1: а) разность частот PHM2 (красный) и PHM3 (зеленый) относительно опорного PHM1, график температуры (синий); б) нестабильность частоты PHM2 и PHM3 относительно опорного PHM1.



## Влияние температуры

Отсутствие стабилизации температуры в помещении ГЭВЧ дает возможность оценить температурную чувствительность пассивного водородного стандарта РНМЗ, а также проверить не изменится ли эта чувствительность со временем.

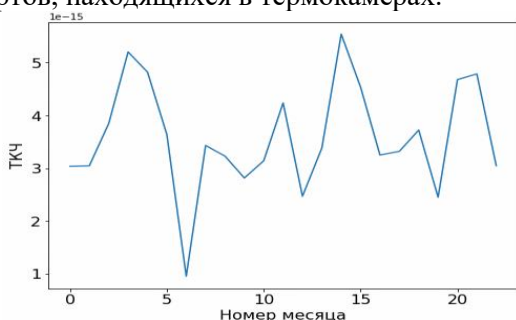
Данные о температуре в помещении поступают от термогигрометра ИВТМ-7М и записываются с интервалом в 10 секунд. Для анализа используются данные, представленные на рис. 1а (с 19.02.2022 по 17.12.2023), в которых с помощью медианного фильтра исключены выбросы. Интервал усреднения разности частот равен 10000 с.

Рассмотрим разность частот РНМЗ–РНМ1 и воспользуемся статистическими методами библиотеки SciPy для оценки влияния температуры на частоту стандарта РНМЗ, пренебрегая влиянием температуры на стандарт РНМ1, который расположен в термокамере. Важно отметить, что компаратор, на котором измеряются разности частот также расположен в термокамере.

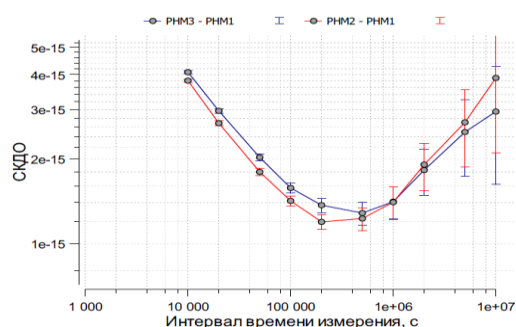
Коэффициент корреляции Пирсона между значениями температуры и разности частот РНМЗ–РНМ1 равен 0,79 при нулевом Р-значении. Для сравнения коэффициент корреляции с разностью частот РНМ2–РНМ1 на порядок меньше (~0,079), хотя Р-значение, равное  $2,4 \cdot 10^{-9}$ , говорит хоть и о слабой, но статистически значимой связи между температурой в помещении и разностью частот стандартов, размещенных в термокамерах. Коэффициент линейной зависимости частоты от температуры составил  $3,72 \cdot 10^{-15} \pm 8 \cdot 10^{-17}$  на  $1^\circ\text{C}$  (доверительный интервал указан для вероятности 95 %). Согласно спецификации VCN-1008 [4] температурный коэффициент частоты не должен превышать  $1 \cdot 10^{-14}$ .

Для исследования постоянства температурной зависимости частоты запись была разделена на отрезки продолжительностью около одного месяца. На каждом отрезке методом линейной регрессии оценивался температурный коэффициент частоты. Результат, представленный на рис. 2а, демонстрирует отсутствие явной тенденции к изменению температурной чувствительности со временем.

На рис. 2б представлен график нестабильности преобразованной разности частот РНМЗ–РНМ1 из которой вычтена составляющая, обусловленная изменением температуры. Используется один коэффициент температурной зависимости для всей записи ( $3,72 \cdot 10^{-15}$ ). График нестабильности в случае искусственной термокомпенсации в результате обработки данных близок к графику нестабильности стандартов, находящихся в термокамерах.



а)



б)

Рис. 2: а) динамика зависимости температурного коэффициента частоты (ТКЧ); б) сравнение нестабильности разности частот РНМЗ–РНМ1 (с термокомпенсацией в постобработке) и нестабильности для РНМ2–РНМ1

## Выводы

Результаты анализа свидетельствуют о высоких метрологических характеристиках современных пассивных водородных стандартов частоты VCN-1008. Показана эффективность автоматической компенсации дрейфа частоты в стандартах. Исследована температурная чувствительность стандартов. Показано, что использование термокамер позволяет значительно улучшить долговременную стабильность частоты, а при отсутствии стабилизации температуры можно использовать программную термокомпенсацию – коррекцию частоты стандарта по данным датчика температуры. Однако такая термокомпенсация требует экспериментальной проверки.

## Литература

[1] G. Petit, F. Arias, A. Harmegnies, G. Panfilo and L. Tisserand, "UTCr: a rapid realization of UTC" Metrologia, vol. 51, 2023, pp. 33-39.

[2] Смагулов С.Б. Алгоритм формирования национальной шкалы времени UTC(KZ) на основе пассивных водородных стандартов частоты и времени/ С.Б. Смагулов, А.В. Юрченко // Сборник материалов V

Международного форума «Интеллектуальные системы 4-й промышленной революции», – 2023. – Томск: STT, – С.44-46.

[3] Смагулов С.Б., Мишагин К.Г. Реализация метода автоподстройки национальной шкалы времени UTC(KZ) с помощью еженедельных данных Rapid UTC // Сборник тезисов докладов II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международного конкурса «Лучший молодой метролог КОООМЕТ-2023». – 2023. – Екатеринбург. – С. 29-35.

[4] Метрологические характеристики стандартов частоты и времени Ч1-1007, производства ЗАО «Время-Ч». <https://www.vremya-ch.com/index.php/product/passivehm-ru/ch1-1007-ru/index.html>.

# ОБЪЁМНАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ МНОГОКООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ: АНАЛИЗ И КОРРЕКЦИЯ

Владимир Александрович Соколов<sup>1</sup>, Я. И. Пимушкин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,  
Москва, Российская Федерация

<sup>1</sup>vasokolov-stankin@yandex.ru

<sup>2</sup>yaroslav-pimushkin@yandex.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрен метод повышения точности программно-управляемых технологических и измерительных многокоординатных систем. В современном цифровом производстве в условиях интеграции вычислений с физическими процессами такие многокоординатные системы становятся киберфизическими. Важной характеристикой многокоординатных систем является объёмная точность – способность точно воспроизводить сложные геометрические поверхности. В настоящее время актуально совершенствование как средств измерений, так и методик измерений и компенсации объёмных погрешностей. Предложен метод наглядной визуализации большого объёма измерительной информации как эффективного средства анализа, и на основе метода выработан подход к повышению точности посредством компенсации объёмных погрешностей. Использование предложенного метода визуализации позволило сделать вывод о точностных характеристиках многокоординатных систем и оценить влияние различных составляющих объёмной погрешности на погрешности многокоординатной системы. Подход к повышению объёмной точности реализован с помощью разработанного авторами программного обеспечения. Эксперименты подтвердили повышение объёмной точности при малых временных и материальных затратах. Исследованный метод визуализации и подход к повышению объёмной точности дают возможность цифрового объединения информации о точностных характеристиках множества обрабатываемых и измерительных многокоординатных систем в единую сеть предприятия или комплекса предприятий, а также применения искусственного интеллекта при разработке и совершенствовании действующих или новых технологических маршрутов.*

**Ключевые слова:** объёмная точность, цифровое производство, интерференционные измерения, многокоординатные системы, цифровая трансформация

## **Annotation**

*The paper describes a method of accuracy improvement for multi-axis NC-controlled technological and measurement systems. Such systems are essentially cyber-physical in conditions of integration of calculations into physical processes in modern digital production. Volumetric accuracy – ability of a system to precisely reproduce a complex geometrical surface – is an important characteristic of multi-axis systems. Both measurement devices and methods of error correction are being improved by up-to-date researchers. The paper considers a method of convenient visualization of large amounts of collected data and an approach to improve volumetric accuracy by means of volumetric error compensation. The considered visualization method provides valuable data on multi-axis system's accuracy characteristics and information about influence of various error components on multi-axis system's error map. The accuracy improvement approach was implemented by original software. The experiments confirmed accuracy improvement and low time and material costs of the method. The proposed method and approach are basis for consolidation of accuracy information collected from various multi-axis systems into united enterprise network and offers possibilities for artificial intelligence employment in order to develop new and advance existing technologies.*

**Key words:** volumetric accuracy, digital manufacturing, interference measurements, multi-axis systems, digital transformation

## **Введение**

Настоящий доклад описывает метод повышения точности программно-управляемых технологических и измерительных многокоординатных систем – в первую очередь станков и координатно-измерительных машин на основе лазерных интерференционных измерений, основы которого изложены в ряде предыдущих публикаций авторов [1–5].

### **Актуальность работы**

Важной характеристикой пространственных систем служит объёмная точность – способность точно воспроизводить сложные геометрические поверхности в процессе измерения и/или обработки. Данный термин впервые введён в мировой литературе в [6] и отечественной литературе в [7]. Объёмная точность характеризуется объёмной погрешностью – вектором от номинального (заданного программой) до действительного положения режущей кромки и/или измерительного наконечника в рабочем пространстве многокоординатной системы. Разработка методов и средств измерений объёмной погрешности и путей повышения объёмной точности – актуальная задача.

### **Цель работы**

В настоящее время учёные совершенствуют как средства измерений, так и методики измерения и компенсации объёмных погрешностей [8]. В МГТУ «СТАНКИН» сотрудники исследуют влияние как геометрических погрешностей, вызванных в первую очередь несовершенством конструкции многокоординатной системы [1–3], так и влияние силовых [9] и температурных [10] составляющих погрешностей.

**Цель исследования** – повышение объёмной точности многокоординатных систем на основе лазерных интерференционных измерений геометрических составляющих объёмной погрешности.

**Метод моделирования объёмной погрешности по результатам лазерных интерференционных измерений**

В качестве метода моделирования объёмной погрешности в рабочем пространстве многокоординатной системы выбран метод кинематики твёрдого тела [11, 12]. Особенность этого метода заключается в том, что на основе матричного уравнения, полученного в математической модели, определяются составляющие погрешности по *управляемым* осям. Как правило, число  $n$  управляемых линейных и/или круговых осей в том или ином виде оборудования невелико ( $n = 3, \dots, 5$ ). В то же время число  $N$  составляющих погрешностей по осям значительно больше, т. е.  $n \ll N$ , и может достигать значений  $N = 21$  для трёхкоординатной системы,  $N > 30$  для четырёхкоординатной системы и т.д. Поэтому коррекция объёмных погрешностей посредством передачи информации управляемым осям приводит к случаю неполной коррекции во всём рабочем пространстве.

**Новизна работы заключается в методе коррекции объёмной погрешности многокоординатной системы**

Суть предложенного метода сводится к тому, что по результатам измерений всего набора составляющих погрешностей по управляемым осям строится карта распределения погрешностей в рабочем пространстве многокоординатной системы [1–3].

Для повышения точности обработки или измерения между системами АСТПП и ЧПУ устанавливается специальная программа – постпроцессор, осуществляющий *виртуальное совмещение* технологической и измерительной баз детали, что приводит к повышению точности контроля или изготовления изделия.

В качестве примера рассмотрим процедуру коррекции объёмной геометрической точности вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с тремя управляемыми координатами – станка модели VF3 фирмы HAAS (США) [3]

Авторы предлагают оценивать эффективность коррекции посредством построения гистограмм. Весь диапазон значений погрешностей – от нуля до наибольшего – в точках  $F_i$  рабочего пространства разбивается на равные по ширине интервалы  $\Delta L_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , при этом количество интервалов  $m$  и их ширина выбирается в соответствии с целями исследования. Далее подсчитывается число попаданий значений погрешностей в каждый из интервалов, и строится гистограмма: на оси абсцисс отмечаются интервалы, а на оси ординат отмечается частота попаданий значений погрешностей в каждый интервал  $\Delta L_j$ .

**Задача работы – разработка подхода к повышению точности многокоординатных систем.** Авторами разработан подход к повышению точности многокоординатных систем, который состоит в цифровой трансформации программного обеспечения по полученным результатам лазерных интерференционных измерений. Данный подход предусматривает коррекцию измеренных погрешностей в управляющей программе системы ЧПУ многокоординатной системы. Для этой цели разработано программное обеспечение, названное авторами *постпроцессор управляющих программ*. Работа программного обеспечения описана в [3].

**Суть работы** постпроцессора управляющих программ заключается в том, что на вход

одновременно подаётся программа для системы ЧПУ, сформированная системой АСТПП, и массив данных, содержащий информацию об измеренных погрешностях  $\Delta Fx_i, \Delta Fy_i, \Delta Fz_i$  в каждой точке рабочего пространства. Постпроцессор анализирует каждый кадр программы для системы ЧПУ, выделяет целевые координаты точек, корректирует эти координаты в соответствии с информацией о погрешности в выделенных точках и формирует новые кадры с использованием полученных координат. Трансформированная таким образом программа загружается в систему ЧПУ многокоординатной системы и выполняется в обычном режиме.

### Результаты

В ходе исследований авторами проведён машинный эксперимент для демонстрации возможностей применяемого подхода к коррекции объёмной погрешности. Результаты такой коррекции представлены на рис. 1, согласно которому количество точек, имеющих малую объёмную погрешность, существенно увеличилось после коррекции, соответственно, зона с минимальной погрешностью существенно расширилась. При этом медианное значение погрешности до коррекции составляло 45 мкм, а после коррекции – 20 мкм.

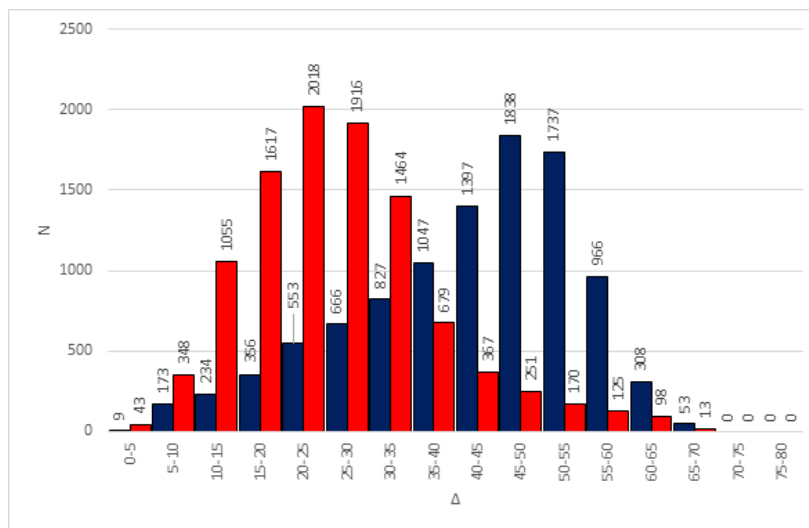


Рис. 1. Гистограмма распределения абсолютных значений объёмной погрешности до (синие столбцы) и после коррекции (красные столбцы)

### Выводы

Предложенная авторами цифровая трансформация управляющих программ для систем ЧПУ посредством разработанного постпроцессора управляющих программ позволяет существенно повысить точность измерения и обработки на многокоординатных системах путём совмещения технологических и измерительных баз деталей.

Предложенные метод визуализации и подход к коррекции объёмной погрешности открывают возможность цифрового объединения информации о точностных характеристиках множества обрабатывающих и измерительных многокоординатных систем в единую сеть предприятия или комплекса предприятий, что позволит в перспективе управлять точностью не одной многокоординатной системы, а целого производственного процесса в рамках технологического маршрута, включая и измерительные операции, в разных точках локации. Метод визуализации и подход к коррекции объёмной погрешности целесообразны для поэтапного контроля геометрических параметров всех узлов объекта, определяющих объёмную точность в рабочем пространстве, что важно при разработке многокоординатной системы.

Цифровая трансформация программы ЧПУ позволяет повысить точность измерения и обработки программным способом без использования затратных ремонтных и наладочных операций.

### Литература

1. Телешевский В. И., Соколов В. А. Лазерная коррекция геометрических погрешностей многокоординатных систем с программным управлением // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 33–37. <https://www.elibrary.ru/pbbtyt>.
2. Телешевский В. И., Соколов В. А. Анализ объёмных геометрических погрешностей в многокоординатных измерительных и технологических системах на основе лазерных измерений // Измерительная техника. 2013. № 12. С. 19–23. <https://www.elibrary.ru/rshoud>.
3. Телешевский В. И., Соколов В. А. Автоматическая коррекция объёмных геометрических погрешностей

- программно-управляемых измерительных и технологических систем // Измерительная техника. 2015. № 7. С. 14–17. <https://www.elibrary.ru/udnvmz>.
4. Смышляева А. А., Резникова К. М., Савченко Д. В. Современные технологии в Индустрии 4.0 – киберфизические системы // Отходы и ресурсы: сетевой журнал. 2020 № 3. <https://dx.doi.org/10.15862/02INOR320>
  5. Sergey N. Grigoriev, Vladimir I. Teleshevsky, Vladimir A. Sokolov. Volumetric Geometric Accuracy Improvement for Multi–Axis Systems Based on Laser Software Error Correction. International Conference on Competitive Manufacturing «COMA`13». Stellenbosch, South Africa. 30 January – 1 February, 2013 Organized by the Department of Industrial Engineering Stellenbosch University. pp. 301–306.
  6. McKeown P. A., Loxham J. Some aspects of the design of high precision measuring machines. *CIRP Annals*, 1973, vol. 22(1), p. 139.
  7. Серков Н. А. Точность многокоординатных машин с ЧПУ: Теоретические и экспериментальные основы. М.: Ленанд, 2015. 304 с.
  8. Budimir. A., Tabaković. S., Zeljković. M. *Measurement Science Review*, 2023, vol. 13. pp. 136–145. <http://dx.doi.org/10.2478/msr-2023-0018>.
  9. Телешевский В. И., Соколов В. А., Пимушкин Я. И. К проблеме лазерной коррекции объёмной погрешности многокоординатных систем. Материалы III Международной научно–технической конференции «Проблемы машиноведения». В 2–х ч. Ч. II. Омск, Россия, 23–24 апреля 2019. Омск: Омский государственный технический университет, С. 249–253. <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1260/3/032038>.
  10. Кузнецов, А. Тенденции в развитии и эффективном производстве станков. Часть 1. физические основы развития производственных систем // Станкоинструмент. 2021. № 2(23). С. 40–49. <http://dx.doi.org/10.22184/2499-9407.2021.23.2.40.48>.
  11. Okafor A. C., Ertekin Y. M. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2000, № 40(8), pp. 1199–1213. [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(99\)00105-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(99)00105-4).
  12. H. Schwenke, W. Knapp, H. Haitjema, A. Weckenmann, R. Schmitt, F. Delbressine. *CIRP Annals*, 2008, vol. 57. pp. 660–675. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2008.09.008>.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТДЕЛА ГЛАВНОГО МЕТРОЛОГА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ЗАВОД ИМЕНИ СЕРГО» С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Дарья Валерьевна Соловьева

Акционерное общество «Производственное объединение «Завод имени Серго»  
(АО «ПОЗиС»),  
Зеленодольск, Российская Федерация  
89046622656, darina-toks@mail.ru

## **Аннотация**

*В статье рассматриваются способы повышения эффективности работы Отдела главного метролога «Производственного объединения «Завод имени Серго».*

*Анализ работы показал, что применение инструментов бережливого производства в метрологическом обеспечении машиностроения играет важную роль при проведении мероприятий по увеличению производительности труда.*

*Объектом анализа стала поверка средства измерения, где с помощью инструмента бережливого производства, картирования, были рассчитаны затраты времени и сравнены с типовыми нормами времени.*

*На основании проведенного исследования были выявлены потери в работе с помощью инструментов бережливого производства и возможных путей решения, для значительного улучшения показателей эффективности работы Отдела главного метролога. Для устранения потерь применили инструменты: 5 S и Визуальный менеджмент. Комплексное применение данных инструментов помогло сократить фактическое время поверки средства измерений на 2,5 часа или на 39,1 %.*

**Ключевые слова:** бережливое производство, метрологическое обеспечение, картирование, 5 S, средство измерений (СИ), поверка

## **Annotation**

*The article discusses ways to improve the efficiency of the Department of the Chief Metrologist of the Production Association «POZIS».*

*The analysis of the work showed that using the tools of lean production in the metrological support of engineering plays an important role in carrying out measures to increase labor productivity.*

*The object of the analysis was the verification of the measuring instrument, where with the help of the tools of lean production, mapping, time costs were calculated and compared with standard of time.*

*Based on the conducted research, losses in work with the help of the tools of lean production and possible solutions were identified to significantly improve the performance indicators of the Department of the Chief Metrologist. Tools were used to eliminate losses: 5S(5 steps) and Visual Management. The integrated use of these tools helped to reduce the actual verification time of the measuring instrument by 2.5 hours or by 39.1 %.*

**Key words:** lean production, metrological assurance, mapping, 5 S, measuring instrument (SI), verification.

## **Введение**

### **Актуальность работы**

Функциональным инструментом для создания эффективных технологических процессов на предприятии является метрологическое обеспечение. Оно направлено на решение производственных вопросов, дающих достоверную оценку измерений и контроля качества продукции.

Отдел главного метролога на предприятии осуществляет проведение арбитражных и высокоточных измерений, аттестацию испытательного оборудования, ремонт и техническое обслуживание измерительного оборудования, метрологическую экспертизу технической и конструкторской документации, поверку и калибровку средств измерений.

Средства измерений (СИ), предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежат поверке. 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. [1]

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.[1].

Цель поверки – выяснить, соответствуют ли характеристики средства измерения регламентированным значениям и пригодно ли оно к применению по прямому назначению. Поверка средств измерений необходима для подтверждения достоверности измерения приборами, осуществляющими оценку качества отпускаемой продукции на всех этапах производства.

Результаты поверки средств измерений подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, на средство измерений наносится знак поверки, и (или) выдается свидетельство о поверке средства измерений, и (или) в паспорт (формуляр) средства измерений вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки, или выдается извещение о непригодности к применению средства измерений.[1,2]

Результатом поверки является подтверждение пригодности средства измерений к применению или признание средства измерений непригодным к применению.

Сокращение времени поверок средств измерений значительно увеличивает производительность труда в метрологической службе, что, в свою очередь, ведет к повышению прибыли предприятия, соответственно, и к повышению уровня дохода рабочих.

#### **Цель и задачи**

Цель работы – показать, что применение инструментов бережливого производства в метрологическом обеспечении машиностроения играет важную роль при проведении мероприятий по увеличению производительности труда.

Задачей исследования является совершенствование и улучшение методов работы метрологической службы для увеличения производительности труда, поддержания высокого качества продукции, на примере проведения поверки средства измерения.

#### **Научная новизна и практическая значимость**

Предложен новый подход с применением эффективных методов работы и непрерывного улучшения метрологических процессов, благодаря инструментам бережливого производства

Для повышения производительности и эффективности работы, Отдел Главного метролога обращается к концепции бережливого производства, где концепция заключается в постоянном стремлении к устранению потерь.

#### **Применение инструментов бережливого производства**

Для анализа эффективности поверки средства измерений, проведено исследование по выявлению фактического времени на поверку весов автоматических в общем виде с помощью инструмента бережливого производства – картирования. Рассчитаны затраты времени и сравнены с типовыми нормами времени на поверку средств измерений, которые установлены Рекомендацией МИ 2322-99 «Типовые нормы времени на поверку средств измерений», где норма времени – продолжительность поверки в часах. [3]

Картирование – это инструмент, позволяющий увидеть весь процесс как цепочку связанных между собой операций. Цель картирования – увидеть работу отдела, участка, предприятия для выявления и устранения потерь. [4]

Основной идеей бережливого производства является сокращение бесполезных операций и действий, не добавляющих ценности продукта, а порой и убавляющих ее.

В соответствии с ГОСТ Р 56020-2020. классификация потерь включает в себя: потери из-за лишних запасов, потери при лишних перемещениях, потери из-за ненужных движений или транспортировки, потери из-за излишней обработки, потери из-за бракованной продукции, потери времени из-за ожидания, перепроизводство. [5]

Дополнительные виды потерь – потери от неиспользованного потенциала персонала. Чтобы минимизировать потери, их нужно знать, отличать друг от друга и понимать их негативное воздействие.

Картирование концентрирует внимание на потоке создания ценности поверки СИ. Составлена карта потока создания ценности поверки средства измерений в виде таблицы 1, и, выбрано, какие действия не создают ценности.



Таблица 1 – Картирование потока создания ценности поверки весов автоматических

Наименование операции	Время операции, секунды	Создающие или не создающие ценность действия
2	3	4
Визуальный осмотр, проверка состояния и комплектность СИ	420 с	Создающие ценность действия
Проведение технического обслуживания, протирание поверхности, очищение от грязи	1500 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Включение компьютера, загрузка браузера	600 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Вход на страницу сайта ФГИС «АРШИН»	300 с	Создающие ценность действия
Проверка типа средства измерения, номера Государственного реестра и описания типа	1200 с	Создающие ценность действия
Проверка документации, наличие МИ и ГОСТ, паспорта завода изготовителя	840 с	Создающие ценность действия
Поиск в папке с нормативной документацией Приказа с Государственной поверочной схемой	660 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Проверка по Государственной поверочной схеме прослеживаемости к эталону	360 с	Создающие ценность действия
Подготовка к проведению поверки: поиск эталона и СИ для поверки	1320 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Уборка на рабочем месте, где будет осуществляться поверка СИ	600 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Соблюдение климатических условий для проведения поверки СИ	900 с	Создающие ценность действия
Занесение записи в журнал регистрации климатических условий	300 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Определение метрологических характеристик вместе с расчетами	7200 с	Создающие ценность действия
Оформление протокола в бумажном варианте	1800 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Вход в личный кабинет ФГИС «АРШИН»	600 с	Создающие ценность действия
Ожидание загрузки личного кабинета	420 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Внесение результатов поверки В ФГИС «АРШИН»	1200 с	Создающие ценность действия
Занесение записи в журнал регистрации свидетельств поверок	600 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Занесение записи в график поверок (на бумажном носителе)	420 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Оформление свидетельства поверки на бумажном носителе	780 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Создание копии свидетельства для заказчика (подразделения)	240 с	<b>Не создающие ценность действия</b>
Сборка комплекта СИ с копии свидетельства и соответствующей документацией	720 с	Создающие ценность действия

По таблице 1 время поверки средства измерений составляет 22980 секунд или 6,38 часов, где практически 43,3 % происходят действия, не создающие ценность, а именно потери.

Норма времени поверки весов автоматических по Рекомендации Государственной системы обеспечения единства измерений составляет 2 часа, это 31,3 % от всего времени проведенной поверки.

При анализе карты потока создания ценности можно выявить следующие потери. Потери из-за ожидания: зависимость от неисправного компьютера, задержка в получении информации, проблемы с программным обеспечением, отсутствие стандартов предприятия, других организационных документов.

Потери из-за лишних перемещений – излишнее перемещение материалов, деталей, инструмента, готовой продукции, документации за счет не рационального расположения кладовых, оборудования, кабинетов, стеллажей.

Потери из-за лишних движений – поиск нужного инструмента, документа, детали для работы, передача изделия, документа на следующий этап обработки вручную.

Потери из-за лишних запасов – большое количество копий документов на рабочих столах.

Потери из-за излишней обработки результатов поверки, внесение записей в журнал и графики, на бумажный носитель.

В системе бережливого производства существует множество инструментов. В данном исследовании для устранения потерь применили инструменты: 5 S и Визуальный менеджмент.

Применение инструмента 5S (5 шагов) для устранения потерь лишних перемещений, излишней обработки, лишней транспортировки. 5 S помогает стабилизировать процесс, организовать рабочие места, дать понять, что улучшения, в первую очередь, начинаются на рабочих местах. [6].

Первый шаг – это сортировка. Четкое разделение предметов на нужные и ненужные.

Второй шаг – соблюдение порядка. Организация хранения необходимых вещей и предметов, которая позволяет более быстро и просто найти то, что используется ежедневно. Разработка решений для электронного документооборота, где будут собраны вместе журналы для учета средств измерений, графиков поверки в электронном виде. Переведение протоколов поверки в цифровую форму для сокращения обработки результатов поверки и выгрузки в Федеральный информационный фонд ФГИС «АРШИН». [7].

Третий шаг – содержание рабочего места в чистоте и опрятности. Это поддержание чистоты и устранение источников загрязнения, постоянная уборка.

Четвертый шаг – стандартизация. Это необходимо для улучшения контроля и формирования базы, для выработки привычки.

Пятый шаг – совершенствование. Улучшение организации рабочего места, постоянное повторение первых четырех шагов, выработка привычки улучшать рабочее место и повторять первые четыре шага.

Преимущество 5S, это в первую очередь видимые улучшения, которые затрагивают непосредственно рабочих отдела, их рабочие места и операции, то есть там, где человек, который создает ценность, непосредственно работает. Повышение производительности труда дает устранение мелких потерь.

Визуальный менеджмент представляет собой такое расположение инструментов, нормативной документации, при котором они будут четко видны. Это обеспечивает работникам возможность быстрее усваивать информацию усваивать информацию для проведения поверки средств измерений. [8].

В лаборатории измерений массы, силы и твердости были вывешены доска заданий и баннеры с Государственными поверочными схемами.

Доска заданий на стене помогла лучше ориентироваться в плане работы на день или на неделю, рационально распределять обязанности между работниками. На стенах лаборатории баннеры с Государственными поверочными схемами необходимы для лучшего понимания прослеживаемости эталонов и средств измерений. Таким образом, информация быстро укладывается в голове и периодически напоминает о себе.

### **Результаты**

Комплексное применение инструментов бережливого производства помогло сократить фактическое время поверки средства измерений на 2,5 часа или на 39,1 %.

### **Заключение**

Проведенное исследование показало эффективность применения методов бережливого производства в метрологической службе предприятия. Наличие квалифицированных специалистов и необходимых ресурсов может способствовать созданию бережливого мышления на предприятии, где бережливое мышление – это способность принимать верные решения на благо компании с определенной перспективой на будущее страны.

### **Литература**

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». Введ. 2008-12-30. М., 2008.
2. Приказ № 2510 от 31.07.2020 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
3. МИ 2322-99 «ГСИ Типовые нормы времени на поверку средств измерений». Введ. 1999-01-19. М., 1999.

4. Стяжкин М.Н., «Концепция Lean production и инструменты ее реализации в рамках производственной системы POZIS», Зеленодольск, 2021.
5. ГОСТ Р 56020-2020 «Бережливое производство. Основные положения и словарь», Введ. 2021-08-01. М., 2020.
6. Семенычев Филлипп, 5S Организация рабочих мест// Ф.Семенычев// «Литрес Самиздат-2016 -210 с.
7. ФГИС «АРШИН» <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>
8. Семенычев Филлипп, Визуализация для эффективности// Ф.Семенычев// «Литрес Самиздат-2016-140 с.

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ КВАРЦЕВЫЕ. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭТАЛОННЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

Павел Владимирович Сухов

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»  
(ФГБУ «ВНИИМС»)  
Москва, Российская Федерация  
p.suhov@vniims.ru

## **Аннотация**

*В настоящее время практически не подвергается сомнению сложившаяся практика использования в качестве рабочих эталонов единицы температуры термометров сопротивления платиновых. Однако и у данного хорошо зарекомендовавшего себя и хорошо изученного подхода есть свои недостатки. В качестве альтернативы сложившейся практике, необходимо рассмотреть возможность создания рабочих эталонов температуры на базе кварцевых термочувствительных элементов. Существенным стимулом к исследованиям в области создания таких термометров может послужить возможность установления интервала между поверками в 5 лет. Долгое время кварцевые преобразователи температуры с частотным выходным сигналом не утверждались в качестве средства измерений. Все утвержденные к началу 2023 года средства не отличались высокой точностью, пределы допускаемой погрешности (от  $\pm 0,1$  °C до  $\pm 0,5$  °C). В 2023 году специалисты ФГБУ «ВНИИМС» провели испытания в целях утверждения типа средства измерений различных модификаций преобразователей температуры кварцевых, выпускаемых ООО «СКТБ ЭлПа». В процессе испытаний было выявлено, что среди представленных образцов есть образцы, которые по характеристикам точности могут соответствовать уровню рабочего эталона 3-го разряда*

**Ключевые слова:** эталон единицы температуры, эталонные термометры, кварцевые термометры, термометры сопротивления, интервал между поверками, градуировки

## **Annotation**

*Currently, there is practically no doubt about the current practice of using platinum resistance thermometers as working standards for temperature units. However, this well-established and well-studied approach has its disadvantages. As an alternative, it is necessary to consider the possibility of creating working temperature standards based on quartz thermosensitive elements. A significant incentive to research in the field of creating such thermometers is the possibility of establishing an interval between verifications of 5 years. For a long time, quartz temperature transducers with a frequency output signal were not approved as a measuring instrument. All the measuring instruments approved by the beginning of 2023 did not differ in high accuracy, the limits of permissible error (from  $\pm 0.1$  °C to  $\pm 0.5$  °C). In 2023, specialists of FSBI VNIIMS conducted tests in order to approve the type of measuring instrument of various modifications of quartz temperature transducers manufactured by SKTB ElPa LLC. During the testing process, it was revealed that among the samples presented there are samples that, in terms of accuracy characteristics, can correspond to the level of the working measurement standard of the 3rd category..*

**Key words:** Standard for temperature units, standard thermometers, quartz thermometers, resistance thermometers, interval between verifications, graduations

## **Актуальность в научном значении**

В настоящее время практически не подвергается сомнению сложившаяся практика использования в качестве рабочих эталонов единицы температуры термометров сопротивления платиновых. Однако и у данного хорошо зарекомендовавшего себя и хорошо изученного подхода есть свои недостатки. К недостаткам относятся: изменение номинального сопротивления термометра, возникающее из-за частого и недостаточно бережного использования термометра, хрупкая и сложная в изготовлении конструкция термометров, необходимость проводить долговременный отжиг в случае отклонения начального сопротивления от заданного. В нашей стране недостатком применения платиновых термометров в качестве рабочих эталонов также может являться предельный интервал между поверками в 2 года,

установленный для термосопротивления платиновых приказом [1]. И на практике возможное увеличение этого интервала на данный момент не видится обоснованным, так как при периодической поверке термометра часто приходится проводить его повторную градуировку. Однако, в качестве альтернативы сложившейся практике, необходимо рассмотреть возможность создания рабочих эталонов температуры на базе кварцевых термочувствительных элементов. Существенным стимулом к исследованиям в области создания таких термометров может послужить то, что в вышеупомянутом [1] для термометров кварцевых (частотных) установлен рекомендуемый интервал между поверками в 5 лет.

### **Цель работы**

Оценка возможности создания и использования рабочих эталонов температуры на базе кварцевых термочувствительных элементов.

### **Научная новизна**

В будущем с вероятным увеличением стоимости калибровочных работ и работ по поверке эталонного оборудования кварцевые термометры, при условии установления для них интервала между поверками в 5 лет, могут найти широкое применение при проведении работ по поверке достаточно обширной номенклатуры рабочих средств измерений температуры. На данный момент вырисовывается возможность проводить поверку термопреобразователей сопротивления с классами допуска АА, А, В, датчиков температуры с диапазонами измерений температуры от минус 30 °С до плюс 240 °С, различных регистраторов температуры и логгеров, работающих в естественных климатических условиях.

### **Задачи работы**

Основные задачи, выполненные в рамках данной работы:

- 1 Оценить метрологические характеристики представленных на испытания образцов преобразователей температуры кварцевых.
- 2 Сравнение полученных результатов с требованиями, предъявляемыми к рабочим эталонам температуры 3-го разряда.
- 3 Предложить пути решения недостатков использования преобразователей температуры кварцевых в качестве эталонных термометров.

### **Суть работы**

Кварцевые преобразователи температуры – это средства измерений в основе которых лежит изменение частоты пьезоэлектрического кварцевого резонатора от температуры. В качестве чувствительного элемента выступает термочувствительный низкочастотный кварцевый резонатор камертонного типа. В основе работы резонатора механические колебания, реализуемые в кварце, для деформации изгибного типа. Такие деформации возбуждаются пьезоэлектрически в двухстержневой системе с консольным креплением (камертоне).

Среди данной группы средств измерений можно выделить две подгруппы с точки зрения принципиальной схемы и реализации измерений. К первой подгруппе относятся преобразователи температуры кварцевые с цифровым выходным сигналом, которые нашли широкое применение в качестве скважинных термометров. Ко второй подгруппе относятся преобразователи температуры кварцевые с частотным выходным сигналом. При этом важно учесть, что частотный выходной сигнал может лежать в диапазоне от 30 до 100 кГц, что будет отражать собственную частоту колебаний кварцевого резонатора. Возможна также реализация чувствительного элемента с частотным выходным сигналом в диапазоне от 0,3 до 5,5 кГц. Такой диапазон достигается включением в схему автогенератора кварцевого резонатора с постоянной частотой (опорный резонатор), выходной сигнал будет отражать разность частот между термочувствительным кварцевым резонатором и опорным резонатором. Данная схема

Долгое время кварцевые преобразователи температуры с частотным выходным сигналом не утверждались в качестве средства измерений. Так, например, к началу 2023 года в открытой части федерального фонда по обеспечению единства измерений было зарегистрировано всего 5 типов термометров или преобразователей кварцевых с частотным выходным сигналом. Все перечисленные средства измерений объединяют схожие пределы измерений, пределы допускаемой погрешности (от  $\pm 0,1$  °С до  $\pm 0,5$  °С), а также функция преобразования зависимости преобразования частоты от температуры, выраженная полиномом 3 степени.

В 2023 году специалисты ФГБУ «ВНИИМС» провели испытания в целях утверждения типа средства измерений различных модификаций преобразователей температуры кварцевых, выпускаемых ООО «СКТБ ЭлПа». Среди представленных на испытания образцов наибольший интерес для нас представляли преобразователь температуры кварцевый ПТК-3 с пределами допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 0,03$  °С в диапазоне измерений от минус 30 °С до плюс 90 °С и преобразователь температуры кварцевый ПТК-5 с пределами допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 0,15$  °С в диапазоне

0 °С до плюс 240 °С. Представленные образцы были отградуированы в лаборатории ООО «СКТБ ЭлПа» методом сличения с эталонным термометром сопротивления платиновым ПТСВ-10-2, соответствующим уровню рабочего эталона 2-го разряда. В качестве средств воспроизведения температуры применялись жидкостные термостаты в комплекте с металлическим блоком. Градуировка проводилась во всем диапазоне измерений температуры в точках с шагом в 20 °С для образца ПТК-3 и с шагом в 30 °С для образца ПТК-5. У образца ПТК-3 на выходе был частотный сигнал, лежащий в диапазоне от 32597 до 32833 Гц, образец ПТК-5 был с цифровым выходным сигналом. Показания значения частоты с образца снимались при помощи электронно-счетным частотомером ЧЗ-85/7. Показания значений ПТК-5 снимались при помощи компьютера, подключенного к испытываемому образцу по протоколу RS-485. На основе полученных измерений для каждого образца рассчитывались коэффициенты функции преобразования зависимости температуры от частоты, которая выражена полиномом пятой степени (1):

$$T = T_0 + B_1(F_T - F_{T0}) + B_2(F_T - F_{T0})^2 + B_3(F_T - F_{T0})^3 + B_4(F_T - F_{T0})^4 + B_5(F_T - F_{T0})^5 \quad (1)$$

где:  $F_T$  – измеренная частота выходного сигнала, Гц;

$F_{T0}$  – частота, соответствующая опорной температуре  $T_0$ , Гц;

$T_0$  – опорная температура, °С;

$T$  – измеренная температура, °С;

$B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$  – коэффициенты, определенные в интервале измеряемых температур, °С/Гц.

Именно такой подход к выражению функции преобразования, полученный в ходе многолетнего опыта разработки и производства специалистами ООО «СКТБ ЭлПа», помог достичь вышеупомянутой точности измерений и долговременной стабильности. Данная функция устанавливает связь между температурой среды, в которую помещен кварц, и частотой его колебаний. Таким образом информация об опорной температуре, частоте и коэффициентах функции преобразования для образца ПТК-3 заносилась в паспорт изделия, а аналогичные данные для образца ПТК-5 вносились в энергонезависимую память образца, и на выходе при помощи АЦП получался цифровой сигнал с информацией об измеренной температуре. Данные образцы безусловно заявлялись на испытания не в качестве рабочих эталонов единицы температуры, а как высокоточные рабочие средства измерений.

#### Полученные результаты

Результаты, полученные при испытаниях в лаборатории метрологического обеспечения термометрии 207 ФГБУ «ВНИИМС» и представленные в таблицах 1 и 2, дают основания полагать, что при использовании более точных методов градуировки, например, при помощи ампул реперных точек, существует возможность достичь доверительных границ погрешности, которые будут соответствовать уровню рабочего эталона 3-го разряда в соответствии с Государственной поверочной схемы для средств измерений температуры, утвержденной [2]. Стоит отметить, что в лаборатории ФГБУ «ВНИИМС» испытания проводились также методом сличения, но вместо рабочего эталона 2-го разряда, использовался термометр сопротивления платиновый ПТС-10М, соответствующий уровню 1 го разряда.

Таблица 1 — Оценка погрешности измерений ПТК-3

№ точки	$T_{ЭТ}, °С$	$f, Гц$	$T_{ИЗМ}, °С$	$\Delta_{ИЗМ}, °С$	$\Delta_{ДОП}, °С$
1	-30,046	32832,701	-30,052	-0,006	±0,030
2	-9,955	32799,532	-9,963	-0,008	
3	10,033	32764,047	10,027	-0,006	
4	30,658	32724,832	30,641	-0,017	
5	61,589	32660,972	61,589	0,000	
6	89,922	32597,122	89,915	-0,007	

Расчет измеренной температуры проведен по индивидуальной градуировочной характеристике вида:

$$T = T_0 + B_1(F_T - F_{T0}) + B_2(F_T - F_{T0})^2 + B_3(F_T - F_{T0})^3 + B_4(F_T - F_{T0})^4 + B_5(F_T - F_{T0})^5$$

где:  $F_T$  – измеренная частота выходного сигнала, Гц;

$F_{T0}$  – 32597 Гц;

$T_0$  – 89,96310363 °С;

$T$  – измеренная температура, °С;

$B_1 = -0,425086104$  °С/Гц,  $B_2 = -0,00028092$  °С/Гц,  $B_3 = -5,95397E-08$  °С/Гц,  $B_4 = -8,67796E-10$  °С/Гц,  $B_5 = -1,04085E-12$  °С/Гц

Таблица 2 — Оценка погрешности измерений ПТК-5 (цифровой сигнал)

№ точки	$T_{ЭТ}, ^\circ\text{C}$	$T_{ИЗМ}, ^\circ\text{C}$	$\Delta_{ИЗМ}, ^\circ\text{C}$	$\Delta_{доп}, ^\circ\text{C}$
1	0,010	0,012	0,002	±0,150
2	30,017	30,087	0,070	
3	60,091	60,102	0,011	
4	120,020	119,995	-0,025	
5	150,087	150,091	0,004	
6	180,111	180,112	0,001	
7	210,057	210,027	-0,020	
8	240,057	240,018	-0,029	

Из вышеприведенных значений видно, что образцы ПТК-3 и ПТК-5 в большинстве контрольных точек с учетом расширенной неопределенности измерений ( $U_{расш}=0,01\text{ }^\circ\text{C} \dots 0,05\text{ }^\circ\text{C}$ ) соответствует уровню рабочего эталона 3-го разряда. Данные сравнения полученных результатов погрешности и требуемых по ГПС доверительных границ погрешности представлены в таблице 3. Контрольные точки для образца ПТК-5, лежащие в диапазоне от  $0\text{ }^\circ\text{C}$  до  $90\text{ }^\circ\text{C}$  не отражены, так как они повторяются с контрольными точками образца ПТК-3.

Таблица 3 – сравнение полученных результатов погрешности с требованиями к рабочим эталонам 3-го разряда.

№ точки	Образец	$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta_{ИЗМ}, ^\circ\text{C}$	$\Delta_{ИЗМ} - U_{расш}, ^\circ\text{C}$	$\Delta_{ИЗМ} + U_{расш}, ^\circ\text{C}$	$\Delta_{дГПС}, ^\circ\text{C}$
1	ПТК-3	-30	-0,006	-0,016	0,004	0,032
2		-10	-0,008	-0,018	0,002	0,024
3		10	-0,006	-0,016	0,004	0,034
4		30	-0,017	-0,027	-0,007	0,063
5		60	0,000	-0,010	0,010	0,106
6		90	-0,007	-0,037	0,017	0,149
7	ПТК-5	120	-0,025	-0,045	-0,025	0,192
8		150	0,004	-0,016	0,024	0,235
9		180	0,001	-0,029	0,031	0,278
10		210	-0,020	-0,060	0,020	0,321
11		240	-0,029	-0,089	0,021	0,364

Однако из полученных данных также видно, что в отличие от термометров сопротивления, в кварцевых термометрах на данный момент не представляется возможным за счет одного кварцевого чувствительного элемента перекрыть диапазон измерений температур, лежащий от минус  $30\text{ }^\circ\text{C}$  до плюс  $240\text{ }^\circ\text{C}$ . Данный технический недостаток можно предложить устранить созданием кварцевого термометра на основе двух чувствительных элементов. Первый чувствительный элемент изготавливается для измерений температур в диапазоне от минус  $30\text{ }^\circ\text{C}$  до плюс  $90\text{ }^\circ\text{C}$ , второй чувствительный элемент изготавливается и градуируется для измерений температуры в диапазоне от плюс  $90\text{ }^\circ\text{C}$  до плюс  $240\text{ }^\circ\text{C}$ . Принципиальная схема такого термометра представлена на рисунке 1.

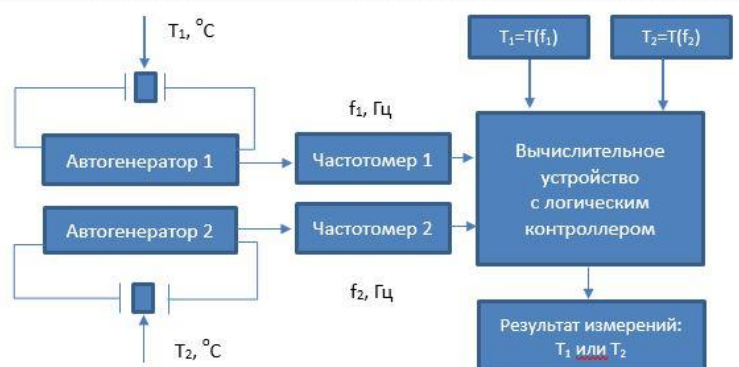


Рис. 1 — Принципиальная схема с двумя термочувствительными пьезоэлектрическими кварцевыми резонаторами

Сложностью реализации данной схемы является необходимость использования двух независимых частотомеров и логического устройства, предназначенного для определения, какой из результатов

измерений передавать для отображения конечному пользователю. Размещение двух термочувствительных элементов в одном термометре так же является сложной конструкторской задачей, но и она по сути решается в кварцевых термометрах с частотным выходным сигналом, лежащим в диапазоне от 0,3 до 5,5 кГц. Как было упомянуто ранее в принципиальной схеме таких преобразователей находятся два кварцевых резонатора, а помещаются они в цилиндрический корпус диаметром менее 8 мм и длиной порядка 70 мм.

В свете полученных данных погрешностей и предложенной схемы есть основания предполагать, что создание рабочих термометров 3-го разряда на основе кварцевых термочувствительных элементов является разрешимой задачей.

#### **Литература**

[1] Приказ Минпромторгом от 2 июля 2019 г. №1502 «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками средств измерений».

[2] Приказ Росстандарта от 23 декабря 2022 г. №3253 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений температуры».



# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ДОЗИМЕТРАМИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Азамат Аскарлович Таубалдиев<sup>1</sup>, М. Живанович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Узбекский национальный институт метрологии (УзНИМ)  
Ташкент, Республика Узбекистан  
+998971807481, t.azamat@nim.uz

<sup>2</sup>Институт ядерных исследований «Винча»  
- Национальный институт Республики Сербия,  
Белград, Сербия  
milosz@vin.bg.ac.rs

## **Аннотация**

*В данной работе представлены результаты исследований полей гамма излучения, создаваемых источником  $^{137}\text{Cs}$  с применением различных комбинаций аттенюаторов и расстояний источник-детектор. Проведены исследования основных характеристик поля, таких как: влияние рассеянного излучения, однородность пучка излучения и размер поля, изменение положения источника, тест на наличие примесей в источнике. Построена концепция «Постоянная квадрата расстояния и кермы» для калибровки поля и на основании данной концепции представлен бюджет неопределённости, результаты которого применяются для ускорения процесса поверки/калибровки дозиметров. По результатам исследований, выявлено влияние толщины аттенюаторов на рассеянное излучение. Выявлено изменение в однородности пучка и в размере поля с изменением толщины аттенюаторов и расстояния источник-детектор. Представлены результаты и вклад в бюджет неопределённости изменения положения источника при повторных измерениях. Изучена возможность определения изотопа  $^{134}\text{Cs}$  законом радиоактивного распада и представлена модель расчёта путём многократных измерений. Разработаны практические рекомендации и внесены предложения по обновлению ISO 4037-1:2019(E) на основе исследований в проект EURAMET 22NRM07 GuideRadPROS «Гармонизация, обновление и внедрение стандартов, касающихся дозиметров радиационной защиты фотонного излучения».*

**Ключевые слова:** гамма-облучатель, ISO 4037, неопределённость измерений, калибровка, радиационная защита

## **Annotation**

*This work presents the results of studies of gamma radiation fields created by a  $^{137}\text{Cs}$  source using various combinations of attenuators and source-detector distances. Studies have been carried out on the main characteristics of the field, such as the influence of scattered radiation, beam uniformity and field size, change in source position, and a test for source impurities. The concept of “Constant of the square of distance and kerma” for field calibration is constructed and, based on this concept, an uncertainty budget is presented, the results of which are used to speed up the process of verification/calibration of dosimeters. According to the research results, the influence of the thickness of the attenuators on the scattered radiation was evaluated. A change in field uniformity and size was observed with changes in attenuator thickness and source-detector distance. The results and the contribution to the uncertainty budget of changes in source position during repeated measurements are presented. The possibility of determining the  $^{134}\text{Cs}$  isotope by the law of radioactive decay has been studied and a calculation model using multiple measurements is presented. Practical recommendations and proposals were made to update ISO 4037-1:2019(E) based on research into the EURAMET project 22NRM07 GuideRadPROS «Harmonisation, update and implementation of standards related to radiation protection dosimeters for photon radiation».*

**Key words:** gamma irradiator, ISO 4037, measurement uncertainty, calibration, radiation protection

### **Актуальность в прикладном значении**

Дозиметры радиационной защиты фотонного излучения используются для измерения доз радиации с целью защиты людей от вредного воздействия ионизирующего излучения. Эти дозиметры калибруются в эталонных фотонных полях в соответствии с ISO 4037-1:2019(E) [1].

В обновлении 2019 года в стандарт ISO 4037 было внесено множество изменений. Новые требования приводят к серьёзным проблемам и затратам при создании таких эталонных полей. Из-за этого небольшие лаборатории и новые метрологические институты (лаборатории) не могут полностью внедрить стандарт.

В связи с многочисленными сложностями с ISO 4037-1:2019(E) возникла необходимость в пересмотре стандарта, которая проводится в рамках проекта EURAMET 22NRM07 GuideRadPROS «Гармонизация, обновление и внедрение стандартов, касающихся дозиметров радиационной защиты фотонного излучения» [2].

Все вышеизложенные проблемы и работы, проводимые на данный момент, делают работы, связанные с созданием и исследованиями полей гамма-излучения актуальными и необходимыми.

### **Цель работы**

Целью данной работы является проведение исследований установки гамма-излучения путем определения всех наиболее важных характеристик поля излучения и построить концепцию калибровки поля, позволяющую упростить процесс поверки/калибровки дозиметров. По результатам исследований сделать рекомендации и внести предложения по пересмотру ISO 4037-1:2019(E).

### **Практическая (прикладная) значимость**

Практическая значимость и новизна данной работы заключается в построении концепции «Постоянная квадрата расстояния и кермы» для калибровки поля, которая упрощает процесс поверки/калибровки дозиметров, а также уменьшает неопределённость измерений. Данная концепция одновременно даёт всю картину рассеянного излучения и значение постоянной квадрата расстояния и кермы в воздухе для пересчёта значения кермы на любом расстоянии. Результаты данной работы будут использованы для обновления стандарта ISO 4037-1:2019(E) в рамках проекта EURAMET 22NRM07 GuideRadPROS.

### **Задачи работы**

Поставлены следующие задачи в рамках данной работы:

- Разработать методики проведения исследований характеристик поля излучения, позволяющие небольшим метрологическим институтам и другим калибровочным лабораториям внедрить ISO 4037-1:2019(E);
- Провести исследования основных характеристик поля;
- Построить концепцию калибровки поля, позволяющую уменьшить неопределённость измерений, упростить и сократить время выполнения поверок/калибровок дозиметров радиационной защиты фотонного излучения.

### **Суть работы**

В данной работе были исследованы характеристики поля излучения, создаваемого гамма-облучательной установкой G10-1-12-E модели, с источником ионизирующего излучения  $^{137}\text{Cs}$  и с номинальной активностью 740 GBq. Установка имеет 3 аттенюатора с кратностью ослабления 25, 250 и 1000 раз.

Результаты, представленные в данной работе, включают влияние рассеянного излучения, однородность пучка и размер поля излучения, изменение положения источника, тест на наличие примесей в источнике [3]. Представлен бюджет неопределённостей при калибровке поля с учётом концепции «Постоянная квадрата расстояния и кермы».

*Рассеянное излучение.* Тест проводится путем измерения мощности кермы в воздухе на разных расстояниях от источника, покрывая как минимум минимальное и максимальное расстояние, используемое для обычных калибровок, а также несколько промежуточных расстояний. После поправки на ослабление воздухом по данным NIST [4], керма в воздухе должна быть пропорциональна обратному квадрату расстояния в пределах 5 %.

Закон обратных квадратов с поправкой на ослабление воздухом рассчитывается по формуле (1).

$$\dot{K}_2 = \frac{\dot{K}_1 \cdot D_1^2 \cdot e^{-\Delta D \cdot \mu}}{D_2^2}, \quad (1)$$

где  $\dot{K}_1$  и  $\dot{K}_2$  мощность воздушной кермы на расстояниях  $D_1$  и  $D_2$  соответственно,  $\Delta D$  – разница между двумя расстояниями,  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления.

Тест проводился без аттенуаторов, а затем повторялся с различными комбинациями аттенуаторов и расстояний, для исследования изменения рассеянного излучения в зависимости от толщины аттенуаторов и расстояний.

Результаты измерений, представленные на рисунке 1, показывают изменение кермы в воздухе для всех расстояний и комбинаций аттенуаторов.

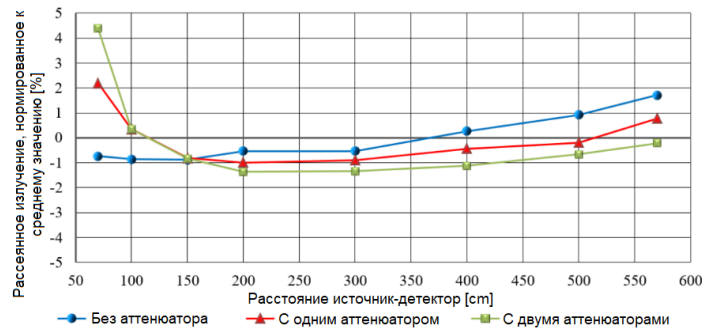


Рис. 1. Изменение рассеянного излучения

Из рисунка 1 следует, что поверку/ калибровку дозиметров необходимо проводить на расстояниях от 1 м до 5 м, где влияние рассеянного излучения не велико.

*Однородность пучка и размер поля излучения.* Измерения проводились на расстояниях 80 см и 160 см от источника на нескольких расстояниях от центра пучка излучения в вертикальном и горизонтальном направлениях. Дополнительный тест был проведен путем анализа размера поля на расстоянии 80 см с использованием одного и двух аттенуаторов для исследования изменения однородности пучка при изменении аттенуаторов.

Выводы: во-первых, при использовании аттенуаторов полезный размер поля излучения уменьшается – использование аттенуаторов увеличивает неравномерность пучка. Во-вторых, учитывая асимметрию пучка, фактический полезный размер поля уменьшается на 0,7–2,6 см, в зависимости от условий.

Однородность пучка и размер поля на расстоянии 160 см без аттенуаторов представлены на рисунке 2.

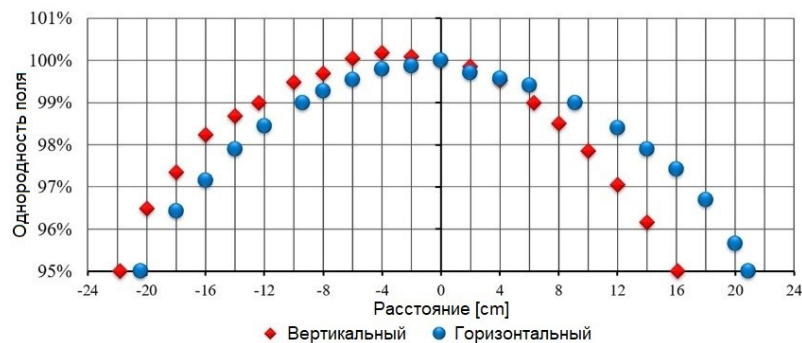


Рис. 2. Размер поля излучения на расстоянии 160 см без аттенуатора

Диаметр поля излучения примерно вдвое превышает диаметр поля при расстоянии источник-детектор 80 см, что и ожидаемо в соответствии с теоремой Фалеса.

*Изменение положения источника.* При повторных облучениях положение источника может незначительно меняться, изменяя мощность кермы в воздухе. Во время однократного облучения мощность кермы в воздухе составила  $(198,012 \pm 0,011)$  мГр/мин на основе 10 измерений (неопределенность выражена как стандартное отклонение). На следующем этапе было проведено 10 измерений в течение 10 различных облучений, мощность кермы в воздухе составила  $(198,021 \pm 0,005)$  мГр/мин. Неопределенность в обоих случаях меньше 0,1 %, следовательно изменение положения источника не оказывает существенного влияния на мощность кермы в воздухе.

*Наличие примесей в источнике.* Вклад  $^{134}\text{Cs}$  в изменение мощности кермы в воздухе рассчитывался путем сравнения семи последующих измерений в течение 8 месяцев с первым, вторым и третьим измерениями, выполненными в течение 8 дней, в течение которых вклад  $^{134}\text{Cs}$  существенно не уменьшался. Рассчитанные результаты вклада  $^{134}\text{Cs}$  в мощность кермы в воздухе составляют 5,3 %, 4,4 % и 3,4 % соответственно. Окончательная оценка вклада  $^{134}\text{Cs}$  в мощность кермы в воздухе представляет собой среднее значение этих трех значений с неопределенностью, равной половине разности между

максимальным и минимальным значением в предположении прямоугольного распределения:  $(4,4 \pm 1,0) \%$ .

*Калибровка поля излучения и бюджет неопределённостей.* Керма в воздухе на каждом расстоянии была умножена на квадрат расстояния, и среднее значение этого произведения является результатом калибровки и постоянным значением - «Постоянная квадрата расстояния и кермы». Керму в воздухе можно рассчитать в любое время и на любом расстоянии от источника путем поправки на ослабление излучения в воздухе и разделив скорректированный результат на квадрат расстояния.

Результаты калибровки источника без аттенюаторов вместе с бюджетом неопределенности приведены в таблице 1.

Таблица 1. Бюджет неопределенности калибровки поля по воздушной керме

№	Описание	Значение	U	Тип	k	$u_i, \%$	$c_i$	$(c_i u_i)^2 / 10^4$
<b>Коэффициент калибровки</b>		<b>25,01 <math>\mu\text{Gy/nC}</math></b>						
1	Сертификат калибровки		0,8 %	Type B	2	0,40	1	0,16
2	Стабильность		0,54 %	Type A	2	0,27	1	0,073
<b>Raw reading</b>		<b>510,07 <math>\text{Gycm}^2/\text{h}</math></b>						
3	Отклонение от закона обратных квадратов		1,78 %	Type A	2	0,89	1	0,79
<b>Температура</b>		<b>24,2 <math>^\circ\text{C}</math></b>						
4	Разрешение		0,05 $^\circ\text{C}$	Type B	1,73	0,12	0,08	0
5	Сертификат калибровки		0,4 $^\circ\text{C}$	Type B	2	0,83	0,08	0,004
6	Разница температур		0,2 $^\circ\text{C}$	Type B	1,73	0,48	0,08	0,002
<b>Давление</b>		<b>962,2 hPa</b>						
7	Разрешение		0,05 hPa	Type B	1,73	0,003	1	0
8	Сертификат калибровки		0,37 hPa	Type B	2	0,02	1	0
<b>Результат калибровки</b>		<b>495,88 <math>\text{Gycm}^2/\text{h}</math></b>						
<b>Расширенная стандартная неопределенность</b>			2,04 %		2	1,02		

#### Полученные результаты

По окончании данной работы были получены следующие результаты:

- в работе Gamma irradiation system's performance tests [3] описаны методики проведения исследований в соответствии с ISO 4037;

- проведены измерения для исследования основных характеристик поля: влияние рассеянного излучения, однородность пучка и размер поля, изменение положения источника, тест на наличие примесей в источнике и сделаны выводы на основе полученных результатов;

- построена концепция для калибровки поля излучения и оценены вклады неопределённостей, которая позволила сократить время поверки/ калибровки дозиметров в 2 раза. Данная концепция уже внедрена в лабораторную деятельность Узбекского национального института метрологии и дозиметрической лаборатории вторичных эталонов Республики Сербия. Ожидается применение данной концепции и в других лабораториях;

- внесены предложения по обновлению ISO 4037-1:2019(E) на основе исследований в проект EURAMET 22NRM07 GuideRadPROS;

- опубликована работа в журнале Radiation Protection Dosimetry, индексируемый в базе SCOPUS [3];

- по результатам исследований пересмотрен бюджет неопределённости калибровки дозиметров и проведены сличения с дозиметрической лабораторией МАГАТЭ (DOL IAEA) ( $R = 0,997; 0,97 \leq R \leq 1,03; R = N_K(\text{SSDL}) / N_K(\text{IAEA})$ ).

#### Литература

1. ISO 4037-1:2019(E), Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods.

2. EURAMET Research Projects, <https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects>, accessed on 15 January 2024.

3. Azamat Taubaldiev, Miloš Živanović, Gamma irradiation system's performance tests, Radiation Protection Dosimetry, Volume 200, Issue 4, March 2024, Pages 368–378, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncad311>.

4. NIST Standard Reference Database 126, <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>, accessed on 12 September 2022.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Алия Муратовна Тлеулиева

ООО «Газпром переработка Благовещенск»

Свободный, Российская Федерация

89270752368, liya2097@mail.ru

## **Аннотация**

*В работе был рассмотрен способ реинжиниринга производственных процессов нефтегазового промысла с помощью применений аддитивных технологий. Изучена нормативная база, определены стратегии развития страны в данном направлении, в отношении топливно-энергетического комплекса. Подобрана информация по опыту внедрения и дальнейшего применения технологий аддитивного производства на предприятиях нефтегазовой отрасли. Получены консультации от представителей ведущих российских производителей 3D-оборудования, от специалистов метрологических служб научно-исследовательских предприятий государственных корпораций. В процессе изучения вопросов метрологического обеспечения аддитивных технологий, было выявлено отсутствие актуальной нормативной базы (межгосударственных стандартов) по применению программного обеспечения 3D-оборудования. Было предложено решение данного вопроса, путем утверждения новых стандартов по требованиям к программному обеспечению 3D-принтеров и методик аттестаций данных программ. Урегулирование данного вопроса на законодательном уровне позволит предприятиям нефтегазового сектора внедрять в производство 3D-установки с доказательством того, что детали, изготавливаемые на них, не будут подвержены преднамеренному или непреднамеренному изменению заложенных алгоритмов программ, которые могут привести к снижению достоверности правильных размеров производимых изделий. В итогах работы было подтверждено, что своевременное метрологическое обеспечение технологий аддитивного производства является очень перспективным не только для Российской Федерации, но и для всего мирового сообщества в целом.*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, нефтегазовая отрасль, метрологическое обеспечение, стандарты, аттестация программного обеспечения

## **Annotation**

*The work has evaluated a method of the re-engineering of oil and gas field production processes using additive technologies. Regulatory framework has been studied and strategies on development in this direction for our country have been determined in relation to the fuel and energy sector. Information has been collected about the experiences of implementation and the further use of additive manufacturing technologies at oil and gas enterprises. Consultations via telephone have been performed with the representatives of leading Russian manufacturers of 3D-printing equipment and with metrology specialists of state research institutions. The lack of actual regulatory framework (state standards) on the use of 3D equipment software has been revealed in the course of analysing the issues on the metrological provision of additive technologies. A solution to this issue has been proposed by the development and approval of new standards on requirements to 3D software and methods for its certification. The resolution of this issue on the legislative level will allow the enterprises of the oil and gas industry to implement the use of 3D-printers under the provision that the parts fabricated would not be exposed to intentional or unintentional change of software preprogrammed algorithms which could lead to a decrease of accuracy resulting in performance outside of its programmed scope. The observations of the work have confirmed that timely metrological provision of additive manufacturing technologies is very prospective and significant not only for the Russian Federation but also for the entire world community.*

**Key words:** additive technologies, oil and gas industry, metrological provision, standards, certification of software

## **Введение**

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

В экономике страны топливно-энергетический комплекс занимает существенное место, является базовой инфраструктурой, основой формирования доходов бюджетной системы и выступает в роли крупнейшего заказчика для других отраслей.

В условиях предстоящих изменений мировой экономики и экономики Российской Федерации, необходим ускоренный переход (модернизационный рывок) к более эффективной и устойчивой энергетике, которая способна адекватно ответить на вызовы в своей сфере и решить имеющиеся проблемы. В энергетической стратегии Российской Федерации, утвержденной на период до 2035 года перечислено множество способов модернизации, одними из них являются цифровая трансформация и интеллектуализация отраслей топливно-энергетического комплекса. И как результат – новое улучшенное качество всех процессов в сфере энергетики. В достижении данного результата энергетическим компаниям могут существенно помочь технологии аддитивного производства. Развитие отрасли аддитивных технологий имеет мощный экономический и технологический эффект, который приведет к значительному удешевлению и ускорению производства конечной продукции при сохранении и (или) улучшении качественных характеристик продукции.

Метрология и инновационные процессы неотделимы и взаимосвязаны между собой, так как, с одной стороны совершенствование научно-технической сферы невозможно без точных измерений, а с другой, именно достижения науки побуждают развитие измерительной техники, расширение новых методов измерений и разработки актуальных стандартов. В связи с этим подтверждается актуальность процедуры оценки состояния метрологического обеспечения в технологиях аддитивного производства.

### **Цель работы**

Основной целью работы является анализ метрологического обеспечения процесса внедрения аддитивных технологий в промышленные предприятия нефтегазовой отрасли, выявление проблемных вопросов, возникающих в ходе работы и предложение их решений.

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

Практическая значимость работы предполагает перспективу изучения данного направления, в связи с тем, что цифровизация производства с каждым годом прогрессирует, а расширение инновационных технологий должно всегда сопровождаться метрологическим обеспечением. Именно качественное метрологическое обеспечение данных технологий позволит беспрепятственно и в ускоренном темпе внедрять современные аддитивные технологии в нефтегазовую отрасль.

### **Задачи работы**

Задачами работы являются: раскрытие определения аддитивного технологического процесса; анализ применения аддитивных технологий в промышленных предприятиях нефтегазовой отрасли; анализ метрологического обеспечения аддитивных технологий и выявление актуальных проблемных вопросов; предложения по решению проблем, выявленных в ходе анализа.

### **Определение аддитивного производства**

Аддитивное производство или аддитивный технологический процесс – это процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитаемого производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки).

В нетехническом контексте вместо понятия «аддитивное производство» часто используются его синонимы: «трёхмерная печать» или «3D-печать».

Новый вид изготовления деталей обеспечивает существенное сокращение времени от разработки проекта до выпуска готового изделия.

В настоящее время принята Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года. В документе указывается, что при реализации целевого сценария его объем к 2030 году может составить более 13,2 млрд руб., в том числе в сегменте оборудования и комплектующих – порядка 8,4 млрд руб. По диаграмме, указанной на рисунке 1, планируется ежегодное увеличение рынка аддитивных технологий.

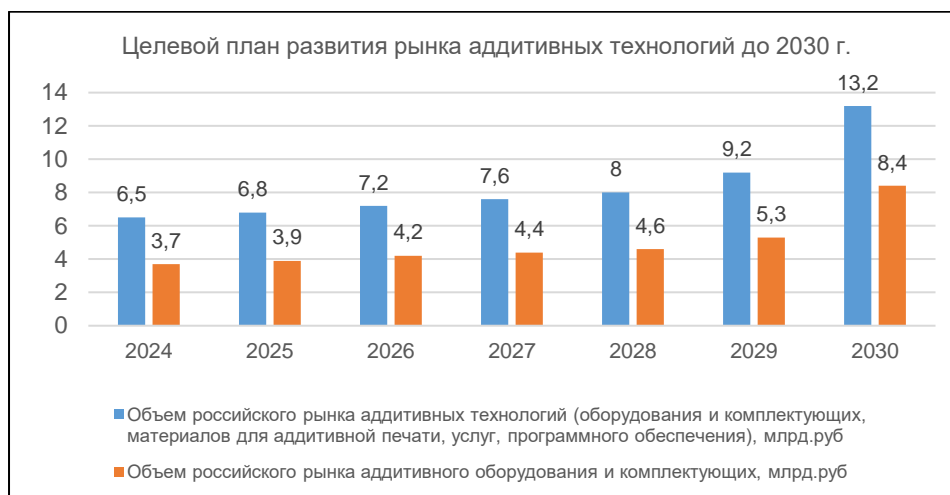


Рис.1 – Целевой план развития рынка аддитивных технологий

### Опыт применения аддитивных технологий в нефтегазовой сфере

По отраслевому применению аддитивные технологии чаще всего используются в авиастроении и атомной промышленности. В нефтегазовой сфере аддитивные технологии занимают небольшую долю, относительно традиционного производства, сам процесс внедрения данных технологий происходит медленнее, чем в остальные, схожие по сложности и масштабу отрасли. Несмотря на это, мы наблюдаем устойчивую тенденцию на использование аддитивных технологий в нефтегазовой промышленности.

Компания «Сибур Холдинг» успешно внедрила аддитивные технологии в ремонтное производство. На предприятии «Воронежсинтезкаучук» был создан аддитивный центр. Результаты по 3D-печати изделий и по внедрению в производственный процесс подтвердили, что аддитивные технологии позволяют быстро изготавливать детали и узлы и минимизировать время простоя. Совокупный экономический эффект СИБУРа от аддитивных технологий с 2019 года составил около 100 млн. рублей.

«Газпромнефть-Оренбург» реализовал пилотный проект по изготовлению деталей для оборудования месторождений с помощью 3D-принтера. На предприятии было напечатано несколько видов деталей сложной конфигурации для компрессорных станций Восточного участка Оренбургского и Капитоновского месторождений. Техническое испытание изделий доказало, что по параметрам прочности, физико-механическим и эксплуатационным свойствам они соответствуют оригинальным деталям. Далее, напечатанные изделия прошли экспертизу и процедуру сертификации, которые удостоверяли их высокое качество и соответствие отраслевым стандартам. На сегодняшний день, изделия, произведенные с помощью аддитивных технологий, уже применяются в эксплуатации на компримирующем оборудовании.

На предприятиях, осуществляющих транспортировку газа, есть опыт в печати завихрителей камер сгорания (рисунок 2), статорных деталей, направляющих лопаток.



Рис.2 – Завихритель камеры сгорания ГПА (1), форсунка камеры сгорания ГПА (2)

На сегодняшний день ведутся исследования по оптимизации конструкции лопаточного аппарата нагнетателя газоперекачивающих агрегатов. Были получены результаты, что можно уменьшить металлоемкость колеса компрессора, что за собой несет снижение затрат.

### Анализ метрологического обеспечения аддитивных технологий

Специфика предприятий нефтегазового сектора такова, что большая часть оборудования относится к категории опасного, и никакие ошибки и аварийные ситуации недопустимы в принципе. Одним из требований к производству изделий на 3D-оборудовании помимо высокого качества материала является – идеальная геометрия.

При выборе аддитивного оборудования для производства, были рассмотрены отечественные производители, проведен анализ рынка и осуществлены запросы по сертификации самого 3D-принтера и программного обеспечения. Производители 3D-оборудования имеют сертификацию на изготавливаемую продукцию, но аттестацию самого программного обеспечения не проводят.

Разработчиками программного обеспечения не всегда учитывается необходимость исключения случаев преднамеренного или непреднамеренного изменения заложенных алгоритмов, что может привести к снижению достоверности правильных размеров производимых изделий, что в свою очередь может негативно сказаться на качестве продукции и обеспечении промышленной безопасности.

Также по метрологическому обеспечению данного направления необходимо разработать и утвердить стандарты в области аддитивных технологий в первую очередь по деталям, наиболее быстро выходящим из строя и наиболее важным видам продукции для импортозамещения нефтегазового производства.

### **Аттестация программного обеспечения 3D-оборудования**

В целях доказательства точности размеров изделий, создаваемых на 3D-принтере, предлагается дополнительно установить аттестацию программного обеспечения 3D-оборудования, поставляемого на нефтегазовые предприятия.

Аттестация программного обеспечения – исследование программного обеспечения в целях определения его характеристик, свойств и идентификационных данных (признаков) и подтверждения соответствия требованиям стандарта.

Необходима разработка нового ГОСТ Р «Аддитивные технологии. Требования к программному обеспечению 3D-принтеров».

Программное обеспечение, как правило, не аттестуется отдельно, а проходит аттестацию в составе оборудования, то есть в процессе аттестации не учитываются характеристики надежности и погрешности самого программного обеспечения.

Методика аттестации программного обеспечения, как правило, является составной частью программы средства измерений в целях утверждения типа, в данном случае при сертификации 3D-оборудования. Методика аттестации программного обеспечения должна включать: определение перечня исследуемых характеристик и параметров, исходных данных и критериев, которым должны удовлетворять результаты, полученные аттестуемым программным обеспечением; проведение аттестации в соответствии с методикой аттестации и получение результатов анализа документации и функциональных проверок аттестуемого программного обеспечения, обработка результатов аттестации и их оформление в виде протокола аттестации.

Методика аттестации разрабатывается для каждого отдельного типа программного обеспечения оборудования с учетом его назначения и функциональных особенностей. В методике должен приводиться перечень исследуемых характеристик, свойств и параметров программного обеспечения, необходимых исходных данных, а также критерии, позволяющие производить оценку характеристик аттестуемого программного обеспечения. Также должны определяться и описываться методы аттестации, которые должны обеспечить проверку всех основных функций аттестуемого программного обеспечения и его соответствие требованиям к программному обеспечению 3D-принтеров; описываться последовательность действий при проведении процедуры аттестации программного обеспечения.

Результаты аттестации программного обеспечения признаются положительными, если при анализе документации и проведении функциональных проверок, предусмотренных методикой аттестации, устанавливается соответствие аттестуемого программного обеспечения требованиям ГОСТ и другой нормативной документации.

### **Полученные результаты**

В результате проведенного анализа состояния метрологического обеспечения аддитивных технологий, было выявлено отсутствие на законодательном уровне требований к программным обеспечениям 3D-принтеров, на основании этого предложены варианты по утверждению новых стандартов и разработке методик аттестаций данных программных обеспечений.

Рассмотренный опыт внедрений аддитивных технологий в производствах нефтегазовой сферы, показал эффективность данных инноваций в промышленности. Специалисты сходятся во мнении, что дальнейшее развитие 3D-печати (преимущественно из металлов) и нормативной базы должно активизировать отрасль.

Данное инновационное направление является очень перспективным не только для Российской Федерации, но и для всего мирового сообщества в целом.

### **Литература**

1. Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 № 1913-р.
2. ГОСТ Р 8.654-2015 «Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения».
3. ГОСТ Р 57558-2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения».



# ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Юлия Леонидовна Фролова

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»  
(ФГБУ «ВНИИМС»)  
Москва, Российская Федерация  
8 (977) 877-25-69, y.frolova@vniims.ru

## **Аннотация**

*Одной из основных задач в области обеспечения единства измерений является мониторинг состояния системы обеспечения единства измерений (далее – ОЕИ) и прогнозирование измерительных потребностей экономики и общества. При этом, результаты мониторинга текущего состояния системы ОЕИ с одной стороны характеризуют степень достижения установленных прогнозируемых показателей на момент оценки состояния системы ОЕИ, а с другой стороны являются исходными данными для дальнейшего прогнозирования измерительных потребностей. В работе проведен анализ опыта мониторинга состояния системы ОЕИ. Отмечено, что ввиду большого объема исходных данных их ручная обработка и анализ в целях оценки состояния системы ОЕИ является трудоемким и сложным процессом, требующим много времени. Поэтому цифровизация процесса оценки состояния системы ОЕИ позволит повысить достоверность и значительно сократить время оценки показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ, используемых при принятии управленческих решений, и как следствие повысить точность прогнозирования измерительных потребностей экономики и общества. В целях автоматизации процесса оценки состояния системы ОЕИ в работе предложено создание информационно-аналитической системы. Определена структура и перечень показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ, заложенные в основу информационно-аналитической системы. Сформированы требования к информационно-аналитической системе мониторинга состояния системы ОЕИ и разработан ее макет.*

**Ключевые слова:** *оценка состояния системы обеспечения единства измерений, информационно-аналитическая система, прогнозирование измерительных потребностей*

## **Annotation**

*One of the main tasks in the field of assurance of measurement uniformity is monitoring of the state of the system of assurance of measurement uniformity (hereinafter referred to as AMU) and forecasting of measurement needs of the economy and society. At the same time, the results of monitoring the current state of the AMU system, on the one hand, characterize the degree of achievement of the established forecast indicators at the moment of assessment of the AMU I system state, and, on the other hand, are the initial data for further forecasting of measurement needs. The paper analyzes the experience of monitoring the state of the AMU system. It is noted that due to the large amount of input data, their manual processing and analysis for the purpose of assessing the state of the AMU system is a time-consuming and complex process. Therefore, digitalization of the process of assessing the state of the AMU system will increase the reliability and significantly reduce the time of evaluation of indicators characterizing the state of the AMU system used in making management decisions, and as a consequence, increase the accuracy of forecasting the measurement needs of the economy and society. In order to automate the process of assessing the state of the AMU system, the paper proposes the creation of an information and analytical system. The structure and the list of indicators characterizing the state of the AMU system, which form the basis of the information-analytical system, are defined. The requirements to the information-analytical system for monitoring the state of the AMU system are formed and its layout is developed.*

**Key words:** *evaluation of the state of measurement uniformity assurance system, information and analytical system, forecasting of measurement needs*

## **Введение**

В соответствии с частью 2 статьи 21 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [1] одной из основных задач федеральных органов исполнительной

власти, осуществляющих функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений и государственному метрологическому контролю (надзору), является организация мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений (далее – ОЕИ) и прогнозирование измерительных потребностей экономики и общества.

При этом стоит отметить, что результаты мониторинга текущего состояния системы ОЕИ с одной стороны характеризуют степень достижения установленных прогнозируемых показателей на момент оценки состояния системы ОЕИ, а с другой стороны являются исходными данными для дальнейшего прогнозирования измерительных потребностей. Поэтому задача оценки состояния системы ОЕИ является актуальной.

В настоящее время наиболее полным источником исходных данных для мониторинга состояния системы ОЕИ является Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ ОЕИ). Однако учитывая, что объем сведений, содержащихся в ФИФ ОЕИ, очень велик (сведения являются «большими данными»), их ручной анализ является трудоемким и сложным процессом, требующим много времени.

Таким образом актуальность работы обусловлена следующим:

цифровизация процесса оценки состояния системы ОЕИ позволит повысить достоверность и значительно сократить время оценки показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ, используемых при принятии управленческих решений, и как следствие повысить точность прогнозирования измерительных потребностей экономики и общества.

Целью работы является создание информационно-аналитической системы, позволяющей осуществлять мониторинг состояния системы ОЕИ в заданные временные интервалы.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Анализ опыта и выявленных проблем мониторинга состояния системы ОЕИ;
2. Определение показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ;
3. Формирование требований к информационно-аналитической системе для мониторинга состояния системы ОЕИ;
4. Разработка макета информационно-аналитической системы и его апробация.

Практическая значимость работы заключается в повышении эффективности управления системой ОЕИ за счет своевременного анализа текущего состояния системы ОЕИ и выявления возможных проблем.

#### **Анализ опыта мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений**

Проблематика мониторинга состояния системы ОЕИ и прогнозирования измерительных потребностей впервые на уровень системных проблем обеспечения единства измерений в Российской Федерации вынесена в Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации, утверждённой распоряжением Правительством Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 737-р [2]. При создании указанного документа оценка состояния системы ОЕИ проводилась экспертным методом, в том числе путем анкетирования федеральных органов исполнительной власти, предприятий и организаций, как предоставляющих услуги и выполняющих работы в области ОЕИ, так и эксплуатирующих средства измерений.

Анализ сведений, полученных в результате заполнения опросных листов, показал, что данный метод сбора исходных данных для решения задачи мониторинга состояния системы ОЕИ обладает существенными недостатками, такими как:

- относительно высокая длительность получения информации (время от рассылки анкет до получения информации может занимать более 2 месяцев);
- снижение качества (репрезентативности) оцениваемых показателей ввиду не предоставления полностью или частично респондентами запрашиваемых данных;
- искажение результатов анализа вследствие недопонимания формулировок вопросов, и как следствие предоставление некорректной информации, а также информации, не соответствующей запрашиваемой.

Стоит отметить, что в период глобальной цифровизации растет потребность оперативного обмена информацией и, как следствие, трансформируются требования к источникам данных. Так, благодаря цифровизации процессов утверждения типа средств измерений, типов стандартных образцов и результатов поверки средств измерений, основным источником данных для оценки состояния системы ОЕИ стал ФИФ ОЕИ.

При этом для повышения точности и достоверности результатов оценки состояния системы ОЕИ, а также для обеспечения их сравнимости, необходимо иметь обоснованную структуру показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ.

### Структура показателей, характеризующих состояние системы обеспечения единства измерений

В настоящее время принято рассматривать систему ОЕИ как совокупность трех подсистем: правовой, технической и организационной [3]. При этом обоснованная и структурированная система показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ отсутствует. В работе [4] предложено описание системы ОЕИ, позволяющее сформировать систему показателей, характеризующих ее состояние.

В указанной работе [4] система ОЕИ представлена в виде многоуровневой пирамиды, погруженной в совокупность законодательных и иных нормативных правовых актов, нормативно-технических и методических документов, регламентирующих деятельность в области ОЕИ. Каждый уровень пирамиды представляет собой некий набор инструментов, позволяющих решать, либо обеспечивать решение измерительных задач.

На вершине пирамиды находятся измерительные задачи, решаемые каждый день в огромном объеме, наличие которых обуславливает необходимость существования системы ОЕИ. Для решения измерительных задач с требуемыми точностью и достоверностью применяются средства измерений, стандартные образцы и (или) методики (методы) измерений. Подтверждение соответствия применяемых средств измерений, стандартных образцов, методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям осуществляется за счёт проведения испытаний в целях утверждения типов средств измерений и утверждения их типа, утверждения типов стандартных образцов, поверки/калибровки средств измерений, аттестации методик (методов) измерений.

Оказание услуг по поверке/калибровке средств измерений в соответствии с поверочными схемами требует применения эталонов единиц величин (средств измерений утвержденного типа, применяемых в качестве эталонов). Возможность применения эталонов единиц величин требует предоставления услуг по их аттестации, а также поверки средств измерений, применяемых в качестве эталонов. Во главе каждой государственной поверочной схемы стоит государственный первичный (специальный) эталон, обеспечивающий хранение и передачу соответствующей единицы величины нижестоящим эталонам единиц величин.

Схематично данное описание системы ОЕИ представлено на рисунке 1.

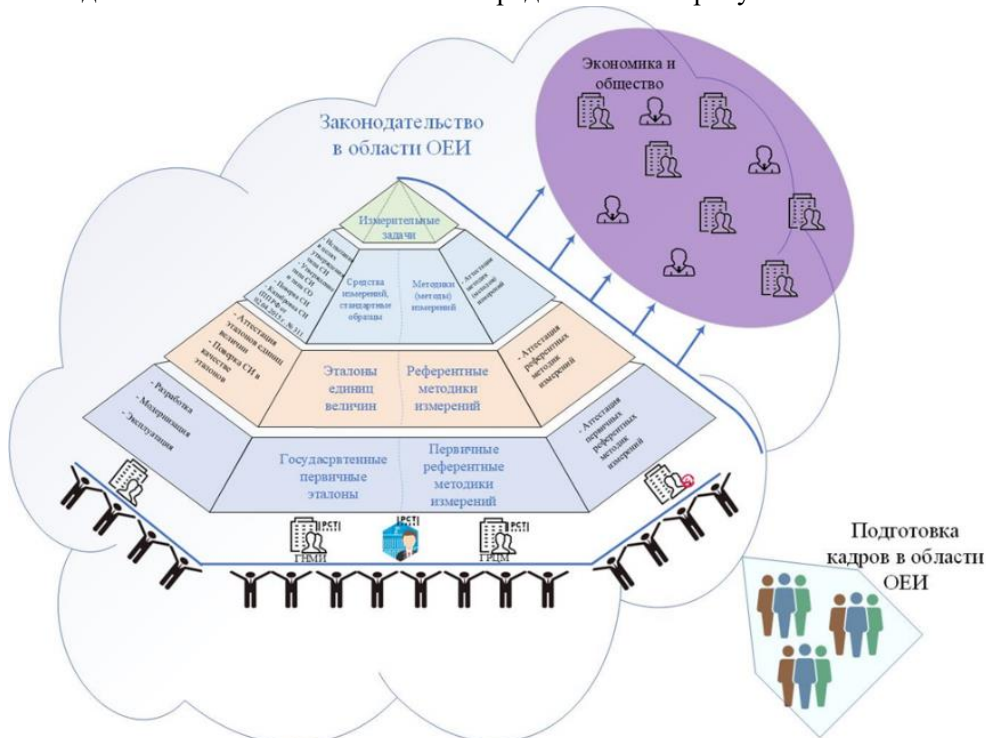


Рис.1 – Система обеспечения единства измерений в Российской Федерации

Исходя из представленного описания системы ОЕИ была сформирована структура показателей, характеризующих ее состояние, таким образом, что каждому уровню «пирамиды» соответствует набор показателей, используемый для оценки состояния данного «уровня» системы ОЕИ.

## **Информационно-аналитическая система мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений**

Как отмечено ранее, исходными данными для оценки показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ, являются сведения, содержащиеся в ФИФ ОЕИ. Большой объем данных сведений значительно затрудняет их обработку, и как следствие процесс мониторинга состояния системы ОЕИ требует больших временных ресурсов. Поэтому с целью сокращения времени оценки показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ, и для повышения их достоверности необходима автоматизация процесса мониторинга состояния системы ОЕИ за счет создания и применения информационно-аналитической системы.

Основными задачами информационно-аналитической системы являются:

1. Сбор исходных данных, содержащих сведения, необходимые для оценки показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ.
2. Построение регламентированных отчетов о состоянии системы ОЕИ.
3. Построение витрин данных и свободных отчетов по шаблонам для дальнейшего анализа.

В том числе информационно-аналитическая система позволяет проводить оценку потенциальных рисков на основе мониторинга результатов деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в области ОЕИ, например:

- применение разными юридическими лицами при поверке средств измерений одного и того же эталона единиц величин;
- превышение максимально возможного времени эксплуатации эталона единиц величин в сутки;
- превышение интервалов между поверками временным промежутком между двумя смежными поверками одного и того же СИ;
- проверка законности выполнения поверок и т.д.

В рамках данной работы был разработан макет информационно-аналитической системы, позволяющей проводить мониторинг состояния системы ОЕИ в соответствии с разработанной структурой показателей.

Пример отчета по распределению количества записей, содержащих сведения о результатах поверки СИ, внесенных в ФИФ ОЕИ по годам, формируемого информационно-аналитической системой, представлен на рисунке 2.

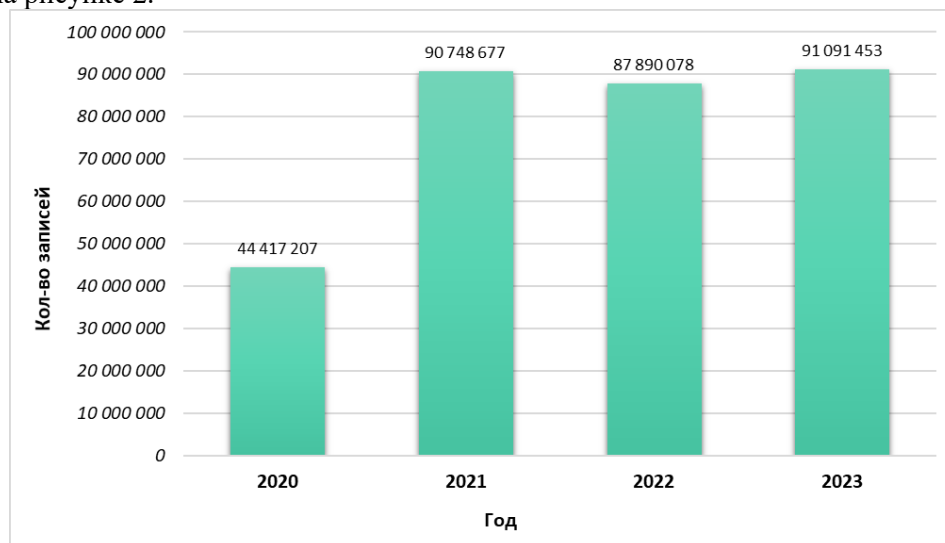


Рис. 2 – Количество записей, содержащих сведения о результатах поверки СИ, по годам

### **Заключение**

С целью цифровизации процесса оценки состояния системы ОЕИ были решены следующие задачи:

- проведен анализ опыта мониторинга состояния системы ОЕИ;
- определены структура и перечень показателей, характеризующих состояние системы ОЕИ;
- сформированы требования к информационно-аналитической системе мониторинга состояния системы ОЕИ и разработан ее макет.

Разработанная информационно-аналитическая система мониторинга состояния системы ОЕИ прошла процедуру регистрации и получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023618080 от 18.04.2023.

Стоит отметить, что работа по усовершенствованию данной информационно-аналитической системы ведется параллельно с работами по развитию ФИФ ОЕИ. В том числе ведется работа по созданию модуля прогнозирования измерительных потребностей экономики и общества с применением алгоритмов искусственного интеллекта.

#### **Литература**

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2017 № 737-р.
3. ГОСТ Р 8.000-2015 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Основные положения».
4. Ю. Л. Фролова, И. В. Красавин «Описание системы обеспечения единства измерений с точки зрения разработки показателей, характеризующих ее состояние», журнал Законодательная и прикладная метрология, № 2, 2022, стр: 8-11.

# УСТАНОВЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ В ТАДЖИКИСТАНЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Мусалама Давлатихудоевна Худоева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Агентство по стандартизации, метрологии, сертификации и торговой инспекции  
при Правительстве Республики Таджикистан («Таджикстандарт»),  
Душанбе, Таджикистан  
+992 77 7007475, mkhudoieva@inbox.ru

## **Аннотация**

*Экономика Таджикистана и, в частности ее производственный сектор, становится все более заинтересованной в повышении качества выпускаемой продукции и ее экспорте. В интересах производственного сектора необходимо внедрение новых технологий в измерениях и тем самым укрепление основы для выпуска качественной и конкурентоспособной продукции.*

*Опираясь на сказанное, возникает потребность в форсировании развития нового для страны направления, как установление метрологической прослеживаемости путем калибровки. С недавнего времени началось внедрение данных работ в таджикских лабораториях и предприятиях, но ввиду недостаточного понимания важности установления метрологической прослеживаемости, а также возникающих сложностей при интерпретации результатов калибровки, механизм формирования Национальной системы калибровки требует более глубокого импульса. Статья посвящена постановке задач и определению механизма создания системы калибровки в условиях нынешней экономики Таджикистана. Автор акцентирует внимание на том, что большое значение при формировании системы калибровки имеет тесное взаимодействие органов, ответственных за реализацию государственной политики в области метрологии с промышленным сектором.*

*Автором делается вывод, что метрологическая инфраструктура страны, открыто и тесно взаимодействующая с секторами экономики, способная отслеживать и прогнозировать изменения развития комплексов, сфер и отраслей промышленности, сможет формировать национальную систему калибровки, ориентированную на поддержку устойчивого развития предприятий, ориентированных как на внутренний рынок, так и на экспорт продукции.*

*Объектом исследования является установление метрологической прослеживаемости путем калибровки в Таджикистане и поэтапное создание национального метрологического института. Предметом исследования является система калибровки.*

**Ключевые слова:** метрология, единство измерений, калибровка, метрологическая прослеживаемость, сличения

## **Annotation**

*The economy of Tajikistan, and in particular its manufacturing sector, is becoming more interested in improving the quality of its production and exports. In the interests of the manufacturing sector, it is necessary to introduce new technologies in measurement and thereby consolidate the basis for the production of quality and highly competitive products.*

*Based on the above, there is a need to promote the development of a new area for the country, such as the establishment of metrological traceability through calibration. Recently the introduction of these works in Tajik laboratories and companies has started, but due to insufficient understanding of the importance of establishing metrological traceability, as well as the emerging difficulties in interpreting the results of calibration, the mechanism of formation of the National Calibration System requires a greater impact. The article is devoted to setting the objectives and defining the mechanism for establishing a calibration system in the current economic conditions of Tajikistan. The author focuses on the fact that close interaction of the bodies responsible for the implementation of the state policy in the field of metrology with the industrial sector is of great importance in the formation of the calibration system.*

*The author concludes that the metrological infrastructure of the country, cooperating openly and tightly with the sectors of the economy, capable of monitoring and forecasting changes in the development of complexes, areas and industries, will be able to form a national system of calibration, focused on supporting the sustainable development of the companies oriented both to the national market and export of products.*

*The object of the study is the establishment of metrological traceability through calibration in Tajikistan and the gradual establishment of a national metrology institute. The subject of the study is the calibration system.*

**Key words:** metrology, uniformity of measurements, calibration, metrological traceability, comparisons.

**Цель исследования** заключается в выявление потребности и установление метрологической прослеживаемости путем калибровки, что в свою очередь обеспечивает единство измерений путем участия в национальной и международной законопроектной деятельности в области калибровки.

#### **Задачи**

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- активное участие в национальной и международной законопроектной деятельности в области калибровки

- создание эталонной базы

- взаимодействие с национальными институтами метрологии разных стран

- продвижение организации обучения сотрудников в системе калибровки

- участие в межлабораторных сличениях

- донесение информации о деятельности Таджикстандарта по калибровке для производственного сектора

- издание статей, книг и журналов

Посредством этого комплекса целей и задач возникает возможность установления прослеживаемости путем калибровки и перспектива создания национального метрологического института, а также международно-признанной метрологической инфраструктуры в Таджикистане.

**Ключевые слова и фразы:** метрология, единство измерений, калибровка, метрологическая прослеживаемость, сличения

#### **Введение**

История зарождения современной метрологической службы в Таджикистане началась с 1926 года, когда по решению Правительства Таджикской ССР в городе Сталинабаде создано постоянное поверочное отделение Палаты мер и весов, которое функционировало до октября 1929 года. Во второй половине октября того же года по решению Правительства Таджикской ССР впервые в Республике образована Государственная (Национальная) метрологическая служба – Палата мер и весов.

Из небольшого метрологического подразделения сегодня вырос государственный орган – Агентство по стандартизации, метрологии, сертификации и торговой инспекции при Правительстве Республики Таджикистан (Таджикстандарт), который ведет политику в области метрологии и обеспечении единства измерений в Таджикистане. Однако в настоящее время в число приоритетных задач развивающихся стран является создание метрологической инфраструктуры, признаваемой на международном уровне, что способствует устранению барьеров в торговле, расширяет возможности и способствует промышленному и экономическому росту [7]. В целях оказания помощи в создании таких инфраструктур образован Объединенный Комитет по координации помощи развивающимся странам в области метрологии, аккредитации и стандартизации, в котором представлены Международное Бюро мер и весов (МБМВ), Международная организация по аккредитации лабораторий (ИЛАК), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), Международная организация по стандартизации (ИСО), Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международный аккредитационный форум (ИАФ), Организация Объединенных Наций по промышленному развитию (УНИДО), а также Региональная метрологическая организация (РМО) [7].

Следует отметить, что требования к прослеживаемости результатов измерений привело к переходу от известного процесса поверки к процессу калибровки. Все страны бывшего Советского Союза начали глубже понимать различие между поверкой и калибровкой и разделять промышленную метрологию от законодательной. Познавая, что одним из главных недостатков поверки является отсутствие полного понимания степени влияния неопределенности на оценку соответствия средства измерений специальным требованиям и, что калибровка является важной процедурой, которая применима в области фундаментальных измерений, проводимых в рамках научной и практической метрологии, метрологические инфраструктуры стран стали активно расширять сферу своей деятельности. Необходимо подчеркнуть, что калибруются практически любые типы средств измерений, однако для выполнения калибровки и оценки результатов измерений требуются специалисты достаточно высокой квалификации.

## Результаты

Таджикстандарт как ведущий орган по метрологии в стране охватывает все главные направления современной метрологии. На протяжении лет растет репутация Таджикстандарт, поддерживаются деловые связи и налаживаются перспективные контакты с деловыми партнерами. Сегодня шаг за шагом и результативно Таджикстандарт обновляет и модернизирует измерительную и испытательную базу, расширяет сферу деятельности. Если конкретно говорить о том, что Таджикстандарт сделал для того, чтобы формировать систему калибровки, то нужно вернуться в 2010 год. Так, еще в те годы, только начиная изучать калибровку, Таджикстандарт не ставил перед собой нетривиальные задачи, что привело к медленному развитию системы калибровки в Таджикистане. Однако заинтересованность производителей к выходу в международный рынок, а также в рамках тесного сотрудничества и наблюдение международного опыта, и развитие метрологической инфраструктуры соседних стран стало предпосылкой этапа внедрения услуг калибровки в Таджикстандарте. Таджикстандарт начал глубже изучать спрос на эти услуги, внутренние проблемы, которые могли возникать при формировании национальной системы калибровки, и взялся за создание национальной эталонной базы, подготовки высококвалифицированных и грамотно сформулированных специалистов. Вопрос персонала всегда остается в приоритете, так как люди – это главный капитал любой организации [9]. Немало важный момент, которому Таджикстандарт уделил большое внимание, это было тесное сотрудничество с метрологическими структурами соседних стран, особенно стоит подчеркнуть Узбекистан, поскольку они тоже прошли данный путь и смогли сформировать международно-признанную метрологическую инфраструктуру.

В 2020 года в Таджикстандарте сформировали команду, на которую была возложена очень важная миссия – это определить область калибровки, изучить методы калибровки, внедрить систему менеджмента, которая действительно приведет в порядок все процессы и стать международно-признанной в выбранной области. Однако команда не могла реализовать эти процессы без взаимодействия с промышленностью. Для определения области калибровки команда рассматривала сотрудничество с промышленностью и бизнесом как приоритетную и постоянную задачу. В Таджикстандарте выросла команда специалистов, желающих и умеющих ответственно трудиться, управлять процессами, стойко воспринимать проблемы и решать их.

В 2021 году начались совместные работы команды с Узбекским национальным институтом метрологии УзНИМ. Целью была оценка текущего состояния калибровочной лаборатории Таджикстандарт и выработка рекомендаций по совершенствованию её лабораторной деятельности в целях подготовки к аккредитации калибровочных услуг через орган по аккредитации, являющиеся подписантом ILAC MRA. Были проведены следующие работы:

- техническая оценка лабораторного помещения и оборудования
- оценка технических знаний персонала калибровочных лабораторий Таджикстандарт
- обучение персонала калибровочных лабораторий Таджикстандарт
- измерения для целей межлабораторного сличения

Дополнительно в целях демонстрации внедрения и адаптации проектов процедур системы менеджмента калибровочной лаборатории Таджикстандарт под культуру работы Таджикстандарт, совместно были проведены макетные внутренние аудиты калибровочной лаборатории Таджикстандарт в части выполнения требований международного стандарта ISO/IEC 17025-2017 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

Важно заметить, что международное сотрудничество всегда ведет к успешному развитию и положительно влияет на взаимодействия государств-участников.

За четыре года, учитывая экономику страны, экспортный потенциал, все влияющие факторы на установления метрологической прослеживаемости путем калибровки и поэтапное создание метрологического института, в Таджикстандарте смогли внедрить услуги калибровки по двум направлениям (масса и температура), внедрить систему менеджмента и для ее эффективного поддержания смогли участвовать в трех пилотных, трех двусторонних международных сличениях.

В Таджикстандарте понимают, что метрологическая инфраструктура должна идти в ногу со временем и быть на несколько шагов впереди для того, чтобы соответствовать уровню запросов промышленного сектора, однако для установления метрологической прослеживаемости путем калибровки и поэтапного создания Национального метрологического института, Таджикстандарт исходит из мышления, в первую очередь ориентированного на систему, а не на тип мышления, ориентированного на достижение целей. Нельзя не упомянуть пару слов из книги Джеймса Клира «Атомные привычки»: Постановка целей ориентирована на победу в игре, а построение системы ориентировано на то, чтобы продолжать игру и после победы [8]. Исходя из этого, Таджикстандарт



четыре года создавал систему, которая дальше будет развиваться независимо от любых внешних и внутренних факторов, чтобы формировать прочную систему калибровки и построить ступени для международно-признанной метрологической инфраструктуры в Таджикистане.

### **Выводы**

Сегодня, работая в условиях большой конкуренции, успех любой организации зависит от многих факторов, в том числе и оттого, насколько она может преодолевать различные проблемы [9]. Таким образом, в условиях жесткой конкурентной борьбы и возникающих внешних и внутренних проблем, выстоять может только сплоченная команда и Таджикистандарт уверен, что команда для установления метрологической прослеживаемости путем калибровки и создания Национального метрологического института страны использует весь накопленный международный опыт.

Необходимо также отметить, что для установления метрологической прослеживаемости путем калибровки и создания Национального метрологического института в Таджикистане Таджикистандарту требуется в полную силу вкладывать и для достижения положительных результатов данная работа продолжается в тесном сотрудничестве с Центром калибровочных и измерительных услуг УзНИМа.

### **Литература**

1. Брюханов В.А. Отрабатываем навыки критического мышления на примере понятия «единство измерений» // «Главный метролог», 2012.
2. Брюханов В.А. Путагина существует не в метрологии, а в умах метрологов // «Главный метролог», 2012, №3.
3. Владимир Ю. Концепция развития метрологии в 21-м веке.
4. Володарский В. Я. Что делает главного метролога хорошим Главным Метрологом?
5. Гэнкина Р.И., Яшин А.В. Девять наиболее распространенных "убеждений" в области метрологии и комментарии к ним // «Главный метролог»-2017, №3.
6. Гэнкина Р.И. Перспективы создания Национальной системы калибровки РФ на основе взаимодействия Росстандарта и Росаккредитации // «Главный метролог»-2016, №4.
7. Горшков Б.П. Современные потребности торговли, промышленности и общества в развитии метрологии
8. Джеймс Клир, Атомные привычки. Как приобрести хорошие привычки и избавиться от плохих. – СПб.: Питер, 2020. -304 с.
9. Жагора Н.А. Наша задача – активно вписываться в реалии сегодняшнего дня, «Главный метролог», 2014, №6, дата публикации 18.01.2015.
10. Peter Ulbig. Новости физико-технического федерального института ФРГ (РТВ); Восстановление немецкой калибровочной службы (DKD) для обеспечения единства измерений// «Законодательная и прикладная метрология», №2, 2015.
11. Пятов А.Л. Как метрологи готовились к вступлению во Всемирную торговую организацию и что можно ожидать: взгляд назад и вперед.
12. Sommer Klaus-Dieter, Samuel E. Chappell, Manfred Kochsien «Калибровка и поверка. Две процедуры с сопоставимыми целями и результатами», // «Главный метролог»-2015, №5. Перевод ведущего инженера ФГУП «ВНИИМС», Е.В. Левина.
13. Чичерин В.П. «Эта многоликая калибровка в свете права или тупик в Законе»// ООО НПП «Нефте-Стандарт», Екатеринбург.

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ИЗМЕРЕНИЙ

**Илья Викторович Черников**

Открытое акционерное общество «Севернефтегазпром»  
(ОАО «Севернефтегазпром»),  
Ямало-Ненецкий АО, Красноселькупский р-н,  
Южно-Русское нефтегазовое месторождение, Российская Федерация  
+7-982-770-7854, z262626z@mail.ru

## **Аннотация**

*В работе описаны этапы внедрения, опыт практического применения, основные функции программного обеспечения (технический учет оборудования, ведение данных о поверке средств измерений, техническом обслуживании оборудования, взаимодействие с Федеральными государственными информационными системами и др.) для управления устройствами для мониторинга и измерений. Этапы внедрения программного обеспечения включают в себя три ключевых этапа. Программное обеспечение доработано и учитывает специфику работы и управления инфраструктурой газодобывающего предприятия. Основными положительными эффектами от внедрения программного обеспечения являются сокращение трудозатрат и снижение вероятности отображения ошибочных данных.*

**Ключевые слова:** *цифровизация, оптимизация, управление инфраструктурой, средства измерений, поверка, программное обеспечение*

## **Annotation**

*The paper describes the stages of implementation, experience of practical application, main functions of the software (technical accounting of equipment, maintenance of data on verification of measuring instruments, technical maintenance of equipment, interaction with Federal State Information Systems, etc.) for management of devices for monitoring and measurement. The software implementation stages include three key stages. The software has been finalised and takes into account the specifics of operation and management of the gas production enterprise infrastructure. The main positive effects of the software implementation are reduction of labour costs and reduction of the probability of erroneous data display.*

**Key words:** *digitalization, optimization, infrastructure management, measuring instruments, verification, software.*

В процессе управления устройствами для мониторинга и измерений (далее – УМИ) ОАО «Севернефтегазпром» (далее – Общество) участвует 22 структурных подразделения. На сегодняшний день на техническом учете стоит 23 569 единиц УМИ: 15522 средства измерений (далее – СИ), 5333 измерительных канала, 2239 индикаторов, 224 наименования стандартных образцов, 30 единиц испытательного оборудования, 20 наименований программного обеспечения, 69 методик измерений, 132 эталона единиц величины, применяемые при поверке средств измерений силами аккредитованной метрологической лабораторией Общества. Для управления УМИ ведется 40 форм, 32 из них ведутся структурными подразделениями вручную. Общие перечни, графики ТО и поверки оборудования Общества (9 форм) ежегодно разрабатываются метрологической лабораторией (далее – МЛ).

Каждое структурное подразделение, эксплуатирующее УМИ, ежегодно разрабатывает перечни, графики технического обслуживания УМИ. В течение года ведет формуляры, заносит сведения о техническом обслуживании, передает в поверку СИ с оформлением акта приема - передачи.

Ежегодно силами МЛ поверяется порядка 7000 СИ, покрывая 87 % от общей потребности в поверке СИ. Сведения о каждой поверке СИ, согласно Федеральному законодательству, необходимо передавать в ФГИС «АРШИН» и ФГИС Росаккредитации.

Требование и уровень цифровизации растет, и по итогам последнего подтверждения компетентности МЛ Общества на право поверки средств измерений стало очевидным, что эксплуатируемое в Обществе программное обеспечение (далее – ПО) АСУТОиР (АРМ Метролога) имеет ограниченный функционалом, что исключает возможность перейти на новый этап цифровизации процесса:

- отсутствует возможность оцифровать печатные формы;
- отсутствует пакетная передача данных в ФГИС Росаккредитации;
- ошибки при заполнении графиков и перечней УМИ;
- отсутствует должное техническое сопровождение, поддержка пользователей;
- ошибки при формировании заказ-нарядов на техническое обслуживание СИ.

Как следствие вышеперечисленных ограничений ПО АСУТОиР:

- высокий уровень трудозатрат;
- высокая вероятность отражения ошибочных данных.

Работниками МЛ был проведен анализ предлагаемых на рынке сервисов (специализированных ПО) для автоматизации и цифровизации процесса управления УМИ, составлено техническое задание с требованиями к ПО, учитывающее все нюансы процесса управления УМИ. Из нескольких вариантов была выбрана информационная система «1С: ИС Метрология». Очевидными преимуществами выбранного ПО являются:

- цифровое взаимодействие с Федеральной службой по аккредитации. Передача сведений о работах в области обеспечения единства измерений (далее – ОЕИ). Передача сведений о ресурсах метрологической лаборатории, в рамках подтверждения компетентности Общества на проведение работ по поверки в области ОЕИ;

- интеграция с ФГИС «АРШИН». Автоматизированная проверка правильности оформления поверки средств измерений. Оперативная передача сведений о поверках в автоматическом режиме. Обновление реестров АРШИН (описание типов СИ, методик поверки, описание типов государственных стандартных образцов). Получение из АРШИН в автоматическом режиме сведений о поверках, выполненных сторонними организациями;

- обмен данными с платформой 1С: Предприятие, эксплуатируемой в Обществе. Открытая конфигурация ПО, возможность доработки, усовершенствования.

Эффекты от внедрения программного обеспечения «1С: ИС Метрология» - сокращение трудозатрат и снижение вероятности отображения ошибочных данных, достигаются посредством:

- автоматизированной передачи сведений о проделанных работах по поверке СИ в МЛ Общества в ФГИС «АРШИН» и ФГИС Росаккредитации;

- реализации ведения базы форм со сведениями о метрологической лаборатории Общества, для передачи в Федеральную службу по аккредитации, в цифровом виде.

- ведения и консолидации перечней, графиков УМИ в единой цифровой базе;

- автоматизации выдачи заданий на поверку, техническое обслуживание оборудования;

- организации процесса приема-выдачи средств измерений на цифровой платформе. Формирование актов приема-передачи средств измерений в автоматическом режиме для передачи в поверку и ремонт в сторонние организации.

Дорожная карта внедрения программного обеспечения включает в себя три ключевых события:

1. Предпроектная проработка. С текущим статусом «Выполнено». Личный вклад - обоснование необходимости приобретения нового ПО. Анализ новых требований в области ОЕИ. Составление ТЗ. Анализ функционала предлагаемых на рынке ПО.

2. Подготовка к реализации. С текущим статусом «Выполнено». Личный вклад - формирование массива данных для загрузки в новое ПО. Выдача замечаний к функционалу. Доработка функционала совместно с разработчиками.

3. Переход на стадию «Реализация». Активная фаза внедрения. Текущий статус «в работе», «планируется». Личный вклад - формирование массива данных для итоговой загрузки. Участие в ВКС по обучению работе в новом ПО. Разработка кратких сопровождающих инструкций.

### Литература

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об обеспечении единства измерений" (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021).

2. 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 N 61033).

3. Приказ Минэкономразвития России от 24.10.2020 № 704 (ред. от 30.12.2020) "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" (Зарегистрировано в Минюсте России 16.11.2020 № 60919).

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ УЧАСТНИКОВ  
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**



**#ЗАНАМИБУДУЩЕЕ**  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНОГО ОТНОСИТЕЛЬНОГО ГРАВИМЕТРА «ПЕШЕХОД»

С.Б. Акпанбетов<sup>1</sup>, Д.С. Бобров<sup>1</sup>, Р.А. Давлатов<sup>1</sup>, П.Г. Харламов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),  
Солнечногорск, р. п. Менделеево, Российская Федерация  
+7(495)526-63-79 доб. 91-55, davlatov@vniiftri.ru

## **Аннотация**

*Во ФГУП «ВНИИФТРИ» разработан макет высокоточного относительного гравиметра «Пешеход». В работе представлены результаты лабораторных испытаний макета в части оценки чувствительности, погрешности и суточного дрейфа. Кроме того, представлены результаты разработки трех опытных образцов гравиметра «Пешеход».*

**Ключевые слова:** гравиметр, металлическая пружина, емкостная система измерения перемещения

## **Актуальность работы**

В настоящее время высокоточные относительные гравиметры необходимы:

- для обеспечения поиска и разведки месторождений полезных ископаемых;
- для топо-геодезического обеспечения территорий России;
- при разработке перспективной комплексной системы навигации по гравитационному полю Земли.

На сегодняшний день существуют только две компании, выпускающие 100 % от всего рынка наземных высокоточных относительных гравиметров:

1. Micro-g LaCoste – американская компания, выпускающая высокоточный относительный гравиметр g-PhoneX [1].

2. Scintrex Ltd – канадская компания, которая является монополистом по изготовлению и распространению носимых высокоточных относительных гравиметров CG-5/CG-6 Autograv [2].

Использование иностранных носимых гравиметров на территории РФ имеет следующие ограничения:

- ограничения на поставку в Россию в условиях экономических санкций;
- зарубежные гравиметры имеют незадекларированные возможности аппаратуры и программного обеспечения и связанные с этим проблемы допуска к применению;
- при существующих логистических международных ограничениях их техническое обслуживание практически невозможно.

В части отечественных разработок следует отметить перебазируемые высокоточные гравиметры ГНШ-МА [3], ГНУ-КВ [4] и др. По мере увеличения доли иностранных гравиметров отечественные средства измерений выводились из обращения. В настоящее время производство отечественных гравиметров прекращено, технологии изготовления утеряны. Это приводит к необходимости разработки отечественного высокоточного относительного гравиметра.

## **Состояние разработки отечественного гравиметра**

В настоящее время в научно-техническом центре ФГУП «ВНИИФТРИ» ведутся исследования по созданию действующего образца гравиметра «Пешеход», принцип действия которого основан на использовании прецизионных пружинных весов. Изменение силы тяжести определяется путем измерения величины растяжения металлической пружины. При этом используется емкостной съём для оценки значения перемещения пружины. Система съёма представляет собой конденсатор с тремя пластинами. При этом между двух стационарных пластин располагается подвижная (она же – чувствительный элемент).

Можно выделить следующие основные преимущества гравиметра «Пешеход»:

1. Более высокая ударостойкость поскольку используется металлический чувствительный элемент.
2. Возможность серийного конвейерного изготовления всех элементов прибора.

3. Низкая стоимость серийного изготовления.
4. Отсутствует потребность в аккумуляторных батареях большой.

#### **Результаты испытаний**

В 2023 году выполнены испытания макетного экземпляра гравиметра «Пешеход» для подтверждения правильности схемотехнических решений и оценки точностных характеристик. При этом использовались метод наклонов и метод перемещений. Отдельно следует отметить, что выполнена оценка погрешности высокоточной емкостной системы гравиметра. Для этого использовалась платформа для наноперемещений и высокоточный лазерный интерферометр. В итоге погрешность системы составила не более 0,8 нм.

#### **Литература**

1. <https://agtsys.ru/storage/instructions/September2020/W13li0lfFYyfS509TKfc.pdf>.
2. <https://agtsys.ru/storage/instructions/April2020/eX96Am22na0h56dsvlYu.pdf>.
3. Гравиметры наземные широкодиапазонные с металлической чувствительной системой класса А ГНШ-МА (КЛ). Описание типа. Номер в ГРСИ РФ: 44494-10.
4. Гравиметры наземные узкодиапазонные с кварцевой чувствительной системой класса В ГНУ-КВ. Описание типа. Номер в ГРСИ РФ: 50841-12.

# ПУТИ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ УЛЬТРАЗВУК – СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ УЧЕТА ГАЗА

**Ж. Алибекова**

Филиал УМГ «Актобе» АО «Интергаз Центральная Азия»  
Актобе, Казахстан  
zhansbekova@gmail.com

## **Аннотация**

*Информация, представленная в докладе, касается учета газа и измерение расхода газа с использованием ультразвуковых счетчиков. В статье описаны основные стандартизируемые параметры и технические характеристики. Ниже приведены ссылки на международный опыт, нормативный статус и заключение по целесообразности создания поверочных установок для счетчиков газа на ультразвуковом методе измерения.*

**Ключевые слова:** *ультразвуковой счетчик, учет газа, расход, газопровод, газоизмерительная станция*

При формировании прибыли газотранспортной компании достоверность количества поставляемого газа напрямую служит составляющим фактором. Актуально внедрение и использование высокоточных передовых измерительных систем для ведения правильного учета расхода поставляемого газа, которые будут практичны при ремонте, наладке и эксплуатации. Одним из ключевых факторов наряду с точностью измерения является бесперебойность, безаварийность подачи газа потребителям.

Однако в настоящее время с точки зрения метрологического обеспечения коммерческого учета газа в системе учета газа актуально устранение дисбаланса измеряемого потока между сдающей и принимающей сторонами, а также уменьшение потерь при транспортировке. Для ультразвуковых расходомеров на территории страны имеются кое-какие наработки: огромное количество ультразвуковых расходомеров от различных производителей внесены в Государственный реестр средств измерений; пользователи работают с утвержденными методиками поверки, поверку проводят местные аккредитованные органы. Однако процесс поверки данных устройств имеет особенность - методика поверки предусматривает два метода – проливной и имитационный.

Метод имитационной поверки ограничивается подтверждением наименьшего количества метрологических характеристик СИ в статических условиях и атмосферном или близком к нему давлении, а зачастую ограничиваются значениями линейно-угловых измерений.

Проливной метод выполняется на специальных поверочных стендах (установках), воспроизводящих единицу расхода и объема в условиях сопоставимых с условиями эксплуатации системы измерений (давление, температура, расход, скорость, тип измеряемой среды (состав) и т.д.) и с требуемой величиной погрешности результата измерений (отклонение, неопределенность, повторяемость, воспроизводимость). Однако создание подобных поверочных стендов, использующих в качестве измеряемой среды природный или иной газ связан с созданием агрегатных узлов высокой мощности и как следствие большой энергоемкости. Отсутствие данных поверочных установок (рабочих эталонов) привело к распространению вышеописанного имитационного беспроливного, или как еще называют - «сухого» метода поверки счетчиков. В итоге на данный момент проверка метрологических характеристик ультразвуковых счетчиков возможна только за пределами РК.

Проведем расчеты на теоретическом предположении о том, что узлы учета газа на ГРС, в которых применяются устаревшие приборы, будут полностью переоборудованы на ультразвуковые счетчики. Для этого составим оценку предполагаемых объемов работ, суммарное количество затрат и прибыли. ГРС отличаются трубопроводами малого диаметра (до 300 мм), что можно соотнести с первой группой ультразвуковых счетчиков по метрологическим характеристикам. Так как стандарт ИСО 17089-2010 устанавливает требования при выпуске из производства и разделяет ультразвуковые счетчики на две группы с внутренним диаметром менее 12 дюймов (304,8 мм) и более 12 дюймов.

Для внедрения в эксплуатацию примем тот тип ультразвуковых счетчиков типа RMG Honeywell исполнения менее 12 дюймов на объектах количеством 100 ед. По опыту предыдущих лет связанных с обслуживанием счетчиков затраты на поверку зарубежом обходятся примерно в 20 млн тнг каждая. В данном случае общая стоимость на полное переоборудование объектов количеством 100 единиц будет равняться 17,701 млн.тенге, в том числе приобретение эталонного стенда для осуществления проливного метода поверки и обучение по данной процедуре специалиста. Помимо этого, покупка эталонной установки обеспечит отказ в дальнейшем от периодических поверок за границей, а также укрепит статус как единственной и передовой в индустрии, имеющей установку эталонного образца и ведения работ по поверке аналогичных ультразвуковых счетных устройств на сторонние организации.

Несмотря на то, что в странах постсоветского пространства бытует мнение о незначимости проливного метода поверки для ультразвуковых счетчиков и что вполне пригодно обойтись имитационным методом поверки, иностранные источники и требования ГОСТ 8.611-2013, и методики поверки утверждают обратное. Для утверждения о точности измерений необходимо испытать приборы на соответствующем имитационном стенде.

Немаловажным является само устройство ультразвуковых расходомеров, их большие преимущества перед другими видами счетчиков: малое или полное отсутствие гидравлического сопротивления, надежность, так как нет подвижных механических элементов, высокая точность, быстродействие, помехозащищенность. потери давления; широкий диапазон температур (от -220 до 600 °С) и давлений.

Почему первоначальную замену следует провести на ГРС? Так как значимость ГРС среди объектов заключается в сфере доставки газа потребителям, то есть затрагивает в большей степени коммерческий интерес. Также известно о том, что за любые неисправности, неполадки и приостановку подачи газа компенсацию за потери несет поставляемая сторона, то есть газотранспортная компания. И важнейшим преимуществом будет размер трубопровода, который на ГРС варьируется от 50 до 200 мм, таким образом эталонная установка для ультразвуковых счетчиков не будут чересчур энергоемкой и затратной.

Подводя итог можно однозначно сделать вывод, что проблема устаревшего оборудования на узлах учета существует, она актуальна и требует скорого решения, так же параллельно с этой задачей требует решение и задача по приобретению эталона расхода газа, что находит подтверждение в упомянутом выше.

#### **Литература**

1. Программа модернизации систем измерения расхода газа в АО «Интергаз Центральная Азия» на 2016-2020 года. – 33 с., 2015 г.
2. Перечень систем измерения расхода газа на объектах АО «Интергаз Центральная Азия» - 13 с., 2013 г.
3. Паспорт на Ультразвуковой счетчик газа USZ 08 Сферы применения, принцип работы, конструкции – 9 с., Каталог «Нефть и газ», 2009 г.
4. ГОСТ 8.611— 2013 ГСИ. Расход и количество газа. Метод измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода. – 60 с., Стандартиформ, 2014 г.
5. Исследование метрологических характеристик ультразвукового счетчика газа на эталонных расходоизмерительных установках – 6 с., Статья «Вестник Казанского техн.университета», 2011 г.
6. Ultrasonic Flow Meter Calibration Considerations and Benefits. Wayne Haner – 12 p. TransCanada Calibrations Box 880 Ile des Chenes, Manitoba Canada.



# ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ МЕРЫ ДЛИНЫ API RADIAN ДЛЯ ПОВЕРКИ СИСТЕМ ЛАЗЕРНЫХ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ (ТРЕКЕРОВ) API RADIAN

Д.А. Антошин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ульяновской области»  
(ФБУ «Ульяновский ЦСМ»),  
Ульяновск, Российская Федерация  
dantoshin@ulcsm.ru

## **Аннотация**

*Сотрудники ФБУ «Ульяновский ЦСМ» одними из первых, среди ЦСМ, освоили и провели поверку систем лазерных координатно-измерительных (трекеров) мерой длины API RADIAN, ранее услуги оказывали такие организации как: ФГБУ "ВНИИМС", ФГУП "ВНИИФТРИ", ООО «СЦПМ». Так же был применен уникальный подход к изготовлению и креплению меры длины API RADIAN на штативе через приспособление.*

**Ключевые слова:** мера длины, система лазерная координатно-измерительная (трекер), поверка, приспособление

Основные задачи:

- освоить новое приоритетное направление;
- оказать услуги по поверке(калибровке) систем лазерных координатно-измерительных авиационным заводам на территории Ульяновской области.

Система лазерная координатно-измерительная API RADIAN представляет собой лазерный измеритель расстояний на базе абсолютного дальномера, интерферометра и измерительных датчиков вертикального и горизонтального углов.

Принцип действия системы основан на слежении за уголкового отражателем с помощью лазерного луча. Испускаемый лазером луч, попадая в центр уголкового отражателя, возвращается обратно в объектив системы и далее на приемный датчик дальномера. По информации о двух углах и расстоянии вычисляются текущие пространственные координаты отражателя (X, Y, Z). Система использует I-Vision технологию, которая позволяет автоматически захватывать отраженный лазерный луч независимо от того, находится ли в поле зрения оператора визирная цель. Конструктивно система состоит из измерительного блока (сенсора) на фиксируемом основании, внешнего электронного блока (контроллера LT), комплекта отражателей и ряда дополнительных технических средств, необходимых для решения различных измерительных задач и тестирования системы. <sup>[1]</sup>

Данные системы поверяются, согласно методикам поверки, указанным в описаниях типа.

В ранних методиках поверки, например МП 52269-12 «Системы лазерные координатно-измерительные API RADIAN» или МП 59102-14 «Системы лазерные координатно-измерительные API OMNITRAC2», основное средство поверки эталонный лазерный интерферометр.

В более поздних методиках поверки, например МП 203-62-2019 «Системы лазерные координатно-измерительные API RADIAN PRO» или МП 203-67-2019 2019 «Системы лазерные координатно-измерительные API RADIAN CORE и API RADIAN PLUS», основное средство поверки рабочий эталон 3-го разряда согласно Государственной поверочной схеме для средств измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы, утвержденной приказом Росстандарта № 472 от 06.04.2021 г. (меры для поверки систем лазерных координатно-измерительных API RADIAN).<sup>[2]</sup>

Мера состоит из инварного стержня с алюминиевыми наконечниками с обоих концов и двух отражателей. Каждый наконечник снабжен гнездом для установки отражателя. Отражатели могут сниматься и устанавливаться в указанные магнитные гнезда.

Принцип действия мер основан на измерении расстояний между центрами сфер и последующем определении отклонений измеренных величин от действительных значений. <sup>[3]</sup>

Для проведения поверки мерой длины API RADIAN нужно было продумать ее крепление, а так же легкость монтажа конструкции и возможность ее транспортировки. При разработке конструкции придерживались принципа Точки ЭЙРИ. Расстояние между точками ЭЙРИ заложены для данной меры

длины API RADIAN производителем. Точки ЭЙРИ (в честь Джорджа Бидделла Эйри) используются для прецизионных измерений (метрологии) для поддержки стандарта длины таким образом, чтобы свести к минимуму изгиб или падение горизонтально поддерживаемой балки.<sup>[4]</sup>

В качестве опорной части была использована универсальная тренога фирмы Renishaw, на которую крепится приспособление для меры длины API RADIAN. Приспособление изготовлено из профильной трубы длиной 1030 мм с двумя приваренными металлическими пластинами размером 50x70 мм по краям трубы. В приспособление проделаны 3 технологические отверстия, центральное служит для крепления на треноге, два крайних для крепления меры длины API RADIAN. И уже непосредственно на приспособление укладывается и фиксируется мера длины API RADIAN. Фотография приспособления с закрепленной мерой длины API RADIAN на рис.1



Рис. 1. Приспособление с закрепленной мерой длины API RADIAN

Данная конструкция имеет ряд преимуществ таких как, простота использования, мобильность, устойчивость к воздействию внешних факторов, соблюдение условий поверки, прописанных в методике, возможность установки под углами 45 и 90 градусов.

За период с 4 квартала 2023 года по 2 квартал 2024 года была выполнена поверка систем лазерных координатно-измерительных в количестве 14 единиц, как на территории Ульяновской области, так и за ее пределами.

Так же другим приоритетным направлением нашего отдела поверки механических и геометрических величин является оказание услуг по диагностике, техническому обслуживанию и ремонту машин координатно-измерительных.

За период с 2022 года по 2 квартал 2024 года было выполнено техническое обслуживание машин координатно-измерительных в количестве более 16 единиц, как на территории Ульяновской области, так и за ее пределами.

#### Литература

1. ФИФ ОЕИ 52269-12 «Система лазерная координатно-измерительная API RADIAN». Описание типа средства измерений.
2. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. №472 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы, в том числе эвольвентных поверхностей и угла наклона линии зуба».
3. ФИФ ОЕИ 72749-18 «Система лазерная координатно-измерительная API RADIAN». Описание типа средства измерений.
4. Эйри Г.Б. О изгибе однородного стержня, поддерживаемого несколькими равными давлениями, приложенными в равноудаленных точках, и о положениях, подходящих для приложения этих давлений, чтобы предотвратить любое ощутимое изменение длины стержня из-за небольшого изгиба/ Эйри Г.Б. *Ежемесячные уведомления Королевского астрономического общества*, том 6, выпуск 12, январь 1845 г., страницы 143-146.

# СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДАТЧИКОВ

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  
n.yu.aleksandrov@vniim.ru

## *Аннотация*

*На территории РФ широко распространены датчики для непрерывного контроля относительной влажности. В работе рассматриваются проблемы, возникающие при передаче единицы относительной влажности на месте эксплуатации датчиков. Проанализированы недостатки существующих систем и предложены способы их устранения.*

**Ключевые слова:** *датчик относительной влажности, насыщенный раствор соли, солевой гигростат*

В настоящее время широко применяются различные датчики для непрерывного измерения относительной влажности. Общее количество датчиков, применяемых для непрерывного измерения относительной влажности, составляет более 10000 шт. [1]. Основные области применения датчиков относительной влажности:

- метеорологическая (аэропорты, стационарные метеорологические станции, морские и речные порты);
- складская (контроль климатических условий при хранении различных видов продукции);
- медицинская (поддержание микроклимата в местах расположения пациентов);
- производства фармацевтических препаратов (на всех этапах производства).

Датчики различаются по техническим и метрологическим характеристикам. Например, датчики относительной влажности, применяемые в метеорологической сфере, имеют диапазон относительной влажности от 5 % до 100 %, а абсолютная погрешность измерений составляет от  $\pm 2$  % до  $\pm 5$  % [2]. Датчики относительной влажности, применяемые в складских помещениях, медицинской сфере и других областях используются датчики с диапазоном измерения относительной влажности от 5 % до 95 %, абсолютная погрешность составляет не более  $\pm 3$  % [3].

В связи с потребностью успеть провести поверку в установленный межповерочный интервал, владельцам датчиков относительной влажности необходимо устанавливать на объект второй комплект уже поверенных датчиков. Это сказывается на увеличении затрат потребителей на приобретении датчиков, их поверки и сервисного обслуживания.

Для обеспечения передачи единицы относительной влажности используется два подхода:

1. Генераторы относительной влажности. Они являются дорогостоящими и уязвимыми для транспортировки, поэтому применение на месте эксплуатации датчиков крайне затруднительно.
2. Системы на свойстве насыщенных растворов солей. Они являются дешевым, переносным и удобным средством воспроизведения относительной влажности.

На сегодняшний день на территории РФ для передачи единицы относительной влажности используются несколько различных систем на основе насыщенных растворов солей:

- твердая соль;
- поверочные комплексы с применением вспомогательного оборудования;
- солевые гигростаты;

При использовании твердой соли необходимо при каждом измерении приготавливать насыщенный раствор. Для этого необходимо использовать правильное соотношение дистиллированной воды и твердой соли. Любое изменение от рекомендованного соотношения приводит к некорректному воспроизведению фиксированного значения относительной влажности. При измерениях необходимо учитывать погрешность воспроизведения фиксированного значения относительной влажности при определенной температуре. Для этого требуется использовать термометр, при помощи которого будет определяться температура насыщенного раствора в измерительной ячейке. Еще одним важным фактором служит выбор поставщика твердой соли. Проведя анализ организаций, которые поставляют твердую соль

было установлено, что одна и та же соль при воспроизведении фиксированного значения относительной влажности при одинаковых условиях имеет различные установленные значения погрешности воспроизведения.

В поверочных комплексах на основе насыщенных растворов солей используется стандартный набор солей ( $\text{LiCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) и эталонный гигрометр относительной влажности. При его использовании определяется действительное значение относительной влажности над насыщенным раствором соли. Абсолютная погрешность измерений относительной влажности составляет не более  $\pm 1\%$  [4]. Благодаря использованию эталонного гигрометра расширен температурный диапазон применения комплекса.

В солевых гигростатах используются стандартные наборы солей. В солевых ячейках уже приготовлен насыщенный раствор соли. При воспроизведении фиксированного значения относительной влажности необходимо учитывать дополнительную погрешность, вызванную изменением температуры. Для это используют контрольный термометр [5].

По результатам анализа метрологических характеристик датчиков относительной влажности применяемые для непрерывного контроля и оборудования применяемое для поверки и калибровки можно сделать следующие выводы:

1. Метрологические характеристики датчиков, применяемые в различных областях, различаются по диапазону и погрешности измерений;
2. Системы на основе насыщенных растворов солей больше подходят для передачи единицы относительной влажности на месте эксплуатации.

Анализ систем на основе насыщенных растворов выявил ряд недостатков. Приготовленные насыщенные растворы применяются лишь для однократного измерения. Увеличенное время для проведения измерений одного датчика, необходимо учитывать дополнительную погрешность, вызванную изменением температуры. При проведении измерений в разных местах эксплуатации датчиков, необходимо учитывать дополнительные порции соли и дистиллированной воды для приготовления насыщенного солевого раствора.

В поверочных комплексах используется зарубежный эталонный гигрометр Rotronic HygroPalm HP 23, абсолютная погрешность которого составляет  $\pm 1\%$  [6]. В связи с трудностями поставок данных гигрометров, в качестве альтернативного варианта можно применять термогигрометр ИВА-6Б2 с преобразователем ДВ2ТСМ 2П, у которого абсолютная погрешность измерений в диапазоне от  $0\%$  до  $90\%$  составляет  $\pm 1\%$ , свыше  $90\%$  до  $98\%$   $\pm 2\%$  [7]. Проблемой является то, что термогигрометр ИВА-6Б2 не обеспечивает необходимый запас по точности при передаче единицы относительной влажности для датчиков, используемых в складских и медицинских областях. На сегодняшний день полной альтернативы зарубежному гигрометру HygroPalm HP 23 на территории РФ нет.

У датчиков относительной влажности, у которых верхний предел измерений составляет  $95\%$  не позволяет использовать насыщенный раствор соли  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Фиксированное значение насыщенного раствора составляет при температуре воспроизведения  $20,0\text{ }^\circ\text{C}$   $97,0\%$ . При проведении поверки или калибровки таких датчиков используется насыщенный раствор соли  $\text{NaCl}$ , фиксированное значение которого составляет при температуре воспроизведения  $20,0\text{ }^\circ\text{C}$  —  $75,3\%$ . Проведя анализ имеющихся стандартных солей применяемые для воспроизведения единицы относительной влажности, было выявлено что интервал от  $75\%$  до  $95\%$  метрологически не обеспечивается.

Решением проблемы с учетом всех вышеизложенных недостатков, является разработка гигростата с термостатируемыми солевыми ячейками. Это позволит исключить необходимость применения вспомогательного оборудования. За счет возможности многократного использования насыщенного раствора уменьшается время измерений. Исследование метрологических характеристик расширенной номенклатуры солей позволит внедрить новые градуировочные/поверочные точки и обеспечить передачу единицы в полном диапазоне относительной влажности.

#### Литература

1. Данные из фонда по обеспечению единства измерений.
2. Датчики метеорологических параметров ДМП. Номер в ФИФ: 53505-12.
3. Приборы комбинированные Testo 174. Номер в ФИФ: 47602-11.
4. Комплекс поверочный портативный КПП-3. Номер в ФИФ: 67967-17.
5. Солевой гигростат влажности воздуха. Патент. Жукова Л.П., Тюрин А.И.
6. Гигрометр Rotronic, мод HygroPalm HP 23. Номер в ФИФ: 64196-16.
7. Термогигрометр ИВА-6. Номер в ФИФ: 46434-11.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ШАРОВОЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

В.В. Алехнович

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0003-0580-4916>, [Alekhnovich\\_VV@pers.spmi.ru](mailto:Alekhnovich_VV@pers.spmi.ru)

## Аннотация

Проведено исследование параметров никель-фосфорных и хромовых покрытий на шаровых пробках серийно выпускаемой запорной арматуры, включающее в себя контроль его толщины и твердости. Экспериментально подтверждена возможность обеспечения достоверности результатов при комплексном контроле качества металлических хромовых и никель-фосфорных покрытий путем использования многопараметрического контроля. Даны рекомендации по использованию оборудования для контроля толщины и твердости покрытий.

**Ключевые слова:** шаровые пробки, никель-фосфорные покрытия, толщина покрытия, вихретоковый толщиномер, индукционный толщиномер

В настоящее время, шаровую запорную арматуру производит, более 10 отечественных и зарубежных предприятий.

Для покрытий шаровых пробок установлены требования по толщине и твердости [1-4]. В нормативной документации регламентируется, что толщина износостойкого покрытия должна составлять не менее 25 мкм для неагрессивной среды и 75 мкм для агрессивной среды, а твердость покрытия должна быть не ниже 900 HV. В этой связи, возникает потребность в обеспечении единства измерений при проведении контроля толщины и твердости покрытий шаровых пробок.

Для достижения единства измерений при проведении контроля параметров покрытий, на производствах следует реализовать следующий подход к комплексному контролю:

- использование оборудования, аналогичного по метрологическим характеристикам;
- применение единых аттестованных методик измерений, учитывающих влияние таких параметров, как электрофизических ( $\sigma_p$ ,  $\sigma_{осн}$ ,  $\bar{\mu}_{осн}$ ), так и геометрических (толщины покрытия  $d$ , шероховатости  $Ra$ , радиуса кривизны поверхности  $R$ );
- использование мер, аналогичных по электромагнитным характеристикам объекту контроля, изготовленных по единой технологии.

Для исследования возможности обеспечения достоверности результатов при комплексном контроле качества металлических хромовых и никель-фосфорных покрытий путем использования многопараметрического контроля, было выбрано оборудование, реализующее различные методы измерения (Таблица 1).

Таблица 1 – Методы измерения и используемое оборудование

№	Измеряемый параметр/метод измерения	Оборудование	Метрологические характеристики	
			Характеристика	Значение
1	Толщина покрытия/ Метод шарового истирания	Установка шарового истирания Константа Ш2, оптический микроскоп <sup>1</sup> .	Показатель точности (границы погрешности при $P = 0,95$ ), $\pm\delta$	6,0 %
2	Толщина покрытия/ Магнитоиндукционный метод	Прибор измерения геометрических параметров Константа Кбц с преобразователем ИД1-0,3 <sup>2</sup>	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений толщины покрытий при температуре окружающего воздуха $(20\pm 5)$ °C, мм	$\pm(0,01h+0,001)$
3	Толщина покрытия/ Вихретоковый фазовый метод	Прибор измерения геометрических параметров Константа Кбц с	Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений толщины покрытий при	$\pm(0,02h+0,001)$

		преобразователем ФД1 <sup>2</sup>	температуре окружающего воздуха (20±5) °С, мм	
4	Твердость HV/ статический метод (Микротвердость по Виккерсу)	Микротвердомер ПМТ-3М	Предел допускаемой погрешности нагрузок в диапазонах основном/дополнительном, не более	± 2 %
5	Твердость HV/ метод ультразвукового контактного импеданса	Твердомер Константа КТ с преобразователем U- 10N <sup>3</sup>	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений твердости, единицы измерений	±20 HV
<sup>1</sup> <a href="https://constanta.ru/catalog/mekhanicheskie_tolshchinomery_zashchitnykh_pokrytiy/">https://constanta.ru/catalog/mekhanicheskie_tolshchinomery_zashchitnykh_pokrytiy/</a> <sup>2</sup> <a href="https://constanta.ru/catalog/pribory/konstanta_k6ts_tft/?ysclid=181h65u5w1482204469">https://constanta.ru/catalog/pribory/konstanta_k6ts_tft/?ysclid=181h65u5w1482204469</a> <sup>3</sup> <a href="https://constanta.ru/catalog/izmeritelnye_preobrazovateli_po_metodu_uci_dlya_tverdomera_konstanta_kt/u_10n/?ysclid=181h8gpt4141249665">https://constanta.ru/catalog/izmeritelnye_preobrazovateli_po_metodu_uci_dlya_tverdomera_konstanta_kt/u_10n/?ysclid=181h8gpt4141249665</a>				

Для проведения измерений толщины покрытий методом шарового истирания (разрушающий вид контроля) был использован комплекс оборудования: установка шарового истирания Константа Ш2 для получения выемки износа, оптический микроскоп Альтами МВ0670Д для проведения измерений и мера штриховая ОМО для передачи меры длины программному обеспечению [5]. Образование выемки износа и дальнейшие измерения проводились с использованием стального шара диаметром 20 мм. Неразрушающие измерения толщины покрытий выполнялись двумя преобразователями, реализующими магнитоиндукционный (ИД1-0,3) и вихретоковый фазовый (ФД1) методы измерений.

Для измерения твердости был использован микротвердомер ПМТ-3М и твердомер по методу ультразвукового контактного импеданса Константа КТ с преобразователем U-10N. При проведении измерений твердости, следует учитывать, что толщина покрытия должна быть более 30 мкм, т.к. глубина внедрения индентора твердомера не должна превышать 10 % от толщины измеряемого покрытия.

### **Заключение**

В докладе будут рассмотрены предложенные характеристики используемых средств измерений, оборудования, аттестованных методик измерения и практические результаты применения, обеспечивающие единство измерений при контроле металлических никель-фосфорных и хромовых покрытий.

### **Литература**

1. ASME B16.34-2013 Valves — Flanged, Threaded, and Welding End;
2. MSS SP-55 Quality Standard for Steel Casting for Valves, Flanges, Fittings and Other Piping Components;
3. МУ.10.36 ООО «Иркутская нефтяная компания» «Единые технические требования на поставку кранов шаровых», стр. 15, п. 5.10-5.12, Иркутск, 2019 г.;
4. СТО Газпром 2-4.1-1108-2017 Арматура трубопроводная. Краны шаровые специальные. Общие технические условия;
5. Гоголинский К.В., Ивкин А.Е., Алехнович В.В., Васильев А.Ю., Тюрнина А.Е., Васильев А.С. Оценка показателей точности определения толщины покрытий методом шарового истирания. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020;86(7):39-44. Doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-7-39-44.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ ПОРШНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОСРЕДСТВОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЯ И ЦИЛИНДРА

А.И. Анцукова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева»  
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0009-0001-5787-3115>, [aian@vniim.ru](mailto:aian@vniim.ru)

## Аннотация

*Исследование эффективной площади измерительной поршневой системы посредством определения геометрических параметров поршня и цилиндра проводится в рамках работ по совершенствованию государственного первичного эталона единицы давления для области абсолютного давления в диапазоне  $1 \cdot 10^{-1} - 7 \cdot 10^5$  Па (ГЭТ 101-2011).*

**Ключевые слова:** измерительная поршневая система, эффективная площадь, манометр грузопоршневой, измерения давления, государственный первичный эталон, совершенствование эталона

Совершенствование государственного первичного эталона единицы давления для области абсолютного давления в диапазоне  $1 \cdot 10^{-1} - 7 \cdot 10^5$  Па ГЭТ 101-2011 (далее – ГЭТ 101) [1] включает как совершенствование имеющихся эталонных комплексов, так разработку и введение в состав ГЭТ 101 новых эталонных комплексов, в том числе на основе манометров грузопоршневых. Для манометров грузопоршневых величина давления определяется эффективной площадью измерительной поршневой системы (далее – ИПС), массой грузов и подвижной части манометра, ускорением свободного падения, а также коэффициентами линейного расширения и деформации поршня и цилиндра. Наибольший вклад в результирующее значение неопределенности эталона вносит оценивание эффективной площади ИПС.

Исследование ИПС проводится по документированным процедурам, включающим опробование ИПС при работе в абсолютном режиме воспроизведения абсолютного давления с применением в качестве эталонов Государственного первичного эталона единицы давления-паскаля ГЭТ 23-2010 (далее – ГЭТ 23) [2] и Государственного первичного специального эталона единицы давления для разности давлений ГЭТ 95-2020 (далее – ГЭТ 95) [3]. При передаче единицы величины от ГЭТ 23 или от ГЭТ 95 в результирующее значение уже включены неопределенности измерений геометрических параметров ИПС из их состава.

Для минимизации вклада этих значений были подготовлены эскизы и проведены измерения геометрических параметров ИПС: диаметров поршня и цилиндра. Методика измерений включает измерения по 10 сечениям, равномерно расположенным по длине рабочей части поршня и цилиндра, в трех направлениях на каждом сечении через  $120^\circ$ .

Эффективная площадь ИПС, в соответствии с уравнением, предложенным в [4], было определено по результатам измерений геометрических параметров как среднее арифметическое значение по формуле:

$$A = \frac{\pi}{8} \left( \overline{D}_{qi}^2 + \overline{D}_{ni}^2 \right), \quad (1)$$

где  $\overline{D}_{qi}$ ,  $\overline{D}_{ni}$  – среднее значение диаметров поршня и цилиндра.

В ходе исследования была также рассмотрена и опробована методология оценивания расчетным способом эффективной площади ИПС, применяемая РТВ (Physikalisch-Technische Bundesanstalt (РТВ), Braunschweig, Germany) [5]. В соответствии с [5] эта методология является предпочтительной для оценивания расчетным способом эффективной площади ИПС, вывод о чём делается на основании оценивания показателей сходимости результатов. Значение эффективной площади определяется уравнением:

$$A_э = \pi r_0^2 \left( 1 + \frac{h_0}{r_0} + \frac{1}{r_0} \frac{\int_0^l \frac{u+U}{h^3} dx}{\int_0^l \frac{1}{h^3} dx} \right), \quad (2)$$

где  $r_0$  – усредненный, по сечению окружности, радиус поршня в первом сечении;  $h_0$  – величина зазора в первом сечении;  $u$  – функция распределения отклонения радиусов поршня от нулевого по длине рабочей поверхности;  $U$  – функция распределения отклонения радиусов цилиндра от нулевого по длине рабочей поверхности;  $h$  – функция распределения зазора по длине рабочей поверхности;  $l$  – длина рабочей поверхности.

Оценивание неопределенности измерений эффективной площади ИПС при применении представленных методов и сопоставимости полученных результатов позволило разработать единый подход к определению эффективной площади ИПС в рамках работ по совершенствованию ГЭТ 101-2011.

### Литература

- [1] «Государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне  $1 \cdot 10^{-1}$ – $1 \cdot 10^7$  Па», утвержденная Приказом Росстандарта от 06.12.2019 № 2900
- [2] «Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа», утвержденная Приказом Росстандарта от 20.10.2022 № 2653
- [3] «Государственная поверочная схема для средств измерений разности давлений до  $1 \cdot 10^5$  Па», утвержденная Приказом Росстандарта от 31.08.2021 № 1904
- [4] М.К. Жоховский. Теория и расчет приборов с неуплотненным поршнем. Издательство стандартов, Москва, 1980 г.
- [5] Calculation of effective area  $A_0$  for six piston–cylinder assemblies of pressure balances. Results of the EUROMET Project 740



# РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОТОТИПА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ГРАДИЕНТОМЕТРА НА КРУТИЛЬНЫХ ВЕСАХ

М.О. Бабенко, Р.А. Давлатов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Солнечногорск, р. П. Менделеево, Российская Федерация  
babenko4392@gmail.com

## Аннотация

Измерение гравитационного градиента силы тяжести земли может использоваться в различных областях науки и техники. В работе представлено описание принципа работы прототипа гравитационного градиентометра на крутильных весах. Описан принцип функционирования системы регистрации, примененной в прототипе. Предложен способ создания калибровочного воздействия и приведены экспериментальные данные, подтверждающие работоспособность изготовленного прототипа.

**Ключевые слова:** градиентометр, градиентометрия, методы гравиметрии, принцип работы градиентометра, прецизионные измерения, крутильные весы Кавендиша, геофизика

Гравитационная градиентометрия позволяет изучать аномальное поле силы тяжести Земли. Гравитационный градиент описывается тензором второго ранга с пятью независимыми компонентами. В данной работе приведён способ поиска компонент посредством наблюдения за телом крутильными весами.

Чувствительный элемент гравитационного градиентометра (Рис. 1.) представляет собой горизонтальное коромысло  $K$ , несущее две малогабаритные точечные массы  $A$  и  $B$ , разнесенные по горизонтали и вертикали. Коромысло закреплено на тонком подвесе  $C$ , который выступает в качестве торсиона малой жесткости.

Под действием гравитационного поля коромысло занимает такое положение, что прямая, проходящая через центр тяжести тела из двух масс и точку подвеса, совпадает с направлением силы тяжести. Находясь в гравитационном поле с ненулевым значением второй производной гравитационного потенциала, тело начинает испытывать действие момента сил. Этот момент сил заставляет чувствительный элемент из двух масс менять свое местоположение. Измеряя эти перемещения, можно вычислить момент сил. Проведя измерения на нескольких азимутах, можно составить систему линейных уравнений, из которых вычисляются компоненты градиента силы тяжести.

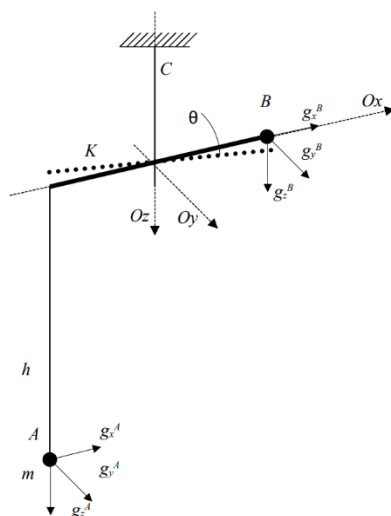


Рис. 1. Крутильные весы градиентометра

Был изготовлен прототип гравитационного градиентометра с системой регистрации на основе диодного лазера и КМОП – матрицы. Пучок света, испускаемый диодным лазером, отражается от плоского зеркала, закрепленного на чувствительной массе, после чего попадает на плоскость матрицы. Обработка получаемого сигнала позволяет найти смещение пучка из, которого вычисляется угол поворота чувствительного элемента.

В работе приведены результаты лабораторных испытаний, сутью которых являлось наблюдение за показаниями прототипа прибора при изменении гравитационного градиента в пространстве. Полученные результаты сравнивались с математической моделью.

В результате работы был создан прототип, работоспособность которого была экспериментально подтверждена. Были проанализированы недостатки и особенности конструкции, и выдвинуты предположения о дальнейших путях модернизации.

#### **Литература**

1. Юзефович, А. П. Поле силы тяжести и его изучение: учеб. Пособие / А. П. Юзефович .— Москва : Изд-во МИИГАиК, 2014 .— 193 с. : ил. — ISBN 978-5-91188-051-4.
2. Миронов В.С. Курс гравиметрии. Л.: Недра, 1980. 543 с.
3. ГуптаХарш К. Encyclopedia of Solid Earth Geophysics/Энциклопедия по геофизике Земли Springer, 2011 г., 1578 стр., ISBN: 978-90-481-8701-0.
4. Мудрецова Е.А., Федьинский В.В. Гравиразведка. Справочник геофизика Недр, Москва, 1968 г., 512 стр., УДК: 550.831.
5. Zoltan Szabo The history of the 125 year old Eotvos torsion balance Acta Geodaetica et Geophysica Volume 51, pages 273–293, (2016) DOI:10.1007/s40328-015-0126-4.
6. Dan DiFrancesco, Thomas Meyer, Asbjorn Christensen and Desmond FitzGerald Gravity Gradiometry – Today and Tomorrow // 11<sup>th</sup> SAGA Biennial Technical Meeting and Exhibition, Sep 2009, cp-241-00018 [https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.241.difrancesco\\_paper1](https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.241.difrancesco_paper1).
7. Xiang Hu, Ye Yu, Jun Liu, Rong Jiang A torsion balance device for measuring the gravity gradient // Journal of Physics Conference Series 1065(4):042058 DOI:10.1088/1742-6596/1065/4/042058.
8. Sándor Laky Test measurements by Eötvös torsion balance and gravimeters // Periodica Polytechnica Civil Engineering 53(2):75 DOI:10.3311/pp.ci.2009-2.03.

# ПРЕДОПРЕДЕЛЁННАЯ МЕТРОЛОГИЯ

Д. В. Бакун

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ростовской области»,  
ФБУ «Ростовский ЦСМ»,  
Ростов-на-Дону, Российская Федерация  
csm161@ya.ru

## **Аннотация**

*Приоткрыв занавес, попробуем заглянуть в мир будущего и увидеть, как будет выглядеть метрология, какой эталон станет венцом творения человечества и какими свойствами он будет обладать, в каких чертах его вид можно описать.*

*Чтобы понять это и задать тон прогрессу измерений необходимо провести черту, зафиксировать пройденное, дать ему имя, определение присущее каждому пройденному отрезку времени, свой характерный набор свойств и характеристик и только после этого мы сможем задать вектор и устремиться в будущее.*

**Ключевые слова:** *сущность метрологии, вектор будущего, прогресс измерений*

И начнем отправную точку с **1 поколения**.

Отведем на времена до нашей эры, протянувшиеся к I веку нашей эры, эти времена является колыбелью измерений. Измерения начинают подталкивать новые науки математика, астрономия, физика, нумерология, от измерения количества пальцев, камней, палок к изготовлению весов, линеек, часов, в разных частях света как звезды зарождаются наименования единиц величин, со своими различающимися характеристиками. Назначения ширятся, измерения задействуют в строительстве, быте, религии, военном деле, торговле.

### **1. поколение**

С I – XVII (1 – 17) века нашей эры время становления фундамента метрологии как науки, а также для большинства человечества грандиозного события, измерение нового летоисчисления, чем можно подчеркнуть пройденный рубикон и поставить отправную точку к новым свершениям. Метрология обретает свои черты, с фанатичным энтузиазмом стремится превзойти свои пределы познаний, сдвигая непознанное с почетного пьедестала.

В силу своего пройденного исторического пути, единицы величин в разных сторонах света имеют свои устоявшиеся традиционные наименования, разнятся в своих константах.

Значимость измерений становится важной для многих сфер жизнедеятельности человека, науки, торговли, военного дела, медицины, путешествий, строительства, искусства, производства.

### **2. поколение**

XVII – XVIII (17 – 19) века становятся коротким промежутком для прорыва человеческого развития, что несомненно было подкреплено предыдущими веками и в частности эпохой просвещения, подобно сжатой пружине ожидающая возможности ускоренно распрямиться в бесконечных витках открытий и свершений. Метрология обретает свое неповторимое место и имя среди развивающихся наук. С растущей индустриализацией, становлением электричества, измерения заискрили новыми цветами. Появляются новые величины единиц измерений, вырабатывается структура, ширится международное взаимодействие, зачатком которого станет международная метрическая система, многие страны со всего мира тянуться к знамени единства измерений.

### **4 поколение**

XX – XXI (19 – 21) века пришли восходом индустриализации, что несомненно отразилось и на измерениях, открыты новые величины, пересмотрены старые, а также новые подходы измерений. За короткий промежуток исторического времени словно гремучая вода бурлит и выплескивает из жерла мирный атом, электронику, компьютер, интернет, роботизацию и еще таких не мало важных брызг, которых не уместить в строке открытий и достижений.

Тем временем метрическая система принята почти всеми странами, позволяя народам сближаться, расширив экономические, политические, культурные связи.

Метрология пронизывает все аспекты жизнедеятельности человека.

Средства измерения становятся неотъемлемой частью обыденной жизни.

### **5 поколение**

Новые научные открытия в квантовой механике, физике, химии, биологии, а также кибернетизация, искусственные нейронные сети, искусственный интеллект, планетарная инженерия, энергетика на новых принципах с максимальным коэффициентом полезного действия, толкают человечество в новую эпоху и раскрывают горизонт для метрологии. Благодаря технологичности, для метрологии перестают существовать границы, человечество подходит созданию новой квинтэссенции, которая становится философским камнем метрологии. Создан единый эталон, включающий в себя все единицы. В качестве эталона выступает сам человек, являющийся носителем ДНК, атомов. Будет производиться сличение с константами атомов или ДНК человека, с дальнейшей передачей величины через вспомогательное встроенное в организм или носимого оборудования посредством вживленных веществ или нано роботов.

Каждый человек сможет обладать наивысшим универсальным эталоном и способен проводить измерения в любой географической точке.

### **Заключение**

В результате проделанной работы рассмотрена эволюция метрологии в хронологическом порядке истории, на основании темпа развития предшествующих и нынешних времен, проанализирован и спрогнозирован следующий этап становления метрологии, посредством нового подхода измерения, свойств и конструкции эталона в необозримом будущем.

### **Литература**

1. Окрепилов В. В. Основы метрологии СПб.: ГУАП, 2008. С. 9-21.
2. Шабалин С. А. Измерения для всех М.: Издательство стандартов, 1991. С. 21-23, 28-34.
3. Чертов А. Г. Единицы физических величин М.: Высшая школа, 1977. С. 15-26, 129-146.
4. Брянский Л. Н. Непричесанная метрология ФГУП «ФНИИФТРИ», 2008. С. 9-70.

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА В РАМКАХ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ

М.Г. Баринава, В.Е. Ильзит, А.И. Соляник

Воронежский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)»  
(Воронежский филиал АСМС)  
Воронеж, Российская Федерация  
+7 (473) 253-02-67, metod@asms-vrn.ru

## Аннотация

В аспекте цифровой трансформации рассмотрены вопросы практической реализации процесса непрерывного повышения компетентности метрологов, который является одним из ключевых процессов системы управления персоналом в метрологической инфраструктуре региона. Предложена концептуальная модель территориально распределенной образовательной системы, в рамках которой реализуется данный процесс. Приведен алгоритм практической реализации процесса и механизмы его цифровой трансформации.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, непрерывное повышение компетентности, формальное образование, неформальное образование, цифровая образовательная платформа

## Введение

В условиях постоянного увеличения номенклатуры и парка измерительного оборудования, усложнения технологических процессов его поверки и калибровки, непрерывное повышение уровня компетентности специалистов метрологической инфраструктуры становится **актуальной задачей** для инновационного развития любого региона. **Цель и задачи** – предложить концептуальную модель региональной образовательной системы, реализующей процесс непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов, алгоритм его практической реализации и механизмы цифровой трансформации.

## Концептуальная модель региональной образовательной системы.

Проведенные исследования [1, 2, 3] показывают, что цифровая революция, развитие цифровых образовательных платформ (ЦОП), реализующих методологию непрерывного повышения компетентности метрологов, сочетающих имитацию среды их профессиональной деятельности и обеспечивающих процессы формального и неформального образования (технической учебы) – это новые тренды, которые формируют образ современной образовательной системы. Предлагаемая концептуальная модель региональной образовательной системы и механизмы ее цифровой трансформации приведены на рисунке 1.

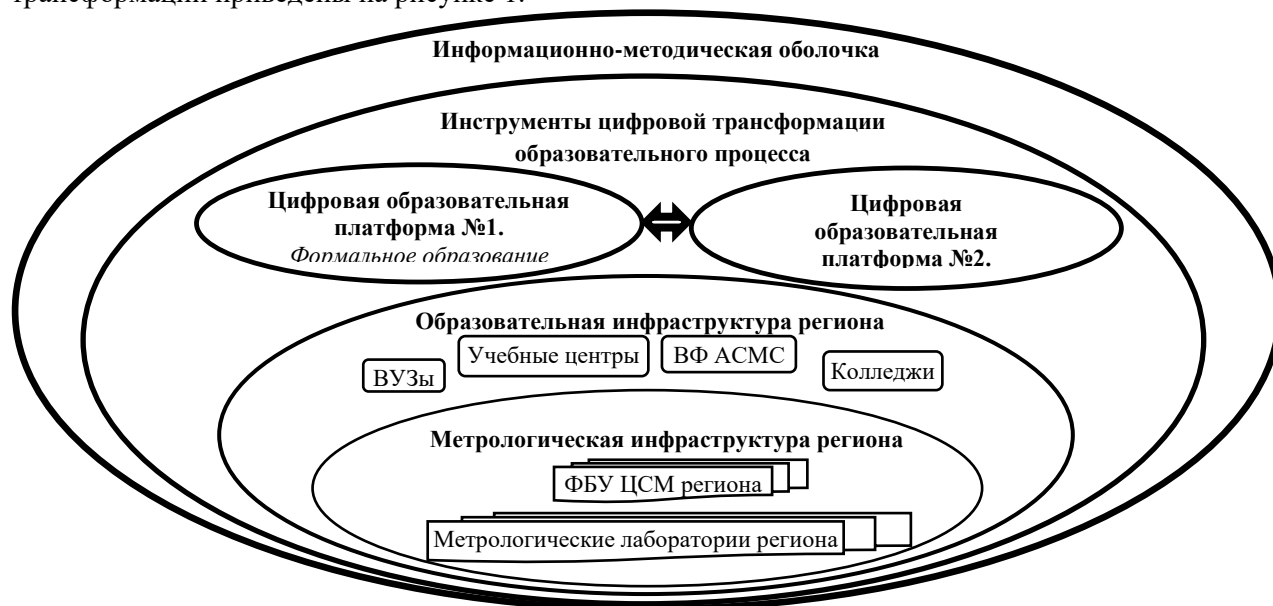


Рис. 1. Концептуальная модель региональной образовательной системы

Региональная образовательная система имеет единую методическую оболочку и объединяет образовательные и технические ресурсы восьми областей Центрального федерального округа (Воронежской, Белгородской, Липецкой, Тамбовской, Орловской, Курской, Тульской и Рязанской областей). Учебно-методическим ядром системы является Воронежский филиал АСМС. В образовательной системе на базе двух ЦОП [4] реализуются методически гармонизированные циклы формального и неформального образования (технической учебы), а имитация среды профессиональной деятельности метрологов формируется с использованием цифровых двойников реального метрологического оборудования [5].

**Алгоритм практической реализации методологии непрерывного повышения компетентности метрологов (на примере региональных центров стандартизации и метрологии (ФБУ ЦСМ)).**

На рисунке 2 приведен алгоритм практической реализации методологии непрерывного повышения компетентности метрологов для конкретных структурных объектов региональной метрологической инфраструктуры региона.

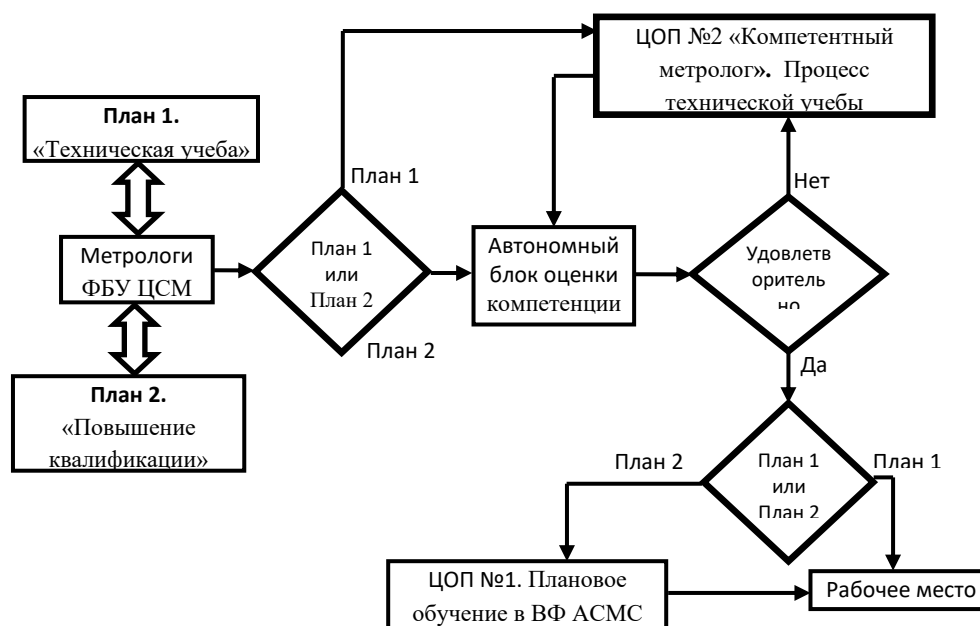


Рис. 2. Алгоритм практической реализации методологии непрерывного повышения компетентности метрологов региональных ФБУ ЦСМ

Алгоритм подразумевает наличие в ФБУ ЦСМ двух учебных планов: плана текущего повышения квалификации и плана технической учебы. План текущего повышения квалификации метрологов реализуется с использованием ЦОП №1 Воронежского филиала АСМС, а план технической учебы – на ЦОП №2 «Компетентный метролог» ФБУ ЦСМ самостоятельно [6, 7]. ЦОП №1 и ЦОП №2 методически гармонизированы, для проведения лабораторных работ в них интегрировано более 30 «цифровых двойников» реального метрологического оборудования [8, 9, 10, 11, 12]. Процесс технической учебы формализован в виде документированной процедуры «Система технической учебы специалистов-метрологов» и в полной мере реализует требования Профессионального стандарта № 33 «Специалист по метрологии».

**Результаты работы:** предлагаемый системный подход к организации образовательной деятельности, интеграция формального и неформального образования в единую образовательную систему, создают все предпосылки для практической реализации методологии непрерывного повышения компетентности специалистов метрологической инфраструктуры региона.

### Литература

1. Соляник А.И., Новиков В.А. Эффективная система непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов // Компетентность. – 2021. – № 1. – С. 6-10.
2. Павельев И.И., Соляник А.И., Сапего Ю.М. Образовательный кластер в сфере технического регулирования и метрологии // Стандарты и качество. – 2017. – №2 (956). – С. 34-38.
3. Соляник А.И., Филимонов И.С., Олейник В.Ю., Барина М.Г. Основные аспекты организационно-методического обеспечения образовательной деятельности ФГАУ ДПО АСМС // Тезисы докладов. – Сочи: 11-я Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы метрологического обеспечения в здравоохранении и

производстве медицинской техники», 2022. – С. 124-129.

4. Зажигалкин А.В., Соляник А.И., Андрончев И.К., Барина М.Г. Ассоциативная модель качества инженерной деятельности и результаты ее использования // Компетентность. – 2024. – № 4. – С. 4-11.

5. Воронин В.Н., Соляник А.И. Методология реализации компьютерных 3D тренажеров для формирования цифровой образовательной платформы ФГАОУ ДПО АСМС // Главный метролог. – 2021. – № 6. – С. 4-11.

6. Ильзит В. Е., Барина М. Г., Олейник В. Ю., Соляник А. И. Электронный учебно-методический комплекс «Компетентный метролог». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022612457 от 19.01.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

7. Олейник В. Ю., Соляник А. И., Соляник С.А., Ильзит В. Е., Барина М.Г. Электронный учебно-методический комплекс «Мобильное приложение «РСТ Метрология». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022619378 от 20.05.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

8. Соляник А.И., Барина М.Г., Олейник В.Ю. Электронный учебно-методический комплекс «Уровнемер ультразвуковой МПУ – УР 01.007. Методика поверки». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2021681682 от 24.12.21.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

9. Барина М.Г., Ильзит В. Е., Олейник В. Ю., Соляник А. И., Соляник С.А. Электронный учебно-методический комплекс «Локомотивный скоростемер. Методика поверки». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022617605 от 25.04.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

10. Филимонов И.С., Аленичев М.К., Юшина А.А., Соляник А.И., Барина М.Г. Электронный учебно-методический комплекс «Спектрофотометр-флуориметр СФФ-2 ФЛУОРАН. Методика поверки». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022683499 от 05.12.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

11. Соляник А. И., Соляник С.А., Ильзит В. Е., Олейник В. Ю., Барина М.Г. Электронный учебно-методический комплекс «Осциллограф цифровой АКПП 4115/4А. Методика поверки». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022685332 от 22.12.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

12. Соляник А. И., Соляник С.А., Ильзит В. Е., Олейник В. Ю., Барина М.Г. Электронный учебно-методический комплекс «Дефектоскоп ультразвуковой УД2-70. Методика поверки». Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2022685230 от 22.12.22.г., Открытый реестр программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности.

# ОСОБЕННОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ АККРЕДИТАЦИИ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ СЛУЖБАМИ

**А.В. Бацаров**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ульяновской области»  
(ФБУ «Ульяновский ЦСМ»),  
Ульяновск, Российская Федерация,  
abatsarov@ulcsm.ru

## **Аннотация**

*Человек на протяжении своей жизни проходит через многие испытания и проверки. Для метрологов процедуры аккредитации и подтверждения компетентности являются своего рода экзаменами. При их неудовлетворительных результатах последствия для конкретного метролога, а также для всей метрологической службы могут быть очень серьёзными. Несомненно, этого лучше избежать и профессионально и компетентно представить себя и свою организацию перед экспертной группой.*

**Ключевые слова:** аккредитация, подтверждение компетентности, поверка, эксперт, метрологическая служба

Речь пойдет большей частью про соблюдение критериев аккредитации метрологическими службами, выполняющими работы и (или) оказывающих услуги по обеспечению единства измерений в сфере государственного регулирования по поверке средств измерений. Приказом № 707 от 26.10.2020 Минэкономразвития РФ утверждены критерии аккредитации и перечень документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации. По опыту участия в комиссиях по проведению процедур аккредитации и подтверждения компетентности в качестве технического эксперта могу сказать, что характер выявленных несоответствий критериям аккредитации единообразен.

Достаточно часто поверку выполняют сотрудники, имеющие и дополнительное образование по метрологии, и прошедшие повышение квалификации, но не имеющие как такового профессионального образования, а лишь среднее общее образование. В соответствии с критериями аккредитации такие сотрудники не имеют права выполнять поверку. Ещё хотелось бы обратить внимание на то, что стаж работы должен быть не менее одного года по каждому виду измерений для проведения поверки СИ.

Также несоответствия выявляются при проверке области аккредитации метрологической службы. Частые ошибки здесь это отсутствие эталонов с требуемой точностью и диапазоном для поверки СИ. И формирование области аккредитации по возможностям эталона, а не по метрологическим характеристикам средств измерений (СИ) из их описаний типа. Важный критерий аккредитации – это наличие навыков и профессиональных знаний сотрудников для выполнения работ. Часто поверители при демонстрации своей работы перед экспертной группой допускают определённые неточности: неправильно идентифицируют СИ по Госреестру СИ; ошибаются с выбором методики поверки; ошибаются с выбором средств поверки, не проверяют их пригодность (наличие действующих свидетельств об аттестации эталонов, свидетельств о поверке); пропускают подготовку к поверке или даже некоторые пункты методики поверки; не пользуются технической документацией; ведут неучтённые записи данных; ошибаются с выбором методики поверки.

Стоит обратить внимание на то, что экспертная комиссия должна посетить все места осуществления деятельности метрологической службы и проверить наличие всего оборудования, используемого для поверки. С этим возникают проблемы, если метрологическая служба взяла оборудование в аренду, а это стационарное оборудование находится не по месту осуществления деятельности.

Метрология – это точная наука, которая не приемлет двойных стандартов. Работа метрологов и работа экспертов по аккредитации основывается на чётком и однозначном соблюдении нормативных правовых актов и документов. Если эксперт обнаруживает несоответствие в деятельности метрологической службы, он всегда его обосновывает ссылкой на конкретный документ. И метрологическая служба при несогласии с выводами экспертной группы, тоже должна выражать свою позицию исходя из нормативных правовых актов и документов, устанавливающих требования к работам (услугам) по обеспечению единства измерений.



## Литература

1. Постановление Правительства РФ от 23 сентября 2010 г. N 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» (с изменениями и дополнениями).
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. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102 ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями и дополнениями).
4. ГСИ. Кодификатор групп средств измерений МИ 2314-2006.
5. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
6. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. N 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».

# ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИСПЫТАНИЯМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ОТ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА

М.П. Богданов, Л.А. Конопелько

ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
bogdanov@ooo-monitoring.ru

## **Аннотация**

*В настоящее время на российском рынке существует потребность в оборудовании, отвечающем требованиям национальных, межгосударственных и современных международных стандартов. Используемое в России оборудование не позволяет испытывать средства индивидуальной защиты органов дыхания (далее СИЗОД) от монооксида углерода по международным стандартам.*

**Ключевые слова:** средства индивидуальной защиты органов дыхания, время защитного действия, метрологическое обеспечение испытаний, испытательная лаборатория

Существенное системное различие в оценке эффективности СИЗОД для защиты от монооксида углерода в рамках Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) и Международной организации по стандартизации (ISO) приводит к тому, что в области СИЗОД от монооксида углерода действуют сразу несколько стандартов, различающихся помимо регламентируемой номенклатуры и требований еще и методиками испытаний, применяющимися для оценки эффективности таких СИЗОД.

На сегодняшний день различие в методиках повлекли за собой применения комплексов аппаратуры и испытательного оборудования, которые имеют существенный ряд недостатков. К основным недостаткам можно отнести: высокую погрешность/неопределенность измерений, низкую степень автоматизации, отсутствие универсализма (предназначены для проведения испытаний/измерений по одной-двум конкретным методикам), узкие диапазоны создаваемых концентраций и расходов газовой смеси, отсутствие возможности проведения испытаний некоторых СИЗОД современных типов.

В настоящее время проводится работа по созданию автоматизированного комплекса аппаратуры для проведения испытаний фильтров/СИЗОД по показателю времени защитного действия от монооксида углерода. Основные требования к разрабатываемому комплексу аппаратуры должны обеспечить высокую точность, универсальность, а также высокую степень автоматизации измерений. Комплекс аппаратуры должен обеспечивать широкий диапазон создаваемых концентраций газовой смеси от 0,1 % до 1 % объемных для синусоидального и постоянного воздушных потоков, а также обеспечивать измерение содержания монооксида углерода в диапазоне значений от 5 до 10.000 ppm. Комплекс аппаратуры должен автоматически поддерживать заданные условия испытаний: широкий диапазон относительной влажности газовой смеси от 45 % до 95 % при диапазоне температур от 16 °С до 32 °С. При этом должны поддерживаться два режима работы: подача газовой смеси с постоянным расходом и синусоидальный с двумя опциональными режимами работы на фазе выдоха. Разрабатываемый комплекс аппаратуры должен обеспечивать проведение измерений с высокой точностью и низкой неопределенностью, соответствующими требованиям гармонизированных международных стандартов. Результаты измерений должны обрабатываться в автоматическом режиме непрерывно, с последующим формированием протокола испытаний. Комплекс аппаратуры должен обеспечивать проведение испытаний СИЗОД различных конструкций, в том числе и СИЗОД с принудительной подачей воздуха, для которых характерны значительные расходы воздушного потока – свыше 100 дм<sup>3</sup>/мин.

Комплекс аппаратуры позволит оснастить испытательные лаборатории единым универсальным комплектом оборудования, что будет способствовать повышению достоверности (объективности) оценки защитной эффективности СИЗОД, упростит процесс разработки новых типов СИЗОД, снизит затраты изготовителей на разработку новой продукции, а также впоследствии приведет к повышению качества выпускаемой продукции и повышению безопасности пользователей СИЗ.

## **Литература**

1. Технический регламент Таможенного союза 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты».

2. ГОСТ ISO 16900-4-2020. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Методы испытаний и испытательное оборудование. Часть 4. Определение сорбционной емкости, устойчивости к внутренней диффузии/десорбции противогазовых и комбинированных фильтров на постоянном воздушном потоке и времени защитного действия фильтров для защиты от монооксида углерода на синусоидальном воздушном потоке. – Введен 01.10.2021. – Москва: Стандартинформ; 2020. – 26 с.

# РОЛЬ ПОСТАВЩИКОВ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ НЕСООТВЕТСТВИЙ ТРЕБОВАНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ УЧЕТЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА

П.В. Богданов

ООО «Газпром межрегионгаз инжиниринг»

## **Аннотация**

*Роль поставщиков энергоресурсов при выявлении несоответствий требованиям нормативных правовых актов (далее – НПА) в области обеспечения единства измерений при учете природного газа в рамках обеспечения эффективного функционирования энергетической отрасли и защиты интересов всех участников рынка неопределима. Автором рассмотрены основные методы и примеры выявления несоответствий НПА, их влияние на достоверность учета расхода газа, предложены инновационные методы выявления несоответствий НПА.*

**Ключевые слова:** узлы измерения расхода газа, учет газа, искусственный интеллект

Обеспечение единства измерений при учете природного газа является критически важным аспектом для прозрачности, точности и справедливости в энергетической отрасли.

Поставщики энергоресурсов играют ключевую роль в обнаружении и предотвращении несоответствий требованиям НПА в сфере единства измерений. Они имеют доступ к первичной информации о потреблении газа и применяемом измерительном оборудовании, что позволяет:

- выявлять аномалии и несоответствия, в том числе выявление и исключение неза заводских (контрафактных) средств измерений (далее – СИ) из коммерческих взаиморасчетов;
- формировать предложения по защите информации в отчетах о расходе газа и архивах вторичных СИ узлов измерений расхода газа (далее – УИРГ) (корректоры/вычислители);
- осуществлять анализ данных телеметрии УИРГ, как инструмент контроля СИ и исполнения требований НПА в области обеспечения единства измерений.

Помимо этого, в случаях тесного взаимодействия поставщиков энергоресурсов с регулирующими органами и заводами-изготовителями позволяет обеспечить оперативный обмен информацией о возможных недостатках СИ и/или вмешательствах, а также предоставлять необходимую информацию и поддержку конечным потребителям газа.

В докладе описаны способы определения контрафактных счетчиков газа методами считывания QR-, штрих – или DataMatrix кода специальным приложением. По результатам сканирования и анализа более 500 СИ выявлена закономерность контрафактов и признаки, по которым они могут быть выявлены по фотоматериалам без непосредственного присутствия представителя поставщика газа на объекте газопотребления. Вероятность наступления случая выявления контрафактного счетчика по заданным критериям составляет не менее 80 %, в том числе факт неза заводского исполнения подтвержден заводами-изготовителями.

В целях осуществления контроля за корректностью работы СИ и соблюдения их метрологических характеристик предлагается применение искусственного интеллекта (ИИ) при обработке данных телеметрии. Также проверку на контрафакт предлагается осуществлять при предоставлении потребителями данных о потреблении посредством прикрепления фото СИ с показаниями в личный кабинет поставщика.

По результатам обработки данных телеметрии искусственным интеллектом (далее – ИИ) метрологами поставщика осуществляется выезд на объекты для контроля метрологических характеристик и соответствия приборов описанию типа. На основании анализа фотоматериалов ИИ определяет соответствие СИ описанию типа (места расположения пломб поверителя), наличие действующей поверки (сопоставление с данными ФГИС АРШИН). По результатам обработки указанной информации ИИ формирует перечень объектов, рекомендованных проверке.

## **Литература**

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Правила поставки газа, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 05.02.1998 № 162.
3. Порядок утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них утвержденный приказом от 28.08.2020 № 2905.
4. Руководство по эксплуатации «Диафрагменные счетчики газа ВК-G1,6-G25».
5. Программное обеспечение «ВК Skan» разработанное производителем газоизмерительного оборудования ООО «Эльстер Газэлектроника».

# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ И МАССОВОЙ ДОЛИ ЭЛЕМЕНТОВ В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЯХ

А.С. Васильев

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, Россия  
Researcher ID: AAR-9084-2021, ORCID: 0000-0002-6853-205X

## **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы создания стандартных образцов параметров многокомпонентных покрытий для совершенствования метрологического обеспечения измерений поверхностной плотности, толщины и массовой доли элементов в покрытиях.*

**Ключевые слова:** *поверхностная плотность покрытий, многокомпонентные покрытия, стандартные образцы, химический состав покрытий*

Для удовлетворения потребностей промышленности в области контроля параметров покрытий требуется разработать комплекс стандартных образцов, учитывая многообразие измерительных задач, которые постоянно расширяются. Проведенный анализ состояния измерений параметров покрытий показал, что наметилась тенденция к созданию приборов, позволяющих выполнять измерения не только однокомпонентных, но и двухкомпонентных покрытий.

В качестве материала основания стандартных образцов были использованы диски из меди диаметром 39 мм и высотой 7 мм. Двухкомпонентное покрытие на диски было нанесено из сплава олово-висмут (с содержанием олова не менее 99,5 % и висмута не более 0,5 %) способом катодного восстановления по ГОСТ 9.305-84 [1]. В одинаковых условиях были изготовлены 4 комплекта исходного материала стандартных образцов с толщиной покрытия от 3 до 20 мкм.

Исследования стандартных образцов проводились на государственном первичном эталоне единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях ГЭТ 168-2015 [2] и государственном вторичном эталоне единиц массовой доли и массовой (молярной) концентрации металлов в жидких и твердых веществах и материалах ГВЭТ 196-1-2012 [3].

Первоначально были проведены измерения на ГЭТ 168-2015 всех образцов для оценки неоднородности поверхностной плотности и толщины покрытия на всей рабочей площади образцов. На ГЭТ 168-2015 проводились измерения интенсивности пиков олова и висмута, чтобы в дальнейшем рассчитать коэффициенты влияния с учетом возможных матричных эффектов.

Оловянно-висмутовое покрытие является сравнительно мягким, поэтому после завершения измерений с рабочей стороны одного из наборов материала СО механическим способом было удалено покрытие. Покрытие с рабочей стороны было удалено полностью, что было подтверждено отсутствием пиков олова и висмута при повторном измерении на ГЭТ 168-2015.

В результате измерения полученной стружки на ГВЭТ 196-1-2012 получены значения массовой доли олова и висмута в покрытии. Значения толщины и массовой доли элементов образцов-свидетелей отличались от значений этих характеристик оставшихся образцов не более, чем на 10 %, что позволило исключить матричные эффекты при передаче единиц поверхностной плотности, толщины и массовой доли элементов в покрытиях.

Измерения параметров покрытий на ГЭТ 168-2015 проводились с локальностью 0,6 мм<sup>2</sup>, что позволило оценить неоднородность характеристик покрытий и учесть их в погрешности и неопределенности аттестованных значений стандартных образцов.

По результатам испытаний были утверждены ГСО 11156-2018/ГСО 11159-2018 со значениями поверхностной плотности покрытия в диапазоне от 21,2 до 128,5 г/м<sup>2</sup>, толщины покрытия от 2,91 до 17,6 мкм, массовой доли олова в покрытии от 98,19 % до 98,77 %, массовой доли висмута в покрытии от 1,23 % до 1,81 % [4].

Внешний вид набора ГСО 11156-2018/ГСО 11159-2018 приведен на рисунке 1.



Рис. 1 – Внешний вид набора ГСО 11156-2018/ГСО 11159-2018

Проведенные исследования подтвердили возможность создания стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов в двухкомпонентных однослойных покрытиях для метрологического обеспечения потребностей изготовителей гальванических покрытий.

#### **Литература**

1. ГОСТ 9.305-84 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий // М.: ИПК Издательство стандартов, 2000
2. В.В. Казанцев и др. Государственный первичный эталон единиц поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях ГЭТ 168-2015 // Измерительная техника, 2018, № 8, с. 17
3. Горбунова Е.М. и др. Государственный вторичный эталон единиц массовой доли и массовой (молярной) концентрации металлов в жидких и твердых веществах и материалах // Измерительная техника, 2013, № 7, С. 11-13.
4. ГСО 11156-2018/ГСО 11159-2018 СО состава, поверхностной плотности, толщины олово-висмутового покрытия на меди (СО УНИИМ ППТМ-ОВ/М-1) // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: официальный сайт. 2018. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/493162> (дата обращения: 22.04.2024).

# ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МЕСТАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.Н. Вешев, П.К. Сергеев

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

## **Аннотация**

*В данной работе описаны опыт, задачи и особенности поверки средств измерений (СИ) метеорологического назначения в лабораторных условиях и в условиях эксплуатации. Представлены результаты работы по обеспечению проведения поверки метеорологического оборудования в местах эксплуатации.*

**Ключевые слова:** метеорологические станции, выездная поверка, поверка на месте эксплуатации, разработка комплексов поверочных портативных, испытания в целях утверждения типа, единство измерений, импортозамещение

В связи с особенностями эксплуатации средств измерений, применяемых в области метеорологии вопрос поверки таких СИ на месте эксплуатации стоит довольно остро. Несмотря на то, что поверка в лабораторных условиях обеспечивает необходимый уровень метрологического обеспечения метеорологического оборудования, такая поверка на практике не всегда приемлема. Это связано с необходимостью непрерывного функционирования СИ метеорологического назначения (аэропорты, вертолетные площадки, заводы и другие объекты), удаленностью метеорологического оборудования от поверочных лабораторий (станции в труднодоступных местах) и другими особенностями. Поверка в лабораторных условиях подразумевает демонтаж и транспортировку СИ в лабораторию, что иногда приводит к тому, что СИ выводится из эксплуатации на срок от одного до нескольких месяцев, и на этот срок приходится приобретать второй комплект таких же СИ, что добавляет дополнительные денежные затраты. Кроме того, в некоторых случаях демонтаж СИ в целях проведения поверки не допустим в принципе (например, когда по требованиям НД после демонтажа-монтажа необходимо проводить внеочередную поверку).

Средства метеорологического назначения включают в себя следующие основные виды измерений: температура воздуха, температура грунта, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость воздушного потока, направление воздушного потока, высота нижней границы облаков (ВНГО), метеорологическая оптическая дальность (МОД), количества и интенсивности осадков и др.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» работает более 20 лет в этой области. За это время были разработаны рекомендации для производителей эталонов; рекомендации для производителей СИ, и рекомендации для потребителей. Данные рекомендации были учтены, в результате чего появились мобильные поверочные комплексы и эталонные СИ, разработаны методики поверок и появились метеорологические станции, которые позволяют проводить поверку на месте эксплуатации.

## **Литература**

1. 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.fgyrvniir.local/docs/>.
2. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. Приказ от 31 июля 2020 года N 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2020 г. № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
4. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. Приказ от 28 августа 2020 года N 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».



# МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОННОГО ЭТАЛОНИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СЛОЖНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

К.А. Вотяков<sup>1</sup>, В.П. Назаров<sup>2</sup>, В.Е. Княгинин<sup>1</sup>, М.В. Карабонцева<sup>1</sup>, Н.В. Брижинская<sup>1</sup>

3. Акционерное общество «Красноярский машиностроительный завод»  
(АО «Красмаш»)

4. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика  
М. Ф. Решетнева (СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева)  
Красноярск, Российская Федерация  
Kirillvotyakov\_96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3964-9184>

## **Аннотация**

*Изготовление и монтаж трубопроводов двигателей летательных аппаратов является сложной технологической задачей, связанной с размещением магистралей в ограниченном пространстве по причине плотной компоновки двигателя. В настоящее время данная задача требует большого количества ручного труда и не гарантирует обеспечение оптимальной конфигурации и надлежащего качества продукции.*

*В статье предлагается решение по автоматизации процесса изготовления трубопроводов, направленное на повышение производительности и качества выпускаемой продукции.*

**Ключевые слова:** производство, координатно-измерительная машина, автоматизация, жидкостный ракетный двигатель, шаблон

Трубопроводные системы двигателей летательных аппаратов (ДЛА) являются сложными объектами производства в части их проектирования, изготовления, монтажа и контроля. Сложность связана со спецификой плотной компоновки магистралей трубопроводов в ограниченных пространствах. В связи с этим, трубопроводы имеют следующие конструктивные особенности [1]:

- отсутствие или незначительное число прямолинейных участков;
- колебание конечных координат стыковки трубопровода к элементам ДЛА;
- значительный ассортимент применяемых труб.

К трубопроводам предъявляются высокие требования по прочности, жесткости, герметичности, коррозионной стойкости, а также по геометрической точности и состоянию поверхности. В соответствии с заданными нагрузками и условиями эксплуатации основными материалами для изготовления трубопроводов являются, коррозионностойкие жаропрочные сплавы и другие материалы с высокими физико-механическими характеристиками.

В настоящее время многие предприятия ракетно-космической промышленности при серийном производстве ДЛА применяют метод эталонирования трубопроводов. В качестве эталонов для изготовления и приёмки трубопровода используются особый трубопровод и шаблон. При проектировании изделий инженеры работают с физическими образцами, примеряя их на макете изделия, а по результатам вносят корректировки в конструкторскую документацию (КД). Изготовление трубопроводов с таким подходом требует организации участка для хранения эталонов, проведения работ по поверке и ремонту эталонов и шаблонов, изготовлению контрольной и рабочей оснастки, что не обеспечивает сокращения циклов разработки и постановки на производство перспективных ДЛА, а также не соответствует современным мировым тенденциям [3].

Эталонные трубопроводы необходимо изготавливать из прочного материала для сохранения конфигурации при эксплуатации в цеховых условиях [2].

Существующее применение эталонов в качестве основы для изготовления трубопроводов имеет ряд сложностей и недостатков:

- конструкторская документация в неполной мере определяет геометрию трубопровода, что соответственно требует наличие эталона трубопровода;
- высокая трудоемкость и сложность изготовления эталонов при внедрении в серийное производство;
- невозможность применения эталонов к машинной гибке без доработки конструкции;

- необходимость ручной доработки производимых изделий;
- необходимость использования больших площадей для хранения эталонов, макетов и других референтных элементов на производстве;
- высокая степень участия человеческого фактора в производстве [4].

Существует другой подход в производстве трубопроводов на основе электронного эталонирования. Такой эталон создается в специализированных программах САПР (CAD) и включает в себя всю технологическую информацию, достаточную для подготовки производства и серийного изготовления [5].

Внедрение данного метода в производство современных ДЛА имеет ряд преимуществ, основными из которых являются:

- ускорение технологической подготовки производства;
- упрощение подготовки программ для гибочных станков с ЧПУ;
- возможность использования координатно-измерительной машины (КИМ) с компьютерным управлением для контроля геометрии трубопроводов в сравнении с 3D-моделью вместо эталона;
- снижение трудоемкости производства каждого из трубопроводов и уменьшение количества сварных швов (при внедрении современных технологий машинной гибки и формообразования);
- освобождение площадей, занятых для хранения эталонов и рабочих шаблонов.

Вместе с тем переход от производства, основанного на «эталонном методе» к автоматизированному изготовлению требует решения ряда вопросов:

- отработка технологии снятия с эталонов 3D-моделей с помощью КИМ;
- адаптация геометрии трубопровода для повышения технологичности гибки с помощью станков с числовым программным управлением;
- внедрение системы электронного документооборота как внутри предприятия-изготовителя, так и между конструкторским бюро (разработчиком) и изготовителем.

**Алгоритм работы автоматизированной системы изготовления трубопроводов.** Исходные геометрические параметры и данные по конфигурации узла трубопровода можно получить двумя способами:

- измерив эталон-трубопровод с помощью современных КИМ (рис. 1). Данный способ наиболее подходит для внедрения системы на этапе серийного изготовления двигателей ЛА [7];
- получив геометрические параметры трубопровода из созданной конструктором 3D-модели двигателя (при этом необходимо корректировать координаты мест стыковки путем их измерения КИМ и внесения соответствующих изменений в 3D-модель) (рис. 2). Этот способ предназначен для внедрения автоматизированной системы на этапе отработки (освоения) производства современных изделий, поскольку они проектируются с применением 3D моделирования [8].



Рис. 1. Алгоритм работы системы (вариант 1)



Рис. 2. Алгоритм работы системы (вариант 2)

На следующем этапе необходимо создать управляющую программу (УП) для осуществления гибки трубы на станке с числовым программным управлением, для чего может использоваться специальное технологическое программное обеспечение. Затем данные управляющей программы необходимо внести в блок управления станка с ЧПУ для осуществления гибки трубы с последующим контролем конфигурации при помощи КИМ (путем сравнения исходной 3D-модели и данных, полученных в процессе измерения изготовленного трубопровода). В случае успешного прохождения операции контроля труба допускается в дальнейшую работу.

### Заключение

Предлагаемая методика позволяет выявить ключевые технологические процессы, для которых смена концепции «эталонного» производства трубопровода на «цифровое производство» имеет наибольшее влияние. К этим процессам, в первую очередь, относятся: гибка трубопровода, последующий контроль его геометрии, а также сборочно-сварочные операции [5]. Можно выделить основные достоинства технологии производства при использовании электронного эталонирования:

- Отказ от хранения эталонов и шаблонов трубопроводов и экономия производственных площадей;
- Возможность отрезки заготовок в точный размер, отказ от вспомогательных операций по отрезке и технологического припуска, экономия материала. Возможность автоматизированного расчета оптимального раскрытия длинномерных труб для минимизации числа обрезков;
- Снижение трудоемкости изготовления трубопроводов и ускорение цикла производства. Увеличение точности изготовления и повторяемости.
- Отказ от хранения контрольной оснастки. Возможность получать точные величины отклонений профиля изогнутой трубы от электронного эталона по каждому гибу и участку трубопровода.

### Литература

1. ОСТ 92-1600-84 Производство трубопроводов. Общие технические условия. Эталонирование трубопроводных систем, гибка труб и формообразование концов трубопроводов.
2. ОСТ 92-1601-84 Производство трубопроводов. Общие технические условия. Сборка, окраска, маркировка, очистка, контроль и монтаж трубопроводов.
3. Феоктистов С.И. и др. Теория и практика изготовления элементов трубопроводов летательных аппаратов // М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. Бюджетное образовательное учреждение высш. Проф. Образования «Комсомольский-на-Амуре гос. Технический ун-т». – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре гос. Технический ун-т, 2013. – 88 с.
4. Ярцев Е.Н., Назаров В.П., Теряев Н.С. Обеспечение качества ракетного двигателя путем внедрения автоматизированной системы изготовления и монтажа трубопроводов сложной конфигурации // Решетневские чтения: материалы XX Юбилейной междунар. Науч.-практ. Конф., посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (09–12 ноября 2016, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. Ред. Ю. Ю. Логинова; Сиб. Гос. Аэрокосмич. Ун-т. – Красноярск, 2016. – Ч. 1. – С. 205-206.
5. Catalucci S. et al. Measurement of complex freeform additively manufactured parts by structured light and photogrammetry. Measurement 164, 2020.
6. Петров Н.В. Перспективы применения цифровых технологий монтажа судового оборудования и трубопроводов // Судостроение. 2019. №6.
7. Михайлов В.С., Рябис Я.В., Цветкова М.М., Медведева В.Е. Применение высокоточных многофункциональных измерительных комплексов при изготовлении и монтаже труб в АО «ПО «СЕВМАШ» // Судостроение. 2020. №2.
8. Воронежский Е.В., Максимов О.В., Бреев Е.Ю. Применение цифровых технологий для изготовления трубопроводов обвязки ЖРД // ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ» 2021.

# РАЗРАБОТКА НОВОГО ПОДХОДА К КЛАССИФИКАЦИИ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.А. Виноградова, К.А. Доронина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»  
(Санкт-Петербургский горный университет),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID ID: 0000-0003-3084-3319, a.a\_vinogradova@mail.ru

## **Аннотация**

*В работе описаны способ повышения эффективности метрологического обеспечения неразрушающего контроля посредством разработки универсальной системы многопараметрической классификации средств и методов неразрушающего контроля с возможностью ее дальнейшей стандартизации и подходы к разработке типовой карточки прибора.*

**Ключевые слова:** *неразрушающий контроль, метрологическое обеспечение, система классификации, цифровая метрология, универсальный идентификатор, стандартизация*

В РФ классификация средств и методов в области неразрушающего контроля (НК) ограничена документом [1], а требования к метрологическому обеспечению (МО) НК регламентированы только в областях авиационного [2] и атомной энергетики [3].

В настоящее время возможности для разработки новых или актуализации советских стандартов в сфере НК ограничены [4,5]. Отсутствие единого подхода к классификации оборудования для НК привели к несогласованности требований к нормированию их технических и метрологических характеристик (ТХ и МХ).

Также в [6] не регламентированы требования к средствам НК, к их МХ и осуществляемым ими видам измерений. Значит, стандартные процедуры МО в отношении средств НК разработчики и владельцы проводят в добровольном порядке.

В силу своей формальности стандартные процедуры подтверждения соответствия МХ и ТХ средств НК для большого числа их типов не обеспечивают достоверность результатов их проведения и, более того, их применение зачастую противоречит практике промышленно развитых стран.

Такие возможности как однозначная идентификация конкретных средств измерений (СИ), автоматическая обработка информации о них и ведение реестра СИ неутвержденного типа во ФГИС «АРШИН» отсутствуют [7]. И заносить средства НК, включающие не только СИ, но и меры, вспомогательное и испытательное оборудование и пр., в данную информационную систему в качестве СИ утвержденных типов (УТ) не является совсем корректным.

Поэтому возникает необходимость в совершенствовании текущего состояния МО НК путем разработки современной системы многопараметрической классификации средств и методов НК, учитывающей вид, назначение и сферу применения оборудования, а также его ТХ и МХ в рабочих условиях эксплуатации. Ведение аналогичных разработок зарубежом [8] подтверждают актуальность этого решения.

Для разработки такого классификатора были проведены:

- анализ и систематизация данных о СИ УТ в сфере НК, содержащихся во ФГИС «АРШИН»;
- анализ сайтов изготовителей средств НК для выявления типов средств НК неутвержденного типа;
- анализ действующих национальных и межгосударственных и отраслевых стандартов в области НК;
- формирование структуры классификатора средств НК и системы кодирования выделенных классификационных признаков (рис. 1) с применением правил стандартизации [9].

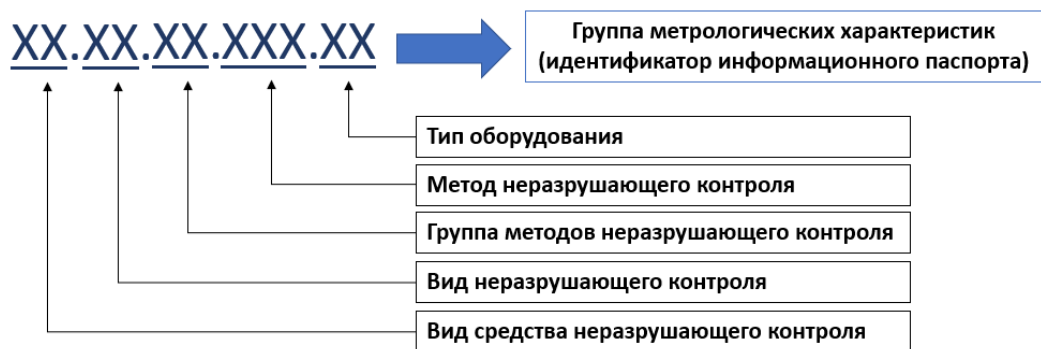


Рис. 1. Предлагаемый способ кодирования классификационных признаков средств НК (составлено авторами)

Код средства НК является индивидуальным идентификатором иерархически структурированного набора ТХ и МХ конкретного прибора (информационного паспорта) и в совокупности со способом кодирования, регламентированным в [10], может обеспечить корректный выбор методов и средств МО и аттестации средств НК.

Таким образом, данная разработка открывает возможности для создания отдельного реестра и общероссийского классификатора средств НК, универсальной информационной системы для их поиска потребителями, а также актуализации системы стандартов на отдельные виды оборудования НК.

#### Литература

1. ГОСТ Р 56542-2019 Контроль неразрушающий – Классификация видов и методов. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.
2. ОСТ 1 02765-96 Отраслевая система обеспечения единства измерений – Метрологическое обеспечение неразрушающего контроля. Основные положения. 1996. 69 с. Текст: непосредственный.
3. ГОСТ Р 50.05.16-2018 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля – Неразрушающий контроль. Метрологическое обеспечение. М.: Стандартинформ, 2018. 18 с.
4. Gogolinskiy K. V., Syasko V. A. Metrological assurance and standardization of advanced tools and technologies for nondestructive testing and condition monitoring (NDT4. 0) //Research in Nondestructive Evaluation. 2020. Т. 31, N 5-6. С. 325-339. <https://doi.org/10.1080/09349847.2020.1841863>
5. Гоголинский К. В., Сясько В. А. Современное состояние и проблемы законодательного регулирования, метрологического обеспечения и стандартизации в области неразрушающего контроля // Законодательная и прикладная метрология, 2019. N 4. С. 15-21.
6. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: Постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2020 № 1847 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566385039> (дата обращения: 16.04.2024).
7. Попов А. А. Цифровизация обеспечения метрологической прослеживаемости средств измерений и стандартных образцов через облачные технологии: современное состояние и перспективы развития // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 3. С. 57–70.
8. R. Chaisricharoen, W. Srimaharaj, S. Chaising and K. Pamanee Classification Approach for Industry Standards Categorization // 2022 joint international conference on digital arts, media and technology with ECTI northern section conference on electrical, electronics, computer and telecommunications engineering (ECTI DAMT & NCON). IEEE, 2022. С. 308-313. <https://doi.org/10.1109/ectidamtncon53731.2022.9720348>
9. ПР 50.1.024–2005 Правила стандартизации – Основные положения и порядок проведения работ по разработке, ведению и применению общероссийских классификаторов. М.: Стандартинформ, 2006. 34 с.
10. МИ 2314-2006 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений – Кодификатор групп средств измерений. М.: Стандартинформ, 2006. 190 с.

# РАЗРАБОТКА ВТОРИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ НА БАЗЕ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЕРКИ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 100 ДО 1000 мм

**В.Е. Георгобиани**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Свердловской области» (ФБУ «Уралтест»),  
Екатеринбург, Российская Федерация  
gve@uraltest.ru

## **Аннотация**

*В докладе рассматриваются подходы к выбору математической модели расчета длины концевых мер длины (далее – КМД) и оценке составляющих погрешности измерений которые будут соответствовать требованиям ко вторичному эталону согласно Государственной поверочной схеме (далее – ГПС) для средств измерений длины. Соответственно этому, рассматриваются различные варианты реализации лазерной интерференционной установки для поверки КМД.*

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение в области передачи единицы длины, интерферометрия, лазерный интерферометр, концевая мера длины, вторичный эталон единицы длины

Одними из самых распространенных эталонов для хранения и передачи единицы длины с начала XX века являются КМД. Согласно действующей ГПС, они предусмотрены для поверки как высокоточных средств измерений длины (длиномеров, интерферометров, измерительных преобразователей), так и самого ходового рабочего инструмента (микрометров, штангенинструмента и т.д.). Передача единицы предусматривается от Государственного первичного эталона к рабочим эталонам через вторичные эталоны двух диапазонов: от 0,1 до 100 мм и от 100 до 1000 мм, и проблема заключается в отсутствии вторичных эталонов в диапазоне от 100 до 1000 мм, что сильно повышает нагрузку на Государственный первичный эталон.

Целью работы по разработке вторичного эталона единицы длины является повышение эффективности метрологического обеспечения в области передачи единицы длины за счет совершенствования абсолютного интерференционного метода измерений, разработки установки для поверки КМД на базе лазерного интерферометра, разработки методики и автоматизации процедур поверки.

В докладе представляются основные методы измерений длины КМД абсолютным интерференционным методом: метод измерения дробного порядка интерференции и вычисления длины путем совпадения порядков интерференции в различных длинах волн излучения, метод измерений перемещений путем счета интерференционных полос и сравнения разницы частот лучей с разной поляризацией в гомодинных и гетеродинных лазерных интерферометрах.

Так же в докладе рассматриваются различные варианты лазерной интерференционной установки для поверки КМД, реализующие соответствующие абсолютные интерференционные методы измерений длины и присущие им преимущества и недостатки, возможности по автоматизации процесса поверки.

Представлены основные составляющие погрешности и варианты их учета и компенсации, необходимые для возможности достижения установкой уровня точности вторичного эталона.

## **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: приказ № 2840. Утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 29.12.2018 г.
2. ГОСТ 8.367-79. Государственная система обеспечения единства измерений. Меры длины концевые плоскопараллельные образцовые 1 и 2-го разрядов и рабочие классов точности 00 и 0 длиной до 1000 мм. Методы и средства поверки.
3. Захарьевский А.Н Интерферометры. М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1952. 296 с.
4. Воробьев П.Г., Керносов М.Ю., Кондрахин А.А., Мельничук Г.В., Чуляева Е.Г. Малогабаритный высококогерентный He-Ne лазер для прецизионных измерений // Международная научно-практическая конференция «Инновации в науке, производстве и образовании» сб. труд. Рязань, 14-16 октября 2013 г. / Рязань: РГУ им. С.А. Есенина, 2013. С. 109-111.

5. Kanokporn Kohmun, Monluddee Ranusawud, Prathan Buranasiri Length Measurement of Long Gauge Blocks by Interferometer // American Journal of Applied Sciences Vol. 17(1) 2020. P. 196-203.
6. Michal Wengierow, Leszek Salbut, Zbigniew Ramotowski, Robert Szumski, Ksawery Szykiedans Measurement system based on multi-wavelength interferometry for long gauge block calibration // Metrology and Measurement Systems Vol. XX 2013. P. 479–490
7. Niveen Farid Automated Contactless Gauge Block Interferometer // Journal of Physical Science Vol. 28(1) 2017. P. 87-98
8. Kuriyama Y., Yokoyama Y., Ishii Y., Ishikawa J., Makino H. Development of a new interferometric measurementsystem for determining the main characteristics of gaugeblocks // CIRP Annals Vol. 55 (1) 2006. P. 563-566.

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ. ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Н.П. Горбачев, В.Н. Глотов

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром добыча Астрахань» (ООО  
«Газпром добыча Астрахань»),  
Астрахань, Российская Федерация  
temporary\_nikita@mail.ru, viktorg.gda@mail.ru

## *Аннотация*

*В докладе рассмотрена проблема подтверждения работоспособности средств измерений с сохранением метрологических характеристик в условиях присутствия сероводорода как в измеряемой, так и в окружающей средах. Авторами описан опыт поиска аналогов массовых расходомеров на Астраханском газоконденсатном месторождении*

*Ключевые слова:* импортозамещение, опытно-промышленная эксплуатация, Астраханское газоконденсатное месторождение, массовый расходомер, сероводород

Актуальность проведения опытно-промышленной эксплуатации (ОПЭ) на Астраханском газоконденсатном месторождении (АГКМ) вновь вводимого оборудования, в том числе средств измерения (СИ), обусловлена спецификой добываемого углеводородного сырья с высоким содержанием сероводорода – крайне агрессивной составляющей газожидкостной смеси. По этой причине, например, чувствительные элементы СИ должны быть выполнены из материала, соответствующего требованиям стандартов ANSI NACE MR0175 ISO 15156 [1-3] и разработанного на основе этих стандартов для АГКМ РТМ 311.001-90 [4], регламентирующие требования к материалам, контактирующих с средой, содержащей сероводород и углекислый газ.

Однако, опыт эксплуатации СИ показал, что даже специальное покрытие плат не всегда защищает оборудование от воздействия сероводорода. Поэтому при каждом поиске СИ, особенно при импортозамещении массовых расходомеров на контрольном сепараторе (КС), необходимо учитывать эти ограничения.

Трёхфазный контрольный сепаратор (КС) на установке предварительной подготовки газа предназначен для проведения газодинамических и газоконденсатных исследований эксплуатационных скважин АГКМ с целью оценки содержания в добываемом углеводородном сырье воды, конденсата, газа и общего дебита. В состав КС входят массовые расходомеры на линиях воды и конденсата. Применение массовых расходомеров на КС позволяет получать не только значение мгновенного массового расхода, но и значение мгновенной плотности среды, что повышает качество проводимых исследований и качество процесса регулирования в целом.

Поиск аналогов импортным устройствам выявил заинтересованность производителей в разработке подходящих СИ. Вместе с одним из производителей были исследованы возможности ультразвуковой технологии измерений, позволяющей исключить контакт с агрессивной средой. Однако, неоднородность среды и газовые включения сделали невозможным использование этой технологии из-за высокой погрешности, превышающей нормы СТО Газпром 5.3-2020 [5].

Многие производители предлагают серийно выпускаемые кориолисовые расходомеры. Однако, в технической документации на предлагаемые СИ отсутствует информация, прямо указывающая на возможность эксплуатации в условиях с повышенным содержанием агрессивных компонентов. Ряд изготовителей, декларируя соответствие изготавливаемых СИ требованиям РТМ 311.001-90, не предоставляют материалы испытаний. В то же время в технической и эксплуатационной документации, включая маркировку СИ, отсутствует ссылка на исполнение оборудования с учетом защиты от воздействия агрессивных сред. Программы приемо-сдаточных, приемочных, ресурсных испытаний не отражают исследование работоспособности СИ с сохранением метрологических характеристик в условиях присутствия сероводорода.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для подтверждения работоспособности и обеспечения безопасной эксплуатации на АГКМ проведение ОПЭ средств измерения крайне необходимо.



## Литература

1. ANSI NACE MR0175/ISO 15156-1 Petroleum and natural gas industries – Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production. Part 1: General principles for selection of cracking-resistant materials / Промышленность нефтяная и газовая – Материалы для использования в средах, содержащих сероводород, при нефте- и газодобыче. Часть 1. Общие принципы выбора материалов, стойких к растрескиванию. Режим доступа: ограниченный.
2. ANSI NACE MR0175/ISO 15156-2 Petroleum and natural gas industries – Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production. Part 2: Cracking-resistant carbon and low-alloy steels, and the use of cast irons / Промышленность нефтяная и газовая – Материалы для использования в средах, содержащих сероводород, при нефте- и газодобыче. Часть 2. Углеродистые и низколегированные стали, стойкие к растрескиванию, и применение чугуна. Режим доступа: ограниченный.
3. ANSI NACE MR0175/ISO 15156-3 Petroleum and natural gas industries – Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production. Part 3: Cracking-resistant CRAs (corrosion-resistant alloys) and other alloys / Промышленность нефтяная и газовая – Материалы для использования в средах, содержащих сероводород, при нефте- и газодобыче. Часть 3. Устойчивые к растрескиванию CRA (коррозионно-стойкие сплавы) и другие сплавы. Режим доступа: ограниченный.
4. РТМ 311.001-90 Приборы для установок добычи и переработки природного газа и нефти, содержащих сероводород и углекислый газ. Требования к материалам приборов и условиям эксплуатации. Режим доступа: ограниченный.
5. СТО Газпром 5.3-2020. Обеспечение единства измерений. Расход и количество жидких углеводородных сред. Технические требования к узлам измерений. Режим доступа: ограниченный.
6. Родин М.Ю., Шириев А.Р., Жигайлова Н.И. Особенности эксплуатации средств измерений в условиях с повышенным содержанием агрессивных компонентов // Газовая промышленность. 2019. N S2(786). С. 136–139.
7. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Ершова О.В., Мишурина О.А. Исследование факторов, влияющих на коррозию электрооборудования, эксплуатируемого в условиях агрессивной окружающей среды // Современные проблемы науки и образования. 2014. N 2. С. 141. <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12987>
8. Рогожин С.С. Риски импортозамещения // Информатизация и системы управления в промышленности. 2023. N 3(105). С. 24–29.
9. Шахматова Е.К. Проблема коррозии в аспекте автоматизации // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 08–09 декабря 2022 г. / Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. С. 61–65.
10. Моисеева Л.С. Комплекс мер по повышению безопасности на нефтегазовых предприятиях, добывающих, перерабатывающих и транспортирующих сероводородсодержащую продукцию Часть I. Коррозионно-механическое воздействие сероводородсодержащих сред на стальное оборудование. Выбор конструкционных сталей и коррозионно-стойких сплавов для нефтегазового оборудования // Практика противокоррозионной защиты. 2021. Т. 26, N 2. С. 32-53.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИК КАЛИБРОВКИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

**А.И. Дегтярев**

ООО «Газпром трансгаз Ухта»,  
Ухта, Российская Федерация,  
artik1901@mail.ru

## ***Аннотация***

*Разработка методики калибровки в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению», с целью повышения оптимизации процедуры калибровки средств измерения на предприятии на примере каналов измерительных.*

**Ключевые слова:** метрология, методика калибровки, каналы измерительные, средство измерений, измерительные системы, точность

ООО «Газпром трансгаз Ухта» (далее – Общество) осуществляет деятельность в области транспорта природного газа. В эксплуатации Общества находится более 200000 средств измерений (далее – СИ) и более 100000 каналов измерительных (далее – КИ). Общество аккредитовано на право калибровки средств измерений центральным органом Системы калибровки средств измерений ПАО «Газпром» в соответствии с п. 8.7 СТО Газпром 5.80-2019 «Положение о системе калибровки средств измерений ПАО «Газпром». В область аккредитации групп метрологического обеспечения входит среди прочих элементы измерительных систем.

Пригодность к работе каналов измерительных (далее – КИ) требует метрологического подтверждения. Однако не все КИ, по различным причинам, попадают в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерения, что в большинстве случаев лишает их возможности проведения процедуры поверки. Обеспечить метрологическую прослеживаемость и достоверность представляемых результатов для таких КИ возможно при калибровке. Нормативная база Общества позволяет использовать методики поверки (далее – МП) при выполнении калибровки, но требования МП не всегда целесообразны для технологических процессов Общества. Таким образом разработка и верификация единой методической основы в единый структурированный документ позволит унифицировать и оптимизировать операции калибровки разнообразных КИ.

Целью работы стала разработка методики калибровки на КИ, которая будет учитывать эталонную базу подразделений, занимающихся калибровкой КИ, а также удовлетворять требованиям производственных процессов без потери показателей обеспечения единства измерений.

Содержание методики калибровки должно отвечать требованиям согласно ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению». Методика калибровки должна содержать в себе вводную часть и разделы. Допускается объединять, добавлять или исключать отдельные разделы, если данная процедура аргументирована.

Обязательной частью калибровки является оценка неопределенности измерений. Оценка неопределенности измерений выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению», ГОСТ 34100.3 Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

Разработана унифицированная методика калибровки для КИ в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению».

Таким образом, разработка методик калибровки с определением неопределённости и учетом требований производственных процессов является одной из актуальных проблем эксплуатации измерительных каналов.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению».
2. ГОСТ 34100.3 «Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».
3. СТО Газпром 5.0-2021 Обеспечение единства измерений. Метрологическое обеспечение в ПАО «Газпром». Основные положения.
4. СТО Газпром 5.79-2019 Обеспечение единства измерений. Калибровка средств измерений. Организация и порядок проведения. Основные положения.
5. СТО Газпром 5.80-2019 «Положение о системе калибровки средств измерений ПАО «Газпром»
6. ГОСТ 6651-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОСОДЕРЖАНИЙ КИСЛОРОДА В СВЕРХЧИСТЫХ ГАЗАХ

А.В. Денисов, Г.В. Елецкий, Л.А. Конопелько

ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## Аннотация

В радиоэлектронной промышленности при изготовлении полупроводниковой техники применяются технологии, требующие сверхчистых газов. Диапазон значений молярной доли кислорода, представляющий интерес при проведении контроля чистоты сверхчистых газов, лежит в области от  $0,1 \text{ млн}^{-1}$  до  $1,0 \text{ млн}^{-1}$ . Предложено применение фазового люминесцентного метода для анализа кислорода в указанных диапазонах.

**Ключевые слова:** особо чистые газы, сверхчистые газы, *semiconductor grade*, люминесценция, микросодержание кислорода

Существующие в настоящее время способы анализа кислорода, приведенные в таблице 1, ограничено применимы для контроля содержания кислорода в сверхчистых газах.

Таблица 1 — Способы анализа кислорода в газах

Способ анализа	Ограничения
Электрохимическая ячейка	1. Эффект перекрёстной чувствительности (низкая избирательность) [1]; 2. Узкий рабочий диапазон давлений анализируемого газа; 3. Малый срок службы (малый ресурс).
Гальванический элемент с твёрдым электролитом ( $ZrO_2$ )	1. Рабочая температура чувствительного элемента может достигать $800 \text{ }^\circ\text{C}$ [2]; 2. Требуется подача «сравнительного» газа; 3. Высокая погрешность.
Парамагнитный (магнитодинамическая ячейка)	1. Нижний предел измерений и точностные характеристики не удовлетворяют требованиям производства [3]; 2. Чувствительность к механическим воздействиям.

Для измерения содержания кислорода в диапазоне от  $0,1 \text{ млн}^{-1}$  до  $1,0 \text{ млн}^{-1}$  молярной доли целесообразно использовать эффект селективного тушения люминесценции молекул красителя молекулами кислорода.

Требования к чувствительному элементу: должен реагировать на изменение концентрации кислорода в диапазоне от  $0,1 \text{ млн}^{-1}$  до  $1,0 \text{ млн}^{-1}$  молярной доли.

Время жизни люминесценции зависит от содержания в газе молекул тушителя (кислорода); зависимость описывается уравнением Штерна-Фольмера [4]:

$$\frac{\tau_0}{\tau} = 1 + k_q [Q], \quad (1)$$

где  $\tau_0$  - время жизни люминесценции в отсутствие тушителя, с;  $\tau$  - время жизни люминесценции в присутствии тушителя, с;  $k_q$  - постоянная тушения,  $\frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ ;  $[Q]$  - концентрация

тушителя,  $\frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$ .

Существует несколько методов определения времени жизни люминесценции. Для применения каждого из них необходимо, чтобы длины волн возбуждающего и регистрируемого излучений лежали в характеристических для данного типа красителя диапазонах.

Прямой амплитудный метод. Измерение интервала времени после прекращения подачи возбуждающего излучения, в течение которого регистрируемая яркость излучения люминесценции уменьшается в  $e$  раз (Рисунок 1, а).

Интегральный амплитудный метод. Время жизни люминесценции вычисляется через интегрирование яркости в определённых временных интервалах после прекращения подачи возбуждающего излучения (Рисунок 1, а).

$$\tau = \frac{t_1 - t_0}{\ln \left( \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} I(t) dt}{\int_{t_1}^{t_1+T} I(t) dt} \right)}, \quad (2)$$

где  $I(t)$ -зависимость яркости люминесценции от времени,  $\frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$ ;  $t_0, t_1$  - заданные различные

времена после прекращения подачи возбуждающего излучения, с;  $T$ -заданный временной интервал интегрирования, с.

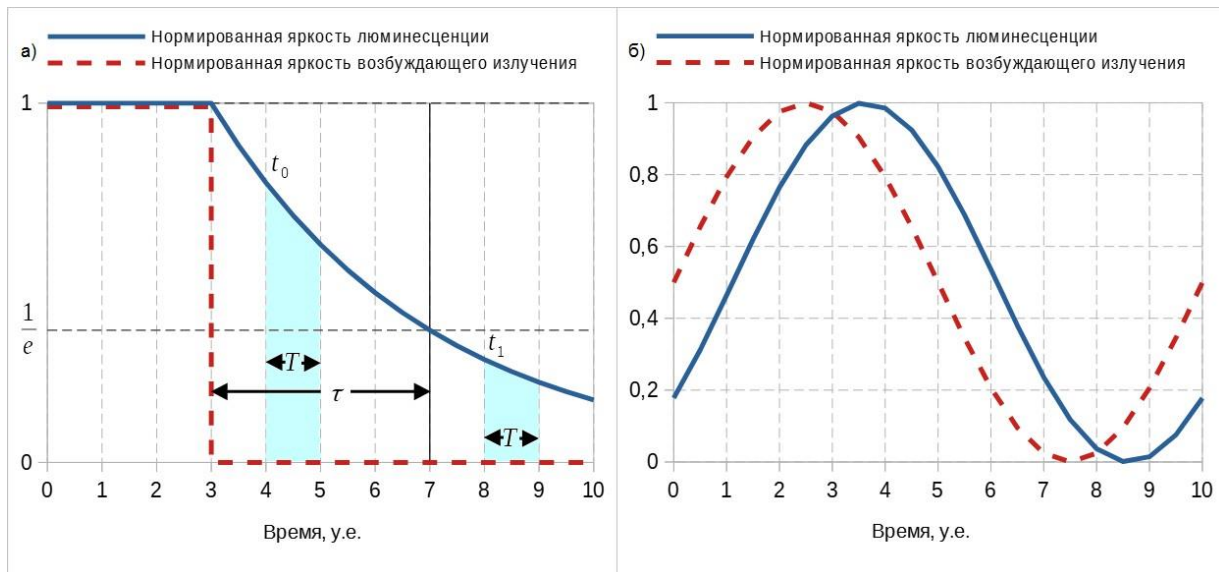


Рис. 1 – Методы определения времени жизни люминесценции: а) прямой и интегральный амплитудные методы, б) фазовый метод

Фазовый метод. При возбуждении красителя синусоидальным сигналом регистрируемая яркость люминесценции также имеет синусоидальную форму с некоторым фазовым сдвигом относительно возбуждающего излучения (Рисунок 1, б). Разность фаз возбуждающего и регистрируемого излучения даёт представление о времени жизни люминесценции.

$$T = \frac{\tan \Phi}{5 \cdot \pi f}, \quad (3)$$

где  $\Phi$ -разность фаз, рад;  $f$ -частота, Гц.

Фазовый метод наиболее предпочтителен, так как он не зависит от амплитудных характеристик канала регистрации излучения люминесценции и, следовательно, обеспечивает более высокую точность определения времени жизни люминесценции.

#### **Литература**

1. Walsh P. T. et al. Response of electrochemical oxygen sensors to inert gas–air and carbon dioxide–air mixtures: Measurements and mathematical modelling //Journal of hazardous materials. – 2011. – Т. 186. – №. 1. – С. 190-196.
2. Ерохов В. И. Особенности кислородного датчика системы управления транспортных двигателей //Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – №. 6 (36). – С. 17-26.
3. Jasek K., Pasternak M., Grabka M. Paramagnetic Sensors for the Determination of Oxygen Concentration in Gas Mixtures //ACS sensors. – 2022. – Т. 7. – №. 11. – С. 3228-3242.
4. Теренин А. Н. Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений. – 1967.

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОМЕТРА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ РБН-А1

А.С. Джурик, С.А. Мещанинов, Н.Б. Родионов,  
В.П. Родионова, Ю.А. Кащук, С.Ю. Обудовский

Частное учреждение «ИТЭР-Центр»,  
Москва, Российская Федерация  
a.dzhurik@iterrf.ru

## Аннотация

Радиометр быстрых нейтронов РБН-А1 предназначен для измерения плотности потока быстрых нейтронов с энергиями от 13,5 до 15 МэВ в поле, создаваемом нейтронным DT-генератором в промышленных установках и установках медицинского назначения. Результаты измерений необходимы для более точного вычисления и контроля радиационной дозы, поглощенной при лучевой терапии. В работе представлено программное обеспечение радиометра быстрых нейтронов РБН-А1.

**Ключевые слова:** Программное обеспечение, радиометр быстрых нейтронов, плотность потока быстрых нейтронов, нейтронный генератор, обработка данных

Чувствительным элементом радиометра быстрых нейтронов является алмазный детектор [1], представляющий собой монокристаллическую алмазную пластину с инкорпорированными электрическими контактами. Принцип работы основан на регистрации энергетического распределения альфа-частиц, образующихся в объеме чувствительного элемента детектора в результате реакции  $^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$ , с последующим расчетом плотности потока быстрых нейтронов в области энергий от 13,5 до 15 МэВ.

Конструктивно радиометр быстрых нейтронов РБН-А1 (рисунок 1) состоит из алмазного детектора, зарядочувствительного преусилителя, модуля обеспечения, спектрометрического аналого-цифрового преобразователя (АЦП-USB-8К-В1 производства АО «НПЦ «АСПЕКТ» [2]), компьютера с программным обеспечением и кабельных линий связи. В таблице 1 приведены метрологические характеристики РБН-А1 [3].

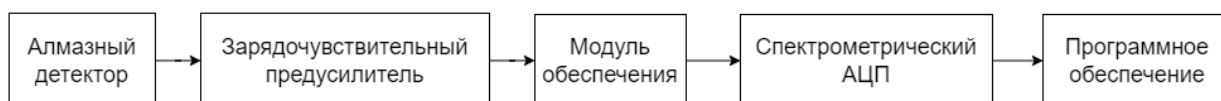
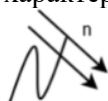


Рис. 1. Функциональная схема РБН-А1

Таблица 1. Метрологические характеристики радиометра быстрых нейтронов РБН-А1

Наименование характеристики	Значение
Диапазон энергий быстрых нейтронов, МэВ	от 13,5 до 15
Диапазон измерений плотности потока нейтронов, $\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$	от $10^5$ до $2\cdot 10^8$
Диапазон чувствительности к быстрым нейтронам, $\text{см}^2$ , не менее: модификация детектора 1а модификация детектора 1б	$(1\pm 0,25)\cdot 10^{-4}$ $(1\pm 0,25)\cdot 10^{-5}$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения плотности потока нейтронов %, не более	$\pm 5$
Дополнительная погрешность, вызванная зависимостью чувствительности от температуры окружающего воздуха в пределах условий эксплуатации относительно нормальных условий, %/°C, не более	0,2

Программное обеспечение «Аспект-контроль» (далее – ПО) предназначено для управления спектрометрическим АЦП и контролем амплитудного спектра сигналов алмазного детектора и скорости счета в заданных областях интереса. ПО позволяет:

- задавать параметры работы АЦП-USB-8К-В1 (значения дискриминации нижнего и верхнего уровня, количества каналов, ширину канала, и т.д.);

- проводить сбор амплитудного спектра с АЦП и в режиме «реального» времени выводить график собираемого амплитудного спектра;
- проводить анализ набранного амплитудного спектра с целью получения величины нейтронного потока и нейтронного выхода генератора;
- сохранять, полученный за заданный промежуток времени, амплитудный спектр, в виде текстового файла, для дальнейшей его обработки (при необходимости);
- проводить энергетическую калибровку каналов (рисунок 2) с использованием калибровочных источников ионизирующего излучения;

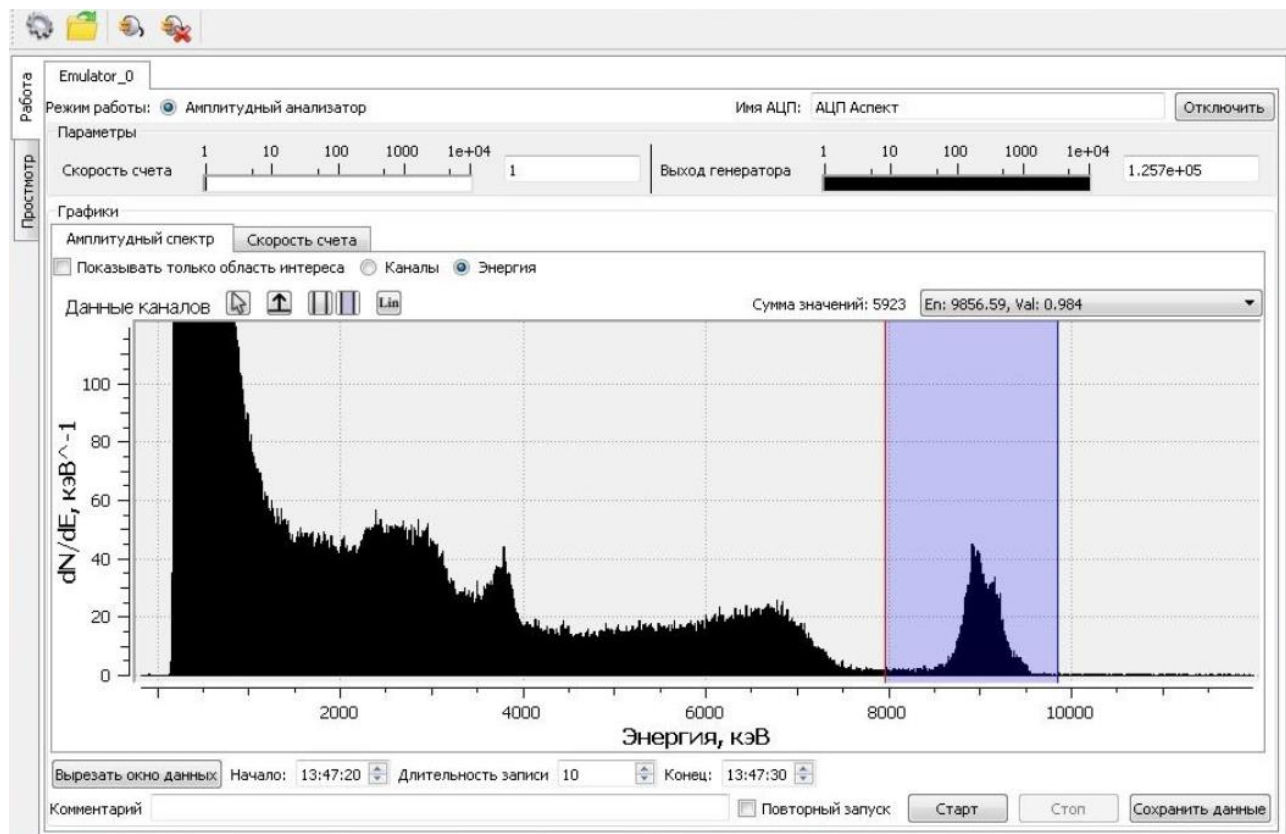


Рис. 2. Вид главного окна интерфейса программы «Аспект-контроль» с амплитудным спектром алмазного детектора РБН-А1 в поле Д-Т нейтронного генератора. В спектре выделен интервалом, соответствующий регистрации продуктов реакции  $^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$

Радиометр быстрых нейтронов РБН-А1 внесен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации №91176-24 [3].

Работа выполнена в рамках государственного контракта между Частным учреждением «ИТЭР-Центр» и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» № Н.4к.241.09.23.1059 от 17 апреля 2023 г. «Разработка инновационных методов синтеза монокристаллических алмазных полупроводниковых материалов и гетероструктур изолятор-полупроводник-проводник. Этап 2023-2024 годов».

#### Литература

1. Красильников А.В., Родионов Н.Б., Кашук Ю.А, Амосов В.Н., Мещанинов С.А. Портнов Д.А., Родионов Р.Н., Кормилицын Т.М., Ковалев А.О. Монитор мощности дозы быстрых нейтронов на основе алмазного детектора, сборник трудов XVIII Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературный плазмы», 2019, с. 176-178.
2. АЦП-USB-8К-В1 [Электронный ресурс] <https://www.aspect-dubna.ru/product/acp-usb-8k-v1/>.
3. Описание типа радиометры быстрых нейтронов [Электронный ресурс] <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1414010>.



## ЦИФРОВАЯ ЭКОСИСТЕМА ФБУ «ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ»

П.П. Дмитриев, Н.Б. Заболкин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге, Ленинградской и Новгородской областях, Республике Карелия»  
(ФБУ «Тест-С.-Петербург»),  
Санкт-Петербург, Россия  
pavel.dmitriev03@gmail.com

### *Аннотация*

*В докладе представлена цифровая экосистема ФБУ «Тест-С.-Петербург», освещена актуальность интегрированной сети цифровых технологий, описаны перспективы развития цифровой трансформации.*

**Ключевые слова:** метрология, цифровизация, программные продукты 1С

В современном, динамично развивающемся мире предприятиям необходимо адаптироваться в условиях мировой тенденции к цифровой трансформации, чтобы идти в ногу со временем и удовлетворять постоянно меняющиеся потребности заказчиков. Цифровые экосистемы становятся неотъемлемой частью этого преобразования, обеспечивая беспрепятственную интеграцию между различными технологиями и программным обеспечением.

Цифровая экосистема представляет собой интегрированную сеть цифровых технологий и инструментов, которые позволяют автоматизировать работу предприятия, повысить качество оказываемых услуг и улучшать общую производительность.

В 2023 году в ФБУ «Тест-С.-Петербург» (далее – Центр) внедрена и успешно функционирует внутренняя цифровая инфраструктура, включающая в себя все основные процессы метрологических подразделений и испытательной лаборатории Центра. Она состоит из ряда основных и дополнительных модулей, включающих в себя: модуль договорной работы, модуль учета технической оснащённости, модуль учета работ, модуль связи с БГУ.

Требования, установленные критериями аккредитации [1], обусловили необходимость создания дополнительного модуля для учета оснащённости Центра «1С: Метродок». Данная разработка предназначена для учета технической оснащённости, ведения графиков поверки, аттестации и технического обслуживания оборудования. Программное обеспечение позволяет выгружать формы по оснащённости эталонами и средствами измерений, испытательным и вспомогательным оборудованием, стандартными образцами и помещениям для прохождения процедур подтверждения компетентности и расширения области аккредитации.

Начальным этапом во взаимодействии с заказчиком является подача заявки на выполнение метрологических работ и заключение договора. На основании поступившей заявки модуль учета договоров позволяет сформировать договор, спецификацию к нему и расчет стоимости в электронном виде. После заключения договора необходимые сведения экспортируются в программный продукт «1С: Бухгалтерия государственного учреждения» (далее – БГУ) и «1С: Информационно-учетную систему» (далее – ИУС).

ИУС – это уникальная запатентованная разработка ФБУ «Тест-С.-Петербург», функционал которой включает в себя:

- учет работ и услуг в области обеспечения единства измерений;
- оформление заявления-квитанции на выполнение работ;
- отслеживание средств измерений с момента подачи заказчиком в отдел приемки средств измерений (далее – СИ) до момента выдачи заказчику;
- учет и анализ поступающих заявок на выполнение метрологических работ;
- идентификация СИ, включающая формирование цифровой метки со штрих-кодом;
- взаимосвязь с базой данных о технической оснащённости, которая позволяет корректно передавать сведения о результатах поверки и об используемых эталонах;

- выгрузка сведений о результатах поверки в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [2] и о результатах деятельности в Федеральную службу по аккредитации

- печать свидетельств о поверке, сертификатов калибровки и аттестатов на испытательное оборудование с применением усиленной цифровой подписи (Далее- ЭЦП);

- формирование управленческой и обязательной отчетности.

Широкий функционал и эргономичность программного продукта ИУС позволили разгрузить работников метрологических подразделений и сосредоточить их внимание на выполнении непосредственных обязанностей по поверке. После завершения метрологических работ информационная система передает соответствующие сведения о готовности средств измерений к выдаче на сайт Центра.

ФБУ «Тест-С.-Петербург» располагает более чем 2500 эталонов единиц величин, а количество поверяемых СИ в год составляет порядка 1 миллиона [3]. Автоматизация рабочих мест стала одним из решений, способствующих оптимизации процесса поверки. На данный момент в Центре частично или полностью автоматизированы 35 рабочих мест для поверки СИ. Наибольшее число автоматизированных рабочих мест находятся в отделе электромагнитных измерений.

В 2024 году в Центре реализована бесконтактная выдача СИ. С помощью цифровой метки со штрих-кодом, нанесенной на заявлении-квитанции, заказчик самостоятельно может получить средство измерений. Для этого необходимо отсканировать цифровую метку со штрих-кодом с помощью сканера или ввести цифровой код штрих-кода на сенсорном дисплее.

Центр развивает свои клиентские сервисы и считает приоритетным не только качество поверки средств измерений, но и оперативный сервис. Следуя политике оптимизации, это позволяет не увеличивать штат сотрудников и обслуживать большее количество заказчиков, экономя их время. Так, при выдаче оборудования заказчику, благодаря наличию цифровой метки на заявлении-квитанции, формируется единый перечень, содержащий информацию о точном местоположении оборудования на складе. Одновременно система проводит контроль счетов по заданным алгоритмам, на соответствие возможности автоматического формирования закрывающих документов. Программа позволяет сотрудникам бухгалтерии в «один клик» сформировать и распечатать на стороне БГУ закрывающие документы в зоне выдачи СИ.

В разработке находится личный кабинет, который будет доступен заказчикам на сайте Центра. Функционал «личного кабинета» позволит заказчикам самостоятельно отслеживать этапы выполняемых работ по поверке и калибровке средств измерений, а также испытаниям продукции, сырья и материалов, поступление оплаты и факт совершения хозяйственной деятельности. В личном кабинете заказчику будут доступны сформированные по результатам выполненных работ документы с ЭЦП, в том числе, свидетельства о поверке, сертификаты калибровки, аттестаты на испытательное оборудование, протоколы испытаний и закрывающие бухгалтерские документы.

Внутренняя цифровая экосистема ФБУ «Тест-С.-Петербург» охватывает все направления деятельности Центра, в том числе сектор кадровой работы, канцелярию, сектор закупок, юридический отдел, планово-экономический отдел, бухгалтерско-финансовый отдел. Цифровая экосистема успешно функционирует также в пяти филиалах Центра, что существенно упрощает взаимодействие и устанавливает единый подход к внутренним процессам.

#### **Литература**

1. Официальный сайт Федеральной службы по аккредитации. [Электронный ресурс] URL: <https://fsa.gov.ru/> (дата обращения 16.04.2024).

2. Официальный сайт Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений ФГИС «АРШИН». [Электронный ресурс] URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry> (дата обращения 15.04.2024).

3. Официальный сайт Федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге, Ленинградской и Новгородской областях, Республике Карелия» (ФБУ «Тест-С.-Петербург»). [Электронный ресурс] URL: <https://rustest.spb.ru/about/> (дата обращения 15.04.2024).

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ЭТАЛОННЫХ МЕР ЦАГИ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

О.В. Довыденко, О.Б. Бавыкин, А.И. Самойленко

Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»  
(ФАУ «ЦАГИ»),  
Жуковский, Российская Федерация  
ORCID ID 0000-0001-6798-5025, metrology@tsagi.ru

## Аннотация

На основе результатов анализа метрологических характеристик известных стендов для измерений характеристик геометрии масс установлены требования к экспериментальным методам определения моментов инерции эталонных мер, обеспечивающих поверку этих стендов. Выполнена оценка инструментальной погрешности измерений методом физического маятника. Проведен предварительный выбор средств измерений, обеспечивающих требуемую точность метода.

**Ключевые слова:** момент инерции, физический маятник, эталонная мера, погрешность измерений

При решении многих инженерных задач необходимо знать значения моментов инерции (МИ) тела относительно различных осей [1]. На практике для определения значений МИ используют специальные стенды [2-6], погрешность которых составляет от 0,1 % до 5,0 % [7]. Отнесем стенды с погрешностью от 0,1 % до 0,5 % к категории точности 0 (КТ0); с погрешностью от 1 % до 3 % – к категории точности 1 (КТ1). С учетом коэффициента запаса точности [8-10] погрешность эталонных мер для поверки стендов должна быть 0,03 % для КТ0 и 0,3 % для КТ1, а суммарная погрешность методов определения их МИ – 0,01 % и 0,1 % соответственно.

Наиболее точным методом определения МИ является метод физического маятника. При этом МИ определяется по формуле [1]:

$$I = \frac{T^2}{4\pi^2} m g c, \quad (1)$$

где  $T$  – период одного полного колебания,  $m$  – масса тела,  $g$  – ускорение свободного падения,  $c$  – расстояние от оси подвеса до центра масс (складывается из длины подвеса  $L_1$  (от 4 до 5 м) и расстояния от центра масс эталонной меры до точки крепления к подвесу  $L_2$  (от 150 до 850 мм при длине меры от 300 до 1700 мм); последнее определяется геометрическими размерами меры и механизмом ее крепления).

С учетом категорий точности эталонов, количества составляющих аргументов функции измерений (1) и наличия других источников погрешности выбраны средства измерений (СИ) (таблица 1) и проведено сравнение вкладов составляющих погрешности для различных категорий точности эталона (рисунок 1).

Таблица 1

Измеряемый параметр	СИ для категории точности эталона	
	0	1
$T$	Частотомеры с погрешностью до:	
	0,002 % (частотомер ЧЗ-64)	0,02 % (частотомер ЧЗ-32)
$m$	Компаратор массы с гирями класса точности по ГОСТ OIML R 111-1 [11]:	
	$F_2$	$M_1$
$L_1, L_2$	КИМ с погрешностью: - до 40 мкм (система API Radian Pro R-50) для $L_1$ ; - от 5,3 до 11,6 мкм (машина G90C) для $L_2$ от 150 до 850 мм соответственно	КИМ с погрешностью: - до 40 мкм (система API Radian Pro R-50) для $L_1$ ; - до 30 мкм (система API Radian Pro R-50) для $L_2$
$g$	Гравиметры с погрешностью не более 58 мГал (гравиметр ГрАН-1)	

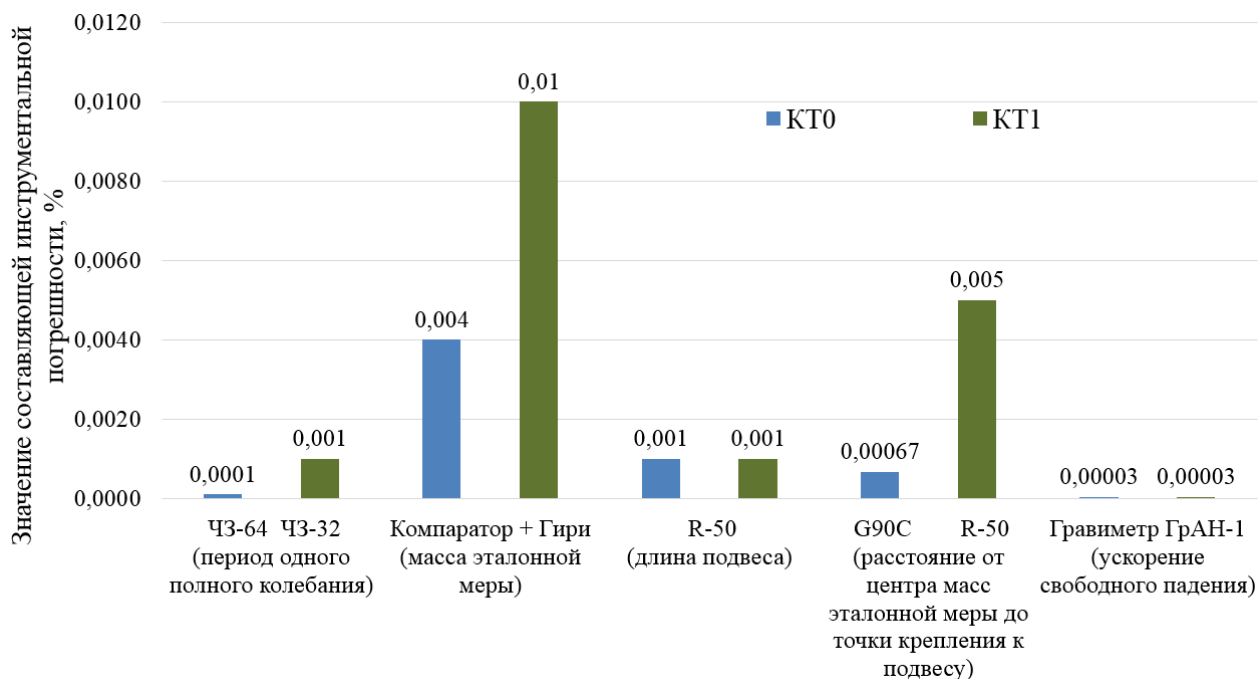


Рис. 1.

Суммарная инструментальная погрешность измерений выбранными СИ не превысит значений:

- 0,012 % для категории точности 1;
- 0,005 % для категории точности 0.

Таким образом, проведенный анализ позволил провести предварительный выбор СИ для реализации экспериментального метода определения МИ с помощью физического маятника. Следует отметить, что для получения более полной оценки точности данного метода необходимо учесть и оценить погрешности, обусловленные:

- условиями измерений;
- способом подвешивания;
- колебанием оси маятника;
- жесткостью нитей подвеса;
- смещением центра масс эталонной меры от оси подвеса;
- анизохронностью колебаний;
- силами трения в оси;
- сопротивлением среды.

#### Литература

1. Гернет М.М., Ратобыльский В.Ф. Определение моментов инерции. М.: Машиностроение, 1969. - 247 с.
2. Патент № 2368880 РФ. Стенд для измерения массы, координат центра масс и тензора инерции изделия / Богданов В.В., Веселов Н.В., Панченко И.Н., Петроневи́ч В.В., Бодин В.В., Паршев В.А. // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 24.
3. Патент № 2506551 РФ. Стенд для измерения массы, координат центра масс и моментов инерции изделий / Богданов В.В., Панченко И.Н., Някк В.А., Галанский П.Н., Костарев В.А. // Изобретения. Полезные модели. 2014. № 4.
4. Патент № 2525629 РФ. Стенд для измерения массы и координат центра масс изделий / Богданов В.В., Галанский П.Н., Куликов А.А., Панченко И.Н. // Изобретения. Полезные модели. 2014. № 23.
5. Богданов В.В., Волобуев В.С., Кудряшов А.И., Травин В.В. Комплекс для измерения массы, координат центра масс и моментов инерции машиностроительных изделий // Измерительная техника. 2002. № 2. С. 37–39.
6. Богданов В.В., Веселов Н.В., Панченко И.Н., Паршев В.А., Петроневи́ч В.В., Чумаченко Е.К. Стенд для измерения массы, координат центра масс и тензора инерции изделия // Датчики и системы. 2010. № 5. С. 24–28.
7. Довыденко О.В. Разработка и исследование эталонов единиц массы, длины в области измерений координат центра масс и момента инерции : дис. Канд. тех. Наук: 30.06.2022 / О.В. Довыденко. – Москва, 2022. – 137 с.
8. РМГ 63-2003 Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации. М.: Изд-во стандартов, 2004. 13 с.

9. Сычев Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. Основы метрологии военной техники. М.: Воениздат, 1993. 400 с.
10. МИ 2083-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. М.: Изд-во стандартов, 1991. 9 с.
11. ГОСТ OIML R 111-1-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 и M3. Часть 1. Метрологические и технические требования. М.: Стандартинформ, 2012. 96 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ МИКРОПОТОКА ВОДЫ В ТЕРМОДИФФУЗИОННЫХ ГЕНЕРАТОРАХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ С МИКРОСОДЕРЖАНИЕМ ПАРОВ ВОДЫ

А.О. Долгашов, А.А. Евдокимов, Л.А. Конопелько

ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## *Аннотация*

*Рассмотрены аспекты разработки и применения генераторов влажного газа в диапазонах концентраций паров воды 0,1-100 мг/л на основе термодиффузионного генератора и источника микропотока воды, выделены отдельные проблемы по изготовлению и аттестации источников микропотока.*

**Ключевые слова:** источник микропотока, генератор влажного газа, термодиффузионный генератор, микросодержание паров воды, метод смешения потоков газа

Потребность и практическое отсутствие средств воспроизведения молярной доли воды в диапазоне 0,1-100 мг/л явились обоснованием создания комплекса, позволяющего решать задачи метрологического обеспечения газоаналитической аппаратуры и гигрометров [6].

Базовым методом был выбран термодиффузионный метод, основанный на смешении потоков газа разбавителя и газов от источника микропотока воды (далее ИМВ), помещенных в термодиффузионную камеру [1,2].

Данный метод нашел широкое распространение для приготовления газовых смесей в диапазоне микроконцентраций [4,5], однако с применением ИМВ необходимо учитывать процессы сорбции воды на внутренних поверхностях газовых линий и процессы диффузии воды из окружающей среды через соединения, уплотнения и части, выполненные из неметаллических материалов [7,8], что усложняет процессы аттестации и использования.

Производительность ИМВ зависит от конструктивных особенностей, исходных материалов и качества их подготовки, и может варьироваться в диапазонах 0,1 – 30 мг/мин, выходная массовая концентрация смеси на выходе термодиффузионного генератора определяется соотношением [1,3]:

$$\rho_B = \frac{G_B}{Q_P}, \quad (1)$$

где  $\rho_B$  - массовая концентрация компонента В, мг/м<sup>3</sup>;  $G_B$  – производительность ИМВ, мг/мин;  $Q_P$  – объемный расход газа-разбавителя, дм<sup>3</sup>/мин.

Аттестация источника микропотока воды может производиться гравиметрическим методом и методом компарирования [3].

Гравиметрический метод заключается в определении производительности ИМВ способом многократного совместного измерения убыли массы воды в ИМВ и времени пребывания в рабочем режиме. Метод применим в диапазонах производительности источников более 0,7 мг/мин и выражается соотношением [2,3]:

$$G_B = \frac{\Delta M}{t}, \quad (2)$$

где  $G_B$  – производительность ИМВ, мг/мин,  $\Delta M$  – изменение массы, мг; за время пребывания в рабочем режиме  $t$ , мин.

Метод компарирования предполагает наличие более сложного комплекса эталонного оборудования, создание особых условий для минимизации влияния процессов сорбции и диффузии влаги, но позволяет производить измерение низкой производительности – менее 1 мг/мин. Метод заключается в многократном сравнении на компараторе выходных характеристик исследуемого генератора с исследуемым ИМВ с эталонным генератором и источником или, в частности, с аттестованной газовой смесью определенной влажности. Значение производительности определяется соотношением [1,3]:

$$G_B = \frac{A \cdot G_O \cdot Q_P}{A_O \cdot Q_{PO}} \quad (3)$$

где  $G_B$  – производительность ИМВ, мкг/мин;  $A$  – показания компаратора при подаче с исследуемого генератора, мг/м<sup>3</sup> (ppm);  $A_0$  – показания компаратора при подаче газовой смеси, создаваемой с помощью эталонного генератора, мг/м<sup>3</sup>(ppm);  $G_0$  – производительность источника микропотока в эталонном генераторе (ИМ -эталона сравнения или ИМ-меры 0-го разряда), мкг/мин,  $Q_P$  и  $Q_{PO}$  – расход газа разбавителя в исследуемом генераторе и эталонном генераторе соответственно, дм<sup>3</sup>/мин.

Основным достоинством применения ИМВ в термодиффузионных генераторах являются их динамические характеристики, возможность быстро изменять концентрацию при установившемся температурном режиме, что актуально при проведении градуировочных работ, калибровке и поверке [4,5].

Создание научно-технических решений в виде использования термодиффузионного генератора с источником микропотока утвержденного типа как мера позволит обеспечить возможность высокоточного динамического приготовления газовых смесей с микросодержанием паров воды без использования дополнительных эталонных средств контроля.

#### Литература

1. ISO 6145-10:2008-11 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 10: Permeation method.
2. ISO 6145-7:2011-03 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 7: Thermal mass-flow controllers
3. ГОСТ Р 8 .975-2019 Государственная система обеспечения единства измерений ИСТОЧНИКИ МИКРОПОТОКОВ ГАЗОВ И ПАРОВ Общие технические условия. Издание официальное, Москва, Стандартинформ, 2019 г.
4. Гуревич В. Г., Конопелько Л. А.; Научно-производственное общество «Мониторинг». ДИФФУЗИОННЫЙ ИСТОЧНИК МИКРОПОТОКА ГАЗА (ВАРИАНТЫ). Патент № 2111460 РФ, G01F 13/00 (1995.01). № 97106826/28; Заявл. 22.04.1997; Опубл. 20.05.1998
5. Мальгинов А. В., Евдокимов А. А., Громова Е. В. Передача единиц молярной доли и массовой концентрации газовых компонентов с помощью рабочих эталонов 1-го разряда на основе динамических генераторов газовых смесей //Измерительная техника. – 2011. – №. 9. – С. 8-12.
6. Пеклер В. В., Мамонтов Г. М. Состояние и перспективы развития гигрометров и средств их метрологического обеспечения //Научное приборостроение. – 2003. – Т. 13. – №. 3. – С. 12-18.
7. Борисов В. Н. и др. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ МИКРОДОЗИРОВАНИЯ ПАРОВ ВЕЩЕСТВ.
8. Вольберг Н. Ш. и др. Простой метод получения микропотоков газов для контроля погрешности методик количественного химического анализа воздуха (на примере формальдегида, фтористого водорода и фенола) //Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова. – 2017. – №. 587. – С. 96-104.

# ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Т.И. Другова

Федеральное бюджетное учреждение Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ»),  
Самара, Российская Федерация  
t.drugova@samaragost.ru

## Аннотация

В данной работе рассматриваются проблемы выбора весоизмерительного оборудования по точностным характеристикам для определения механических примесей нефтепродуктов

**Ключевые слова:** весы специального класса точности, методика поверки, погрешность, класс точности, калибровка

**Цель работы:** возможности решения проблемы по обеспечению точностных характеристик весов специального класса точности для определения механических примесей нефтепродуктов в соответствии с требованиями нормативной документации.

В ФБУ «Самарский ЦСМ» стали обращаться клиенты с проблемой установления соответствия весоизмерительного оборудования, используемого в лабораториях для определения механических примесей нефтепродуктов.

ГОСТ 6370-2018 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей», прописано, что для проведения анализа требуются весы с наибольшим пределом взвешивания 220 г и погрешностью взвешивания 0,0002 мг. Проблема лабораторий, проводящих этот анализ, стала заключаться в том, что на российском рынке нет весов, зарегистрированных в Госреестре СИ, соответствующих этим требованиям. Так, например, в ГОСТ R 76-1-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания» в пункте 3.2. Классификация весов, указано, что весы специального класса точности являются весы с поверочным интервалом  $0,001 \text{ г} \leq e$ , так же прописано, что на практике нет возможности провести испытания и поверку весов с  $e < 1 \text{ мг}$  из-за большой неопределенности испытательных нагрузок (см. рисунок 1).

## 3.2 Классификация весов

Значения поверочного интервала, число поверочных интервалов и минимальная нагрузка, характеризующие класс точности весов, указаны в таблице 3.

Таблица 3

Класс точности	Поверочный интервал весов $e$	Число поверочных интервалов весов $n = \text{Max} / e$		Минимальная нагрузка $M_{\text{min}}$ (нижний предел)
		минимальное	максимальное	
Специальный I	$0,001 \text{ г} \leq e < 1$	50000 2)	-	$100 e$
Высокий II	$0,001 \text{ г} \leq e \leq 0,05 \text{ г}$	100	100000	$20 e$
	$0,1 \text{ г} \leq e$	5000	100000	$50 e$
Средний III	$0,1 \text{ г} \leq e \leq 2 \text{ г}$	100	10000	$20 e$
	$5 \text{ г} \leq e$	500	10000	$20 e$
Обычный IIII	$5 \text{ г} \leq e$	100	1000	$10 e$

1) На практике не имеется возможности провести испытания и поверку весов с  $e < 1 \text{ мг}$  из-за большой неопределенности испытательных нагрузок.  
2) См. 3.4.4.

$M_{\text{min}}$  допускается уменьшить до  $5e$  для оценочных весов, с помощью которых определяют транспортные тарифы или пошлины (например, почтовые весы и весы для взвешивания отходов).

Для многодиапазонных весов поверочные интервалы равны  $e_1, e_2, \dots, e_T$ , причем  $e_1 < e_2 < \dots < e_T$ .  $M_{\text{min}}$ ,  $n$  и  $M_{\text{max}}$  индексируют соответственно.

Рис. 1



Так же в ГОСТ OIML R 76-1-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания» в Приложении ДА «Методика поверки весов» в средствах поверки указано, что пределы допускаемой погрешности гирь не должны превышать 1/3 пределов допускаемой погрешности поверяемых весов при данной нагрузке.

В ГОСТ OIML R 111-1-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов точности E1, 2, F 2, F 2, M 2, M 1-2, M 2, M 2-3 и M 3. Часть 1. Метрологические и технические требования» в Таблице 1 указаны допустимые погрешности гирь (см. рисунок 2).

Номинальное значение массы гирь <sup>1)</sup>	Класс гирь								
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1-2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2-3</sub>	M <sub>3</sub>
5000 кг			25000	80000	250000	500000	800000	1600000	2500000
2000 кг			10000	30000	100000	200000	300000	600000	1000000
1000 кг		1600	5000	16000	50000	100000	160000	300000	500000
500 кг		800	2500	8000	25000	50000	80000	160000	250000
200 кг		300	1000	3000	10000	20000	30000	60000	100000
100 кг		160	500	1600	5000	10000	16000	30000	50000
50 кг	25	80	250	800	2500	5000	8000	16000	25000
20 кг	10	30	100	300	1000		3000		10000
10 кг	5,0	16	50	160	500		1600		5000
5 кг	2,5	8,0	25	80	250		800		2500
2 кг	1,0	3,0	10	30	100		300		1000
1 кг	0,5	1,6	5,0	16	50		160		500
500 г	0,25	0,8	2,5	8,0	25		80		250
200 г	0,10	0,3	1,0	3,0	10		30		100
100 г	0,05	0,16	0,5	1,6	5,0		16		50
50 г	0,03	0,10	0,3	1,0	3,0		10		30
20 г	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5		8,0		25
10 г	0,020	0,06	0,20	0,6	2,0		6,0		20
5 г	0,016	0,05	0,16	0,5	1,6		5,0		16
2 г	0,012	0,04	0,12	0,4	1,2		4,0		12
1 г	0,010	0,03	0,10	0,3	1,0		3,0		10
500 мг	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8		2,5		
200 мг	0,006	0,020	0,06	0,20	0,6		2,0		
100 мг	0,005	0,016	0,05	0,16	0,5		1,6		
50 мг	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4				
20 мг	0,003	0,010	0,03	0,10	0,3				

Рис. 2

Из нее мы видим, что даже гиря класса точности E1 массой 200 г. Не может быть использована, для передачи весам требуемой точности.

При обсуждении вопроса с одними из производителей весов на Российском рынке, нам было предоставлено письмо, в котором предложили подвергать такие весы калибровке на месте эксплуатации. С 29 сентября 2023 г. Введен в действие в качестве рекомендации по стандартизации РМГ 150-2023 «Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Руководство по калибровке». В нем указано, что максимально допускаемые погрешности или неопределённости калибровки эталонных гирь должны быть согласованы с ценой деления шкалы  $d$  весов и/или с требованием заказчика к неопределенности калибровки весов.

Но также согласно Статье 9 Федерального закона от 26.06.2008 N 102-ФЗ Требования к средствам измерений. «В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к применению допускаются средства измерений утвержденного типа, прошедшие поверку в соответствии с положениями настоящего Федерального закона, а также обеспечивающие соблюдение установленных законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений обязательных требований, включая обязательные метрологические требования к измерениям, обязательные метрологические и технические требования к средствам измерений, и установленных законодательством Российской Федерации о техническом регулировании обязательных требований. Федеральному закону.»

Поэтому приборы с характеристиками, полученными при калибровке, не могут применяться в сфере государственного регулирования.

**Вывод** Необходимо провести актуализацию действующих нормативных документов в соответствии с требованиями действующего законодательства.

### **Литература**

1. ПРИКАЗ от 4 июля 2022 года N 1622 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений массы»
2. Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
3. ГОСТ OIML R 76-1-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания
4. ГОСТ OIML R 111-1-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов точности E (индекса 1), E (индекса 2), F (индекса 1), F (индекса 2), M (индекса 1), M (индекса 1-2), M (индекса 2), M (индекса 2-3) и M (индекса 3). Часть 1. Метрологические и технические требования.
5. РМГ 150-2023 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Руководство по калибровке.

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ФИЛИАЛА ПАО «ЯКОВЛЕВ» – ИРКУТСКОГО АВИАЦИОННОГО ЗАВОДА

А.И. Душаева, А.Ю. Желнодеев, Д.К. Магера

Публичное акционерное общество «Яковлев», филиал ПАО «Яковлев» - Иркутский  
авиационный завод,

Иркутск, Российская Федерация

0009-0004-4840-7325, dushaeva\_ai@iaz.yakovlev.ru

### **Аннотация**

В работе описывается разработка и внедрение Web-интерфейса по обеспечению доступа к данным АСУ СИ «Метролог» всех должностных лиц филиала ПАО «Яковлев» - Иркутский авиационный завод (далее ИАЗ) к актуальной информации о средствах измерений, имеющихся на ИАЗ и состоящих на метрологическом учете. Внедрение Web-интерфейса позволит:

– сократить время доступа к актуальной информации о средствах измерений (далее СИ);  
– минимизировать расходы на печать документов о результатах поверки/калибровки СИ, перечней СИ, графиков поверки, калибровки СИ;

– снизить расходы на приобретение лицензионных рабочих мест базы данных ЕАМ;

– повысить эффективность надзора за соблюдением графиков поверки, калибровки СИ.

Цифровизация таких процессов – залог конкурентоспособности такого большого предприятия, как Иркутский авиационный завод.

**Ключевые слова:** метрологическая служба, метрологическое обеспечение, цифровизация, оптимизация, метрология, поверка, калибровка, средство измерения

**Цель работы:** внедрение Web-интерфейса.

**Задача работы:** для достижения поставленной цели была поставлена задача – разработка Web-интерфейса внутренней базы данных АСУ СИ (автоматизированная система управления средств измерений) на портале ИАЗ.

Цифровизация в промышленности на сегодняшний день является актуальным вопросом на каждом крупном предприятии. Оптимизация производственных процессов, повышение эффективности, а также экономия самого дорогого ресурса – времени – эти задачи требуют постоянного мониторинга, совершенствования и внедрения в любых отраслях промышленности.

Метрологическая служба ИАЗ обеспечивает единство измерений большого парка СИ – более 45 000, которые эксплуатируются более чем в 100 подразделений. Отслеживание графиков поверок/калибровок, оформление результатов, формирование журналов результатов поверок/калибровок для отправки во ФГИС «АРШИН», и затем, выгрузка документов, подтверждающих результаты работ (свидетельства о поверке, сертификаты калибровки, протоколы, извещения о непригодности) на каждый тип/модель СИ выполняется в базе данных АСУ СИ Метролог.

Подразделения-эксплуатанты имеют возможность самостоятельно определять статус СИ по электронному документу формата Excel, с информацией из АСУ СИ «Метролог», который обновляется вручную один раз в сутки. Такой периодичности часто бывает недостаточно для решения производственных вопросов. В таких случаях заинтересованные лица обращаются в метрологическую службу ИАЗ непосредственно. Запуск обновления файла возможен только лицам, имеющим право обновления (определенные сотрудники метрологической службы ИАЗ), обновление файла выполняется вручную и занимает порядка 10 минут, при этом выполнение рабочих операций в базе данных АСУ СИ на время обновления файла невозможно.

Использования внутреннего документа MS Excel, размещенного на портале ИАЗ в разделе метрологической службы и сформированного из базы данных АСУ СИ «Метролог», приводит к ряду неудобств:

- низкая периодичность обновления информации о статусе СИ;
- блокировка работы с АСУ СИ «Метролог» во время обновления файла MS Excel;
- отсутствует возможность скачивать документ по результатам поверки, калибровки;
- отсутствует возможность получения эксплуатационных документов о СИ;

– расширение числа пользователей с правом доступа к АСУ СИ «Метролог» требует приобретения дополнительных лицензионных рабочих мест для сотен сотрудников ИАЗ.

Для преодоления указанных проблем было принято решение о разработке Web-интерфейса АСУ СИ «Метролог». Создание Web-интерфейса необходимо для обеспечения доступа всех должностных лиц к актуальной информации о СИ.

Реализация данного проекта позволит решить следующие задачи:

– поиск средств измерений в базе данных АСУ СИ с любого ПК ИАЗ по различным атрибутам (наименованию средства измерения, индивидуальному номеру средства измерений, принадлежности к эксплуатанту и др.);

– возможность подразделения-эксплуатантам сохранять документы, подтверждающие пригодность средства измерений (свидетельства о поверке, извещения о непригодности средств измерений);

– доступ к актуальной информации о статусе СИ;

– доступ к имеющимся эксплуатационным документам СИ, описанию типа СИ, другой документации;

– возможность формировать журнал учета СИ по подразделениям предприятия.

Алгоритм Web-интерфейса заключается в следующем. Web-интерфейс направляет поисковые запросы к БД АСУ СИ «Метролог», копирование данных БД АСУ СИ «Метролог» на сервер ИАЗ производится систематически. Пользователю web-Интерфейса предлагается использовать расширенный поиск (см. рисунок 1). Результат поиска отображается на экране ПК. Либо может быть распечатан или отправлен по электронной почте.

Web-интерфейс АСУ СИ «Метролог» производит поиск по следующим атрибутам:

- наименование СИ;
- тип/модель СИ;
- индивидуальный номер СИ;
- номер подразделения-эксплуатанта;
- обозначение производства;
- функциональная ответственность;
- ответственный за эксплуатацию СИ или участок;
- шифр состояния СИ.

**Главный экран Web-интерфейса импорт-метр**

## СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

**ПОИСК** расширенный поиск

Тип СИ ▾
Индивидуальный номер ▾
Номер подразд. ▾
Обознач. производства ▾

Функци. ответственность ▾
Отвеств. за эксплуатацию ▾
Шифр состояния ▾
**ПОИСК**

Срок поверки с  до  **ОК**

**Формирование данных**

**Результаты поиска**

	Подразделение	Ответственный за эксплуат-ию	Наименование	Тип/модель	Индивидуальный номер СИ	Функцион-ая ответственность	Шифр состояния	Дата поверки	Свидетельство/извещение	Периодичность поверки	Ссылка на результат поверки во ФГИС Аршин	Обознач. производства
	215	РО	Вольтметр универсальный	GDM-8245	CG910528	РТИ	0	19.04.2023	С-АОР/19-04-2023/242741739	12	<a href="https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741739">https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741739</a>	
<input checked="" type="checkbox"/>	215	РО	Генератор импульсов	Г5-63	20468	РТИ	0	20.04.2023	С-АОР/20-04-2023/242741738	12	<a href="https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741738">https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741738</a>	
	215	РО	Частотомер электронно-счетный	Ч3-63/1	9004526	РТИ	0	17.04.2023	С-АОР/17-04-2023/242741744	12	<a href="https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741744">https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741744</a>	
	215	РО	Осциллограф	TDS-3034B	B030180	РТИ	0	24.04.2023	С-АОР/24-04-2023/242741733	12	<a href="https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741733">https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/1-242741733</a>	

Кнопка «Сформировать журнал»

Кнопка «Сохранить свидетельство/извещение» выбранного из перечня СИ

Кнопка «Отправить на печать» сформированный перечень СИ

Кнопка «Отправить по почте» сформированный перечень СИ

Рис. 1 – Web-интерфейс

Web-интерфейс производит составление перечни СИ по заявленным атрибутам, перечень СИ по заявленным атрибутам за определенный период времени, журнал учета СИ в подразделении. Формирование журналов учета СИ выполняется с кнопки «Сформировать журнал». Формируется журнал согласно форме, представленной на рисунке 2.

Журнал  
учета средств измерений в подразделении

Цех 201

Номер по порядку	Наименование СИ	Тип (марка), предел измерений	Заводской номер или номер, присвоенный на ИАЗ	Место установки СИ (местонахождение)	Статус
1	Динамометр	ДПУ-5-2 5000 кгс	221	Группа 1	0
2	Манометр	TM2-250x2,5 250 кгс/см <sup>2</sup>	01015	Установка силозадающая № 1	0
3	Амперметр	M 42101 50А	2002029	Силовая сборка РП-1	Индикатор
4	Штангенциркуль	ШЦ-1	201003	ИРК	5

Рис. 2 – Форма журнала учета СИ в подразделении

Результат поиска может быть представлен на экране ПК пользователя, а также сформирован к печати и отправлен по электронной почте.

Возможность сохранения свидетельства о поверке или извещения о непригодности СИ позволит подразделением-эксплуатантам без обращения к работникам метрологической службы получать документы о результатах поверки/калибровки в любое время. Возможность формирования учета СИ в подразделениях позволит подразделениям-эксплуатантам отслеживать график работ в режиме реального времени. Это позволит ответственным за эксплуатацию СИ своевременно доставлять приборы в лаборатории метрологической службы ИАЗ на поверку/калибровку.

#### Литература

1. Федеральный закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений».
2. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Федеральное агентства по техническому регулированию и метрологии от 31.07.2020 № 2510. «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке», 2021. – 8 с.
3. ГОСТ 34.321-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными.
4. II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международный конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ -2023». Сборник тезисов докладов. – ООО «Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2023. – 440 с.

# ОЦЕНКА ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КРУГЛОМЕРОВ

К.В.Епифанцев, Г.А.Петров, А.Э.Егоров, С.А. Наумов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
(ГУАП),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## Аннотация

В статье рассматривается вопрос применения оптического датчика лазерного типа, имеющего предварительную систему преобразования, который был использован как альтернатива контактного щупа на кругломере RoundTestRA-120p [1]. В статье описывается ряд экспериментов, проведенных за несколько лет в Физическом институте Академии наук им П.Н.Лебедева, в лаборатории «Цифровой метрологии» ФГАОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», в испытательной лаборатории АО «Бортовые аэронавигационные системы».

**Ключевые слова:** оптический лазерный датчик, анализ дефектов детали, кругломер

В условиях импортозамещения многие приборы нуждаются в замене наиболее изнашиваемых компонентов, таких как контактные щупы, подшипники, кронштейны и т. д. В современных условиях по причине увеличения производственных мощностей предприятий, такие элементы, как контактные щупы, изнашиваются более активно.

В исследовании [2] описан процесс создания лазерного кругломера для исследования дефектов формы дорожек качения подшипников, применяемых в авиации. Данное исследование было взято за основной прототип будущей лазерной системы.

В результате экспериментов в Физическом институте Академии наук им П.Н.Лебедева в 2023-2024 гг, была применена PZS линейка К1200ЦЛ-1 на которую через ряд фокусирующих линз, через объектив ГЕЛИОС 40-2 с фокусным расстоянием 85 мм, падал луч, генерируемый диодным лазером ДМ-8-650 (Рис 1-2).

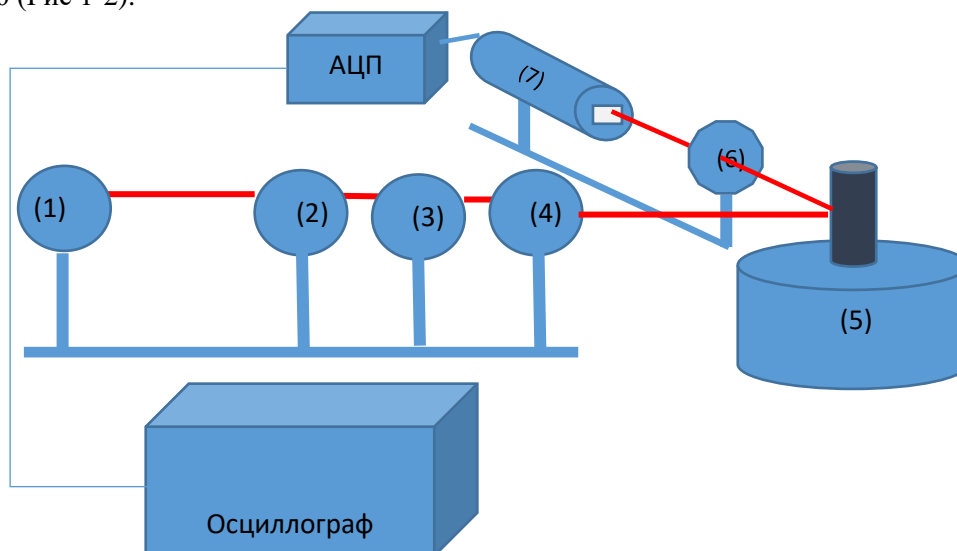


Рис.1 – Схема установки: 1- лазер ДМ-8-650, 2-поляризатор, -, 3-затемнитель 4- Цилиндрическая линза, 5- деталь, 6- объектив Гелиос, 7- PZS линейка К1200ЦЛ-1

В результате проведения измерений было обеспечено четкое устойчивое положение осциллограммы в осциллографе. Осциллограмма перемещалась влево или вправо при перемещении детали микрометрическим винтом, что позволяет говорить о применимости данного метода к определению дефекта формы. На фото изображены натурные экспериментальные фото.



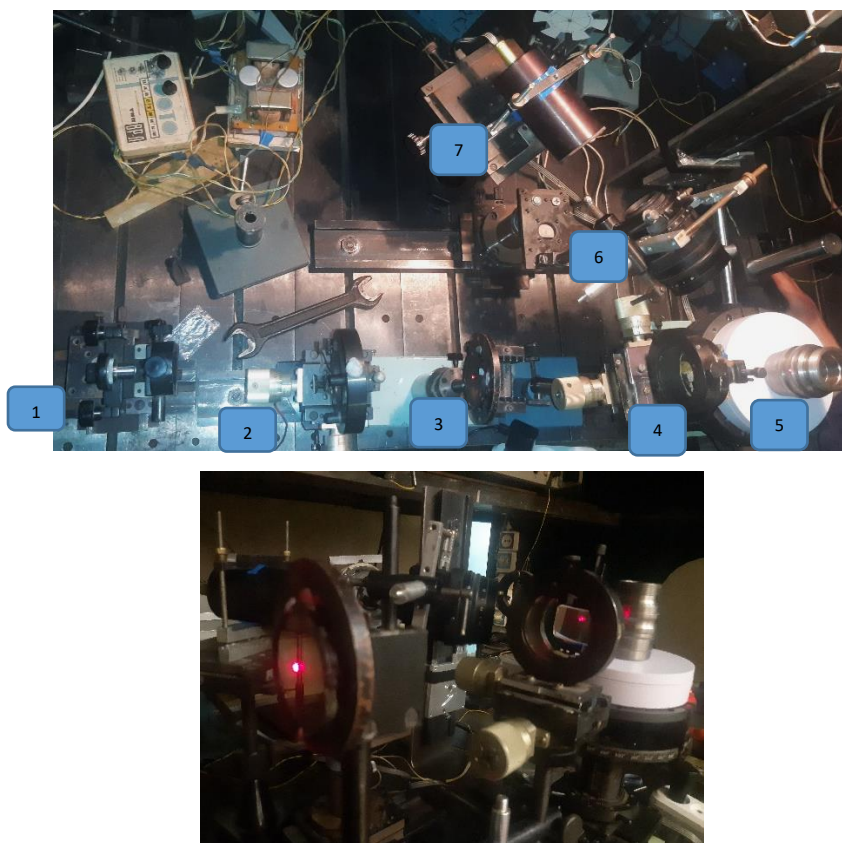


Рис.2 – Фото установки с включенным лазером. 1- лазер ДМ-8-650, 2-поляризатор, 3-затемнитель, 4-Цилиндрическая линза, 5- деталь, 6- объектив Гелиос, 7- PZS линейка К1200ЦЛ-1

Результаты отклонения осциллограммы при постепенном движении детали из дюралюминия представлены на рисунке 3-4.



Рис.3 – Движение осциллограммы при микросмещении детали

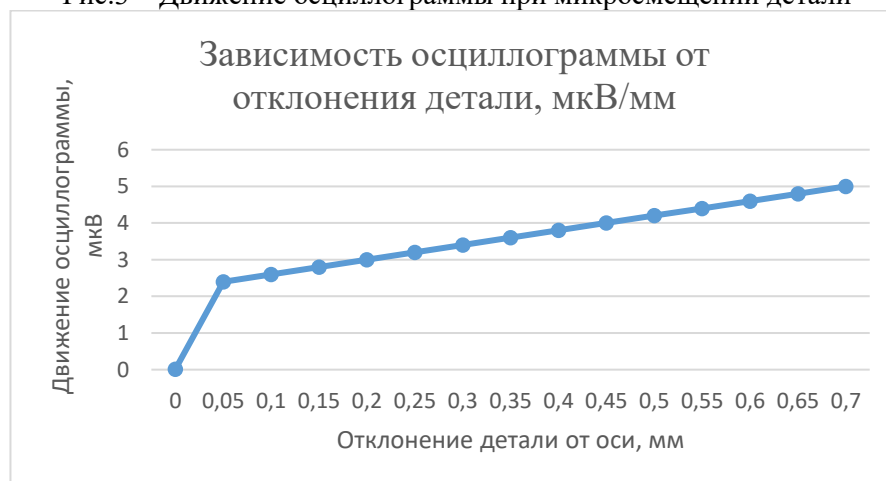


Рис. 4 – График результатов экспериментов, дюралюминий. На осциллографе установлены микровольты

Далее аналогичный эксперимент был осуществлен с конструкционной сталью. Результат представлен ниже (рисунок 5).

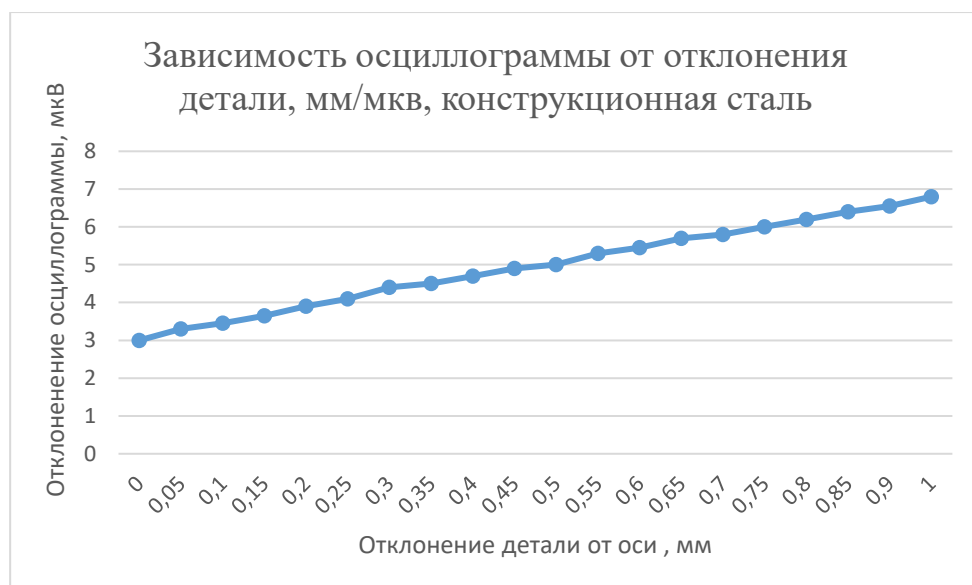


Рис. 5 – График результатов экспериментов, конструкционная сталь



Рис.6 – График результатов экспериментов, пластиковая тара

В процессе проведения исследования было выявлено, что датчик должен иметь ряд высокопроизводительных фильтров для аппроксимации сигнала и борьбы с алиасингом (наложением помех, к примеру-борьбе с засвечиванием), так как было отмечено, что при приближении посторонних световых бликов к лазеру, изменяется пространственная картина распределения волнового поля, что ведет к изменению показаний, необходимо применять блок коррекции.

За два года в ГУАП были разработаны программы для ЭВМ [3-6], рис.11, которые используются для преобразования оптических сигналов в графические модули. Представленный программный продукт в комплекте с прибором – вращающимся столом с установленной деталью, штативом с закрепленным лазером позволяет производить преобразование Фурье с входных сигналов, которые при отражении от объекта улавливает светоприемное устройство лазера. В результате эксперимента было выявлено, что лучшим образом с данной задачей справляется PZS линейка (Эксперименты, проведенные в ФИАН им П.Н.Лебедева) Успешно собранная в ФИАН установка позволяет дополнительно снижать помехи, создаваемые естественным освещением, теньевыми эффектами.

Выражаем Благодарность научному сотруднику Самарского филиала ФИАН О.А.Заякину.



### **Литература**

1. Гущина Е. А., Епифанцев 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 Самар. науч. центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 6. С. 184–188.
3. Свидетельство регистрации государственной программы на ЭВМ № 2023612860 «Программа для визуализации и подсчета результатов измерения дефектов формы цилиндрических твердотельных деталей оптическими методами», К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 февраля 2023 г.
4. Свидетельство регистрации государственной программы на ЭВМ № 2023616324 «Программа обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью преобразования Фурье для измерения дефектов формы цилиндрических твердотельных деталей», К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24 марта 2023 г.
5. Свидетельство регистрации государственной программы на ЭВМ № 2023664436 «Программа обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью функции Бесселя для измерения дефектов формы, месторасположения и биения», К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 05 июля 2023 г.
6. Свидетельство регистрации государственной программы на ЭВМ № 2024611413 «Программа для адаптации измерений дефектов формы при преобразовании частотных и емкостных параметров электрической цепи». К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 января 2024 г.

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОЙ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ МАТРИЧНЫХ ПУЧКОВ

В.А. Еремеева, О.Л. Ибряева

«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО «ЮрГУ (НИУ)»),  
Челябинск, Российская Федерация,  
ORCID: 0009-0001-8284-1887, eremeevava@susu.ru

## Аннотация

*Проблема измерения фазовой задержки между сигналами исследуется во многих прикладных задачах, таких как учет электроэнергии, измерение массового расхода и диагностика оборудования. В данной статье предложен способ измерения фазовой задержки между двумя сигналами на основе метода матричных пучков. Работоспособность метода и точность измерения фазовой задержки оценивается на примере диагностики состояния асинхронного двигателя.*

**Ключевые слова:** измерение фазовой задержки, обработка сигналов, метод матричных пучков, диагностика электродвигателя

Измерение фазовой задержки между несколькими сигналами необходимо в области экспериментальной физики, радиолокации, телекоммуникаций, оптики и т.д. Точность измерения фазовой задержки влияет на измерение расстояний, временных интервалов, углов, анализ характеристик сигнальных полей различной физической природы [1]. Так, точность кориолисова расходомера зависит от измерения разности фаз между двумя выходными сигналами измерительных катушек датчика [2]. Фазовая задержка используется для настройки режимов работы электрооборудования, а также для косвенного расчета параметров электрической энергии, например, активной и реактивной мощности, коэффициента мощности, несимметрии напряжения [3].

Одна из задач, где необходимо измерение фазовой задержки между сигналами – диагностика межвитковых замыканий статора асинхронного двигателя [4]. Ток в каждой питающей фазе двигателя отстает от напряжения на фазовую задержку  $\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ . У исправного двигателя  $\Delta\varphi$  каждой фазы равны между собой, так как сопротивление и индуктивность одинаковы для всех трех обмоток. Межвитковое замыкание в обмотке одной фазы вызывает изменение импеданса, в результате чего  $\Delta\varphi$  начинают отличаться друг от друга. Так как сигналы двигателя являются гармоническими, измерить фазовую задержку можно с помощью метода детектирования перехода сигнала через ноль [5]. Однако точность данного метода сильно зависит от частоты дискретизации, а также от уровня шума [6].

В данной работе предложен метод матричных пучков (ММП) для оценки фазовой задержки сигналов двигателя. ММП позволяет обрабатывать сигналы очень малой длительности при низкой частоте дискретизации даже в условиях высоких шумов [7-9]. ММП аппроксимирует последовательность отсчетов сигнала  $y(n)$  детерминированной экспоненциальной моделью:

$$\hat{y}(n) = \sum_{k=1}^M A_k \exp(j2\pi f_k nT + j\varphi_k) = \sum_{k=1}^M R_k z_k^n, \quad (1)$$

где  $M$  – число экспонент аппроксимирующей модели,  $n$  – номер отсчета,  $T$  – период дискретизации,  $A_k$ ,  $f_k$  и  $\varphi_k$  – амплитуда, частота и начальная фаза  $k$ -экспоненты,  $R_k = A_k \exp(j\varphi_k)$  – комплексная амплитуда,  $z_k = \exp(j2\pi f_k T)$  – комплексный полюс.

Задача ММП – найти оценки комплексных полюсов  $z_k$  и амплитуд  $R_k$ . Данные параметры необходимы для расчета фаз  $\varphi_k$  экспонент, связанных с основными гармониками напряжения и тока двигателя. Работа ММП сравнивается с методом перехода через ноль на модельных и экспериментальных сигналах двигателя при разных уровнях шумов. Пример определения фазовой задержки на модельных данных для двигателя А4-400ХК-4МУ3 показан на рисунке 1.

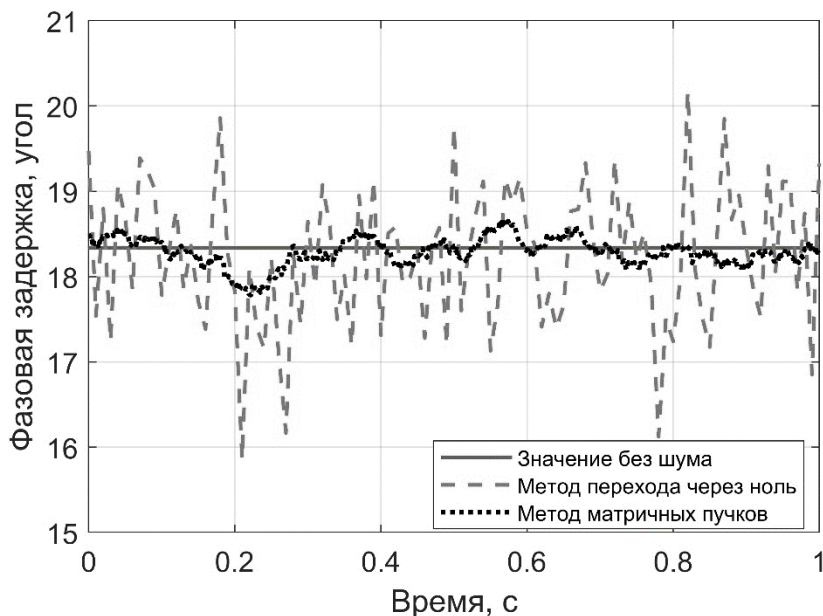


Рис.1. Значение фазовой задержки

Максимальная абсолютная ошибка фазовой задержки, полученная методом перехода через ноль, составляет  $2,48^\circ$ , для ММП –  $0,55^\circ$ . Таким образом, предложенный метод позволяет получить более точную оценку фазовой задержки для задачи диагностики обмотки двигателя.

#### Литература

1. Kuts Y., Kochan O., Lysenko I., Huminilovych R. Methodology for measuring phase shifts of signals using Discrete Hilbert Transform // Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Measurement. 2021. P. 18–21. Doi: 10.23919/Masurement52780.2021.9446811.
2. Yi P., Tu Y., Xie M., Shen T. Analysis of phase difference tracking methods for signal of 296oriolis mass flowmeter // Proceedings of the 10<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation. 2012. P. 4368–4373. Doi: 10.1109/WCICA.2012.6359215.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
4. Lashkari N., Poshtan J., Azgomi H.F. Simulative and experimental investigation on stator winding turn and unbalanced supply voltage fault diagnosis in induction motors using artificial neural networks // ISA Transactions. 2015. Vol. 59. P. 334–342. Doi:10.1016/j.isatra.2015.08.001.
5. Begovic M.M., Djuric P.M., Dunlap S., Phadke A.G. Frequency tracking in power networks in the presence of harmonics // IEEE Transactions on Power Delivery. 1993. Vol. 8. № 2. P. 480–486. Doi: 10.1109/61.216849.
6. Petrov A.V., Kostiukov D.A., Zvada P.A. The Study of Error of Determining the Phase Shift // Proceedings of the 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). 2023. P. 670–674. Doi: 10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110737.
7. Grant L.L., Crow M.L. Comparison of Matrix Pencil and Prony Methods for power system modal analysis of noisy signals // Proceedings of the 2011 North American Power Symposium. 2011. P. 1–7. Doi: 10.1109/NAPS.2011.6024892.
8. Ибряева О.Л., Салов Д.Д. Модификация метода матричных пучков, использующая совместное оценивание полюсов сигнала и обратных к ним // Вестник ЮурГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 1. С. 26–37. Doi: 10.14529/cmse170102.
9. Генри М.П., Ибряева О.Л., Салов Д.Д., Семенов А.С. Метод матричных пучков для оценки параметров векторных процессов // Вестник ЮурГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2017. Т. 10, № 4. С. 92–104. Doi: <https://doi.org/10.14529/mmp170409>.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ РЕЕСТРА УТВЕРЖДЕННЫХ ТИПОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

А.В. Ермолаев

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Оренбургской области»  
(ФБУ «Оренбургский ЦСМ»),  
Оренбург, Российская Федерация  
ave6990@ya.ru

## **Аннотация**

*В докладе анализируется текущее состояние раздела Утвержденные типы средств измерений ФГИС «АРШИН» в контексте цифровизации. На основании анализа перспектив развития ФГИС была разработана модель данных, позволяющая хранить информацию об утвержденных типах средств измерений и методиках поверки в формате электронного документа. Эта модель рассматривается как основа прототипа реестра средств измерений нового поколения.*

**Ключевые слова:** цифровизация, государственный реестр средств измерений, информационная система, база данных, модель данных, автоматизация метрологической деятельности

Метролог в процессе работы выполняет обработку значительного объема информации, хранящейся в различных источниках. В первую очередь это данные из государственного реестра средств измерений (ГРСИ), описания типа СИ (ОТ) и методики поверки (МП) такие как: метрологические характеристики средств измерений (СИ), сведения об условиях и операциях поверки, сведения о комплекте средств поверки, результаты измерений и наблюдений и так далее. Разрозненность источников данных, необходимость контроля актуальности сведений об утвержденных типах СИ и множество других факторов, в совокупности, увеличивают нагрузку на метрологов. Для сохранения эффективности работы метрологических подразделений необходима комплексная автоматизация метрологической деятельности, которая невозможна без развития существующей модели данных ГРСИ. Модель данных — способ описания базы данных (БД) с помощью формализованного языка на некотором уровне абстракции [1].

Курс на цифровизацию метрологии определен Стратегией обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [2], дал мощный импульс к развитию инструментов автоматизации метрологической деятельности, в числе которых можно выделить такие программные продукты как: МерСИ, ЕМП и UNITESS. Основным знаковым событием в вопросе цифровизации сферы метрологии стало создание федеральной государственной информационной системы «АРШИН» (ФГИС) [3]. Однако, сегодня к функционалу ФГИС предъявляются новые требования, в виду чего она имеет большие перспективы развития.

В настоящее время ОТ и МП во ФГИС хранятся в виде скан-копий документов, в виду чего автоматизированное извлечение и анализ хранящихся в них данных оказывается затруднительным. Ко всему прочему, на странице сведений об утвержденном типе СИ имеются ссылки только на последнюю редакцию ОТ и МП. Для достоверной идентификации СИ метрологу необходимо видеть всю историю изменений ОТ и МП, ведь не всегда последние версии этих документов распространяются на ранее выпущенные СИ.

Для исправления этой ситуации необходимо хранить данные из ОТ и МП в виде электронного документа (ЭД) пригодного для считывания и дальнейшей машинной обработки [4], а также реализовать прикладной программный интерфейс (ППИ) для обеспечения доступа к этим данным из существующего и вновь создаваемого ПО. ППИ необходим для поддержания баз данных метрологических платформ в актуальном состоянии, обеспечивая функционал для синхронизации БД ПО с данными ФГИС.

В ходе работы над проектом была создана модель данных, которая позволяет реализовать информационную систему (ИС) для хранения цифровых ОТ и МП [5]. Для демонстрации преимуществ рассматриваемой ИС реализован концептуальный прототип сервиса реестра СИ на базе разработанной модели данных.

Данные изменения откроют широкие возможности для пользователей СИ с точки зрения подбора оптимального по метрологическим характеристикам варианта СИ. Новый подход в формировании реестра СИ позволит также анализировать и устранять возможные ошибки в ОТ и МП на этапе внесения данных в ИС.

#### **Литература**

1. ГОСТ 34.321-96. Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными: введен впервые: дата введения 2001-02-22.
2. Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19.04.2017 № 737-р.
3. Российская федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ: с изм. Вступ. В силу с 28.12.2021: [Принят Государственной Думой 11 июня 2008 года: одобрен 18 июня 2008 года]. — Москва, 2021. — Доступ из справочно-правовой системы КонсультантПлюс.
4. ПНСТ 864-2023. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. Умные (SMART) стандарты. Общие положения: введен впервые: дата введения 2024-02-01.
5. Паньков А.Н., Муравьев Д.С. Концепция цифровой трансформации КОOMET // Главный метролог. 2024. № 1. С. 38-43.

# ОСОБЕННОСТИ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.В. Журавлев

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. А.М. Муратшина в Республике Башкортостан»  
Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация  
svusoka@yandex.ru

## Аннотация

На сегодняшний день не решена задача по обеспечению безопасности применения беспилотных авиационных систем (БАС). В статье рассмотрены задачи объективной оценки безопасности применения и комплексные методы оценки технических характеристик БАС. Рассмотрена концептуальная модель стационарного стенда для решения задач комплексных наземных и имитационных летных испытаний БАС (далее – Стенд), которые включают в себя контроль технических характеристик и определение устойчивости к внешним воздействиям. В Стенде реализовано моделирование ситуации и создание условий, приближенных к реальным для выявления скрытых отказов, определения фактических характеристик, позволяющих установить для БАС эксплуатационные ограничения по результатам испытаний.

**Ключевые слова:** Беспилотные авиационные системы, испытания БАС, контроль технических характеристик, наземные испытания БАС, имитационные летные испытания БАС

С 1 января 2024 г. в Российской Федерации стартовал национальный проект «Беспилотные авиационные системы» (БАС). Проект определяет стратегию развития беспилотной авиации на период до 2030-2035 гг. В ближайшее время в стране появится перспективная самостоятельная отрасль экономики, связанная с созданием и использованием гражданских беспилотников. Национальный проект БАС станет основным управленческим механизмом реализации принятой стратегии. [1]

На сегодняшний день не решена задача по обеспечению безопасности использования беспилотных авиационных систем. БАС – средство повышенной опасности. Чтобы не подвергать жизни людей риску, необходимо непосредственное участие Росстандарта в проведении испытаний.

Предложена концептуальная модель стационарного Стенда для решения задач комплексных наземных и имитационных летных испытаний БАС, которые включают в себя контроль технических характеристик и определение устойчивости к внешним воздействиям.

Стенд контроля характеристик БАС позволит:

- 1) визуально моделировать ситуации и создавать условия, приближенные к реальным для выявления скрытых отказов, определения фактических характеристик, позволяющих установить для БАС эксплуатационные ограничения по результатам испытаний;
- 2) предотвратить несчастные случаи и исключить затраты на восстановление испытуемого образца в результате отказа узлов или компонентов при летных испытаниях;
- 3) выполнять экспериментальные работы, юстировку, калибровку узлов и компонентов БАС;
- 4) проводить обучение управлению и предполетную подготовку.

Испытаниям по оценке маневренности БАС всегда предшествует сложная работа по математическому моделированию их полета на предельных режимах и определению условий потери устойчивости, которые могут привести к штопору, появлению сильных вибраций и разрушению БАС, либо повреждению отдельных его конструктивных элементов. [2]

Таблица

№	Возможности Стенда
1	Испытания на воздействие агрессивных условий окружающей среды
2	Испытания на ветроустойчивость
3	Испытания на деструктивное воздействие солнечного света
4	Испытания БАС на виброустойчивость

5	Оценка возможностей БАС обрабатывать статические и динамические навигационные данные
6	Определение согласованности и времени отклика БАС на воздействия пульта управления
7	Оценка маневренности БАС, определение условий потери устойчивости
8	Оценка нагрузок, действующих на конструкцию БАС
9	Оценка возможности БАС удержать заданную высоту и восстановить управляемость в результате отказа двигателя
10	Определение весогабаритных размеров БАС
11	Определение максимально возможной полезной нагрузки БАС
12	Имитация набора высоты и снижения БАС
13	Имитация лобового сопротивления воздуха

Стенд позволит создать условия при проведении наземных и имитационных лётных испытаний БАС на влияние внешних факторов, таких как положительная и отрицательная температура окружающего воздуха, повышенная влажность воздуха, обледенение, влияние скорости ветра, без влияния на окружающую среду за счет замкнутого контура и циркуляции воздуха внутри системы. Позволит провести оценку поведения БАС в смоделированных ситуациях с применением имитатора Глобальной навигационной спутниковой системы совместно с другими системами из состава Стенда. Позволит провести оценку возможности БАС удержать заданную высоту и восстановить управляемость в результате отказа двигателя.

#### **Заключение**

В результате проделанной работы разработан концепт стационарного Стенда для проведения комплексных наземных и имитационных летных испытаний БАС, которые включают в себя определения технических и метрологических характеристик, устойчивости к внешним воздействиям. Проведены экспериментальные испытания с применением испытываемого образца БАС и функционирующего макета Стенда. Получены результаты испытаний.

Реализация и внедрение вышеизложенных испытаний даст возможность сделать шаг к безопасным полетам БАС.

#### **Литература**

1. Правительство России. Национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [Электронный ресурс]. [<http://government.ru/rugovclassifier/906/events/>] (дата обращения: 11.04.2024).
2. д. т. н., проф. Г. П. Шибанов. ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ, журнал «Проблемы безопасности полетов», 2008, с. 16 – 48.
3. Коновалов С.Ф., Никитин Е.А., Селиванова Л.М. — Учеб. Пособие. Под ред. Д.С. Пельпора. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Высш. Школа, 1980, Ч. II.

# ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ СОСТАВА ВЕЩЕСТВ – ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА В ФБУ «НИЖЕГОРОДСКИЙ ЦСМ»

**М.В. Заводской**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области»,  
Нижний Новгород, Российская Федерация  
zavodskoi@nncsm.ru

## **Аннотация**

*В докладе отражены основные этапы развития деятельности ФБУ «Нижегородский ЦСМ» в области производства стандартных образцов за период с 1990 года по настоящее время. Приведены номенклатура производимых стандартных образцов, план развития производства на ближайшую перспективу.*

**Ключевые слова:** стандартные образцы состава газовых смесей, поверочные газовые смеси, утвержденного типа стандартные образцы состава, стандартные образцы состава водных растворов этанола

Нижегородский регион сформировался как один из ключевых промышленных и научных центров России. Развитие и совершенствование технологий в таких отраслях промышленности, как химическая и нефтегазовая привело к появлению новых типов средств измерительной техники, в том числе газоаналитического назначения.

Газоаналитические измерения имеют значительную роль в мониторинге выбросов предприятий для оценки их экологического воздействия, в обеспечении безопасности труда. Основным средством поверки газоаналитических приборов являются утвержденного типа стандартные образцы состава газовых смесей в баллонах под давлением (ГСО-ПГС), выпускаемые в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.776-2011 «ГСИ. Стандартные образцы состава газовых смесей. Общие метрологические и технические требования».

Развитие направления производства ГСО-ПГС в ФБУ «Нижегородский ЦСМ» началось ещё в начале 1990-х годов совместно с сотрудниками лаборатории газовой хроматографии Научно-исследовательского института при Нижегородском университете им. Н.И. Лобачевского. В составе научно аналитического отдела ФБУ «Нижегородский ЦСМ» была организована группа специалистов, занимавшихся вопросами разработки стандартных образцов состава газовых смесей. В ходе работ спроектирована, изготовлена и введена в эксплуатацию газосмесительная установка, установка для подготовки баллонов, приобретено необходимое вспомогательное оборудование. Приготовление газовых смесей осуществляется манометрическим методом на газосмесительной установке. В основе метода лежит закон парциальных давлений. Содержание компонентов в газовых смесях проверяется путем анализа проб, отбираемых из каждого баллона. Аналитический контроль осуществляется хроматографическим методом с помощью двух газовых хроматографов «Цвет-560», а также лазерного интерферометра «Лазир».

В 1995 году ФБУ «Нижегородский ЦСМ» получил право на выпуск поверочных газовых смесей, сначала в статусе аттестованных газовых смесей, а в октябре 1998 года на основании лицензии осуществляет выпуск ГСО состава газовых смесей.

В 2004 году, после выхода ГОСТ 8.578-2002 ФБУ «Нижегородский ЦСМ» предоставил на регистрацию рабочий эталон 1-го разряда единицы объемной доли компонентов в газовых смесях. В состав этого эталона входит уже более современный газовый хроматограф «Цвет-800», а несколько позже устаревшие хроматографы «Цвет-560» заменены на хроматографические комплексы модульного типа «Хромос ГХ-1000» с полностью автоматизированным способом управления режимами работы прибора и обработки результатов измерений.

В 2008 году ЦСМ создает и представляет на регистрацию рабочий эталон 0-го на базе компаратора массы фирмы Sartorius. Изготовление ГСО осуществляется гравиметрическим способом.

С 2013 года «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» реализует концепцию «широкоформатных» типов стандартных образцов состава газовых смесей. В связи с этим НЦСМ разрабатывает на базе функционирующих эталонов новых «широкоформатных» утвержденного типа стандартных образцов



состава искусственных газовых смесей. Компонентный состав нового типа стандартных образцов включает все определяемые компоненты, которые могут быть с достаточной степенью точности аттестованы с помощью газоаналитической аппаратуры, входящей в состав того или иного эталона. Типы ГСО различаются по разрядам (0-й, 1-й или 2-й), относительной расширенной неопределенностью аттестованного значения, по газам-разбавителям.

Одним из новых направлений деятельности ФБУ «Нижегородский ЦСМ» является изготовление и аттестация стандартных образцов состава водных растворов этанола 1-го разряда (ВРЭ). В период с 03.2019г. по 10.2019г. ФБУ «Нижегородский ЦСМ» совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» провело серию научно-технических работ по созданию рабочего эталона единицы массовой концентрации этанола в водных растворах 1-го разряда в диапазоне значений от 0,10 до 6,0 мг/см<sup>3</sup>. И уже в 2020 году ФБУ «Нижегородский ЦСМ» приступил к серийному производству ВРЭ.

Метрологические характеристики ГСО-ПГС 0-го разряда определяются на функционирующем в ФБУ «Нижегородский ЦСМ» комплексе аппаратуры, входящем в состав государственного вторичного эталона единицы молярной доли компонентов в газовых смесях в диапазоне значений от 0,0010 % до 99,5 % ВЭТ 154-0-7-2008 (рег. № 2.1.ЗБН.0173.2016), гравиметрическим способом с последующим расчетом содержания определяемых компонентов в ГСО-ПГС по процедуре приготовления с обязательным контролем промахов с помощью комплекса аналитической аппаратуры, входящей в состав РЭ 1-го разряда.

Метрологические характеристики ГСО-ПГС 1-го и 2-го разрядов определяются на функционирующем в ФБУ «Нижегородский ЦСМ» комплексе аналитической аппаратуры, входящем в состав рабочего эталона 1-го разряда единицы объемной доли компонентов в газовых смесях РЭ 154-1-5-2004 (рег. № 3.1.ЗБН.0183.2013), путем проведения измерений содержания определяемых компонентов.

Стандартные образцы состава водных растворов этанола 1-го разряда аттестуются с использованием государственного рабочего эталона 1 разряда единицы массовой концентрации этанола в газовых смесях в диапазоне значений от 40 до 2000 мг/м<sup>3</sup> и в водных растворах в диапазоне значений от 0,10 до 6,0 мг/см<sup>3</sup> (рег. № 3.1.ЗБН.2907.2021).

Изготовление ГСО-ПГС производится в соответствии с ТУ 2114-001-02567296-2015 «Смеси газовые поверочные – стандартные образцы состава. Технические условия». Изготовление ВРЭ производится в соответствии с ТУ 20.59.59-002-02567296-2020 «Стандартные образцы состава водного раствора этанола. Технические условия».

Таблица 1 – Перечень стандартных образцов утвержденного типа

Номер ГСО по Госреестру	Наименование типа ГСО, определяемые компоненты	Разряд
ГСО 10650-2015	СО состава искусственной газовой смеси в Азоте (N <sub>2</sub> -НЦ-0), O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , H <sub>2</sub>	0
ГСО 10651-2015	СО состава искусственной газовой смеси в Азоте (N <sub>2</sub> -НЦ-1), O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , H <sub>2</sub>	1
ГСО 10652-2015	СО состава искусственной газовой смеси в Азоте (N <sub>2</sub> -НЦ-2), O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2
ГСО 10653-2015	СО состава искусственной газовой смеси в Воздухе (Air-НЦ-1), CO, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1
ГСО 10654-2015	СО состава искусственной газовой смеси в Воздухе (Air-НЦ-2), CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2
ГСО 10655-2015	СО состава искусственной газовой смеси в Гелии (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> /He)	2
ГСО 11605-2020	СО состава водного раствора этанола	1

В ближайшей перспективе ФБУ «Нижегородский ЦСМ» планирует реализацию проекта по производству многокомпонентных газовых смесей, включая имитатор природного газа (ИПГ). Этот проект будет способствовать расширению ассортимента стандартных образцов, предлагаемых центром, и удовлетворению потребностей клиентов для поверки и калибровки газоаналитического оборудования.

Для организации производства ИПГ рассматривается возможность строительства специализированного цеха. Это даст возможность увеличить производительность за счет оптимизации процессов производства и размещения оборудования. Также планируется закупка современного газового хроматографического комплекса ХРОМОС ГХ-1000. Этот комплекс обеспечит высокую точность и надежность анализа газовых компонентов. Кроме того, планируется приобретение

газосмесительной установки, которая позволит создавать многокомпонентные газовые смеси с заданным составом и концентрацией.

В итоге, организация производства стандартных образцов многокомпонентных газовых смесей, включая ИПГ, с использованием современного оборудования позволит обеспечить высокое качество продукции, точность измерений и соответствие современным стандартам и требованиям. А также способствует расширению рынка сбыта и увеличению конкурентоспособности продукции ФБУ «Нижегородский ЦСМ» на рынке стандартных образцов, откроет новые перспективы для расширения услуг и удовлетворения потребностей заказчиков, работающих в газовой отрасли. Этот шаг позволит ФБУ «Нижегородский ЦСМ» стать еще более востребованным поставщиком стандартных образцов и укрепить своё положение на рынке метрологических услуг и продукции.

#### **Литература**

1. *Игнатъев Р.А., Балашов Ф.В.* Развитие производства поверочных газовых смесей в ФБУ «Нижегородский ЦСМ» - от аттестации газовых смесей к утвержденному типу стандартным образцам состава газовых смесей // Стандартные образцы. 2015. № 2. С. 62-66.

2. *Игнатъев Р.А., Заводской М.В.* Создание рабочего эталона единицы массовой концентрации этанола в водных растворах 1-го разряда // Главный метролог. 2020. № 2. С. 56-60.

3. ГОСТ 8.315-97 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения. М., 1998.

# ПРОБЛЕМЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРИМЕСЕЙ В АРГОНЕ ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ

С.В. Завьялов<sup>1</sup> В.А. Чуев<sup>2</sup> С.Н. Гершкович<sup>3</sup> Л.А. Конопелько<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
<sup>3</sup>ООО «Сенсор»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **Аннотация**

*Рассмотрены области применения чистого аргона. Приведены его основные физико-химические характеристики по ТУ 2114-010 -05015259-2015. Рассмотрены основные способы анализа примесей в чистом аргоне.*

**Ключевые слова:** *аргон высокой чистоты, чистый газ, газовая хроматография, детектор газового хроматографа*

Чистые газы, один из которых аргон, играют важную роль в современной промышленности и находят широкое применение в ее различных отраслях. Области применения аргона: металлургия, микроэлектроника, метрология и другие. Наличие в аргоне примесей оказывает негативное влияние на его физико-химические свойства. А это в свою очередь может повлиять на эффективность его использования в определенных процессах, а также приводить к браку продукции, например, когда аргон используется в качестве защитного газа в ионизационных камерах. Основной проблемой при использовании чистого аргона является контроль примесей других газов.

Для определения содержания примесей в газообразном аргоне используют различные методы, одним из которых является анализ аргона методами газовой хроматографии с применением хроматографов, оснащенных различными типами детекторов и колонок с сорбентами, на которых происходит разделение примесей. Наиболее часто используемые детекторы:

- детектор по теплопроводности (ДТП);
- гелиево-ионизационный детектор (ГИД);
- пламенно-ионизационный детектор (ПИД) + метанатор [3].

Чувствительности ДТП недостаточно для анализа примесей в аргоне марок 5,5 и 6,0, на ГИД не представляется возможным анализ примеси кислорода (необходимо использовать кулонометрический или пьезоэлектрический газоанализатор), к тому же для анализа примесей оксида углерода, диоксида углерода и метана необходим ПИД с метанатором. Таким образом, для анализа примесей в чистом аргоне целесообразно использовать аргоновый детектор.

В мире выпускаются детекторы, работающие на аргоне и имеющие разный принцип действия [1,2]. Отечественные детекторы такого типа пока не выпускаются, но есть ряд новых разработок, одной из которых является газовый емкостно – плазменный аргоновый резонансный детектор (ГЕПАРД), разработанный в ООО «Сенсор». Чувствительность данного детектора на порядок выше чувствительности ДТП и сопоставима с чувствительностью ГИД.

Внедрение в метрологическую практику газового емкостно – плазменного аргонового резонансного детектора «ГЕПАРД», позволит повысить эффективность контроля качества производимого аргона марок 6,0, 5.5 и ниже в едином режиме и на требуемом уровне.

## **Литература**

1. History – GOW – MAC Instrument Company: [Электронный ресурс] // GOW – MAC Instrument Co. URL: <https://www.gow-mac.com/index.php/history/>. (Дата обращения: 21.03.2024).
2. Крылов Е. В. Газоразрядный ионизатор в аргоновом ионизационном детекторе //Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70. – №. 11. – С. 126-132.
3. STANDARD FOR ARGON (Ar), BULK LIQUID, 99.9992 % QUALITY // SEMI C3.46-1993.

## О ВОПРОСАХ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**А.Р. Закирова**

ООО «Газпром трансгаз Уфа»,  
Уфа, Российская Федерация  
azakirova@ufa-tr.gazprom.ru

### **Аннотация**

*Создание и развитие Федерального информационного фонда, в том числе ФГИС «АРШИН», стало своевременным и современным решением в обеспечении единства измерений. Цифровизация метрологической деятельности коснулась также и сферы аккредитации с развитием ФГИС Росаккредитации. Однако с рядом преимуществ применения Федеральных информационных систем, имеются и некоторые проблемы, которые необходимо и возможно решить на государственном уровне.*

**Ключевые слова:** *ФГИС «АРШИН», ФГИС Росаккредитации, сведения о поверке, интеграция информационных систем, пакетная загрузка, шаблонная загрузка*

Федеральный закон от 27.12.2019 № 496-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» стал первым шагом цифровизации метрологического обеспечения. Именно с поверки средств измерений начался этот процесс, так как поверка является важнейшей функцией процесса метрологического обеспечения и имеет массовый характер – ежегодно поверку проходят миллионы средств измерений. Сведения о поверках хранятся в информационной системе (далее – ИС) ФГИС «АРШИН». Указанные сведения аккредитованные на поверку лица обязаны передавать в Федеральный информационный фонд в течение 40 рабочих дней (для эталонов 20 дней).

Кроме того, согласно требованиям приказа Минэкономразвития от 24.10.2020 № 704, аккредитованное лицо обязано вносить сведения так же в другую ИС – ФГИС Росаккредитации (ФГИС РА). Сроки внесения сведений во ФГИС РА при этом значительно сокращены – 10 рабочих дней. Сведения, вносимые в обе ИС, дублируются и имеют ссылки от ФГИС «АРШИН» во ФГИС РА.

Основной проблемой аккредитованных лиц является внесение большого количества информации в одну систему, выгрузка дополнительных сведений из нее и загрузка обновленных данных в другую ИС. Указанный процесс был упрощен введением возможности пакетного способа загрузки данных в ИС. Однако, так называемые «пакеты» содержат разное количество данных и не могут послужить единым шаблоном для обеих систем. Трудозатраты и вероятность ошибок при внесении сведений о поверке, а также короткие сроки, установленные законодательством, вынуждают аккредитованные лица обращаться к различным программам, макросам, которые, в свою очередь, не гарантируют безошибочной интеграции между системами.

Дополнительным минусом пакетной загрузки данных является отсутствие обратной связи, а также элементарной проверки наличия тех или иных сведений. При этом, имеющиеся сведения в ИС, ошибочно загруженные повторно, заменяются новыми без уведомления аккредитованного лица о дублировании внесенных данных.

Разработкой ПО, упрощающих ввод данных в обе системы, занимаются многие производители различных АРМ, однако, во-первых, это несет значительные затраты для аккредитованных лиц, осуществляющих поверку СИ, а во-вторых, внедрение АРМ, требующее полной консолидации данных о применяемых СИ, не всегда гарантирует простоту и полноту передачи требуемых данных в обе системы.

Решением обозначенной проблемы может являться интеграция Федеральных информационных систем, выполненная на государственном уровне. Это обеспечило бы значительное упрощение работы как юридических лиц, осуществляющих поверку СИ, так и экспертных организаций, контролирующих выполнение критериев аккредитации аккредитованных лиц.

Направление цифровизации метрологического обеспечения, в том числе с применением информационных систем в области обеспечения единства измерений, необходимо развивать не только в рамках рынка программных продуктов, но и с помощью инструментов во взаимодействии между различными информационными системами, контролируемых государством.

## **Литература**

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Приказ Минэкономразвития России 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».
3. Федеральный закон от 27.12.2019 № 496-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений».
4. Приказ Росаккредитации от 14.11.2022 № 219 «Об утверждении Руководства по соблюдению обязательных требований, установленных пунктом 2 части 1 статьи 13 Федерального закона от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».
5. Приказ Минэкономразвития России от 28.01.2021 № 34 «Об утверждении Перечня несоответствий заявителя критериям аккредитации, которые при осуществлении аккредитации влекут за собой отказ в аккредитации, и Перечня несоответствий аккредитованного лица требованиям законодательства Российской Федерации к деятельности аккредитованных лиц, влекущих за собой приостановление действия аккредитации».

# ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ И ПОВЕРКИ АПВГК

**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  
m.s.ivanov@vniim.ru

## **Аннотация**

*В докладе рассматриваются основные проблемы, связанные с измерениями осевых нагрузок транспортных средств в движении с применением автоматизированных пунктов весогабаритного контроля. Описывается конструкция, принцип действия устройства динамической нагрузки и анализируется возможность его применения при проведении испытаний и поверки автоматизированных пунктов весогабаритного контроля.*

**Ключевые слова:** измерения массы, автоматизированные пункты весогабаритного контроля, динамическая нагрузка, поверка, испытания в целях утверждения типа

Измерение осевых нагрузок грузовых транспортных средств является важной частью обеспечения безопасности дорожного движения, так как превышение допустимых норм может приводить к аварийным ситуациям на дороге и к быстрому износу дорожного полотна. Для измерения осевых нагрузок в движении применяют автоматизированные пункты весового и габаритного контроля (далее – АПВГК).

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации №1847 [1] измерения осевых нагрузок транспортных средств в движении на АПВГК в диапазоне от 1500 до 20000 кг и свыше относятся к сфере государственного регулирования. В описаниях типа большинства АПВГК утвержденного типа во ФГИС «АРШИН» указано значение максимальной осевой нагрузки равное 20000 кг при максимальной скорости проезда транспортного средства до 140 км/ч.

Классический метод испытаний в целях утверждения типа и поверки подразумевает применение контрольного транспортного средства, осевые нагрузки которого определяются с применением весов в статическом режиме. Далее проводится ряд контрольных проездов с целью подтверждения метрологических характеристик АПВГК. По объективным причинам применение транспортного средства с осевой нагрузкой близкой к 20 т и скоростью проезда свыше 100 км/ч невозможно. Поэтому для подтверждения метрологических характеристик АПВГК при предельных значениях осевой нагрузки и скорости предлагается применение устройства динамической нагрузки (далее – УДН).

В состав УДН входят грузы различной массы, закрепляемые на направляющей, тренога для установки устройства над силоприемным модулем АПВГК и резиновые демпфирующие подкладки. Для воспроизведения силового воздействия на силоприемный модуль АПВГК, груз, закрепленный на определенной высоте, отпускают. Под действием ускорения свободного падения он скользит вдоль направляющей и соударяется с чувствительными элементами силоприемного модуля АПВГК. Данный процесс имитирует проезд колеса транспортного средства через силоприемный модуль. Конструкция устройства представлена на рисунке 1.

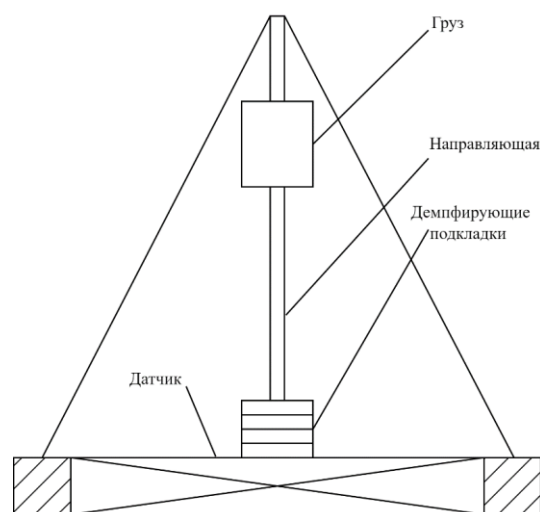


Рис. 1 – Схема конструкции УДН

Для определения возможности применения УДН при проведении испытаний и поверки АПВГК были проведены экспериментальные исследования. Были проведены проезды контрольного транспортного средства с известными значениями осевых нагрузок и при различных скоростях. Далее были проведены исследования по воспроизведению осевой нагрузки с применением УДН. При анализе результатов было установлено, что с помощью УДН при различных значениях массы подвесного груза, толщины демпфирующих прокладок и высоты падения груза воспроизводится нагрузка от 700 до 2200 кг при скоростях от 70 до 260 км/ч.

Для разработки УДН и расчета значений погрешности воспроизведения динамической нагрузки планируется разработка математической модели УДН на основе нелинейной упругопластической [2] и вязкоупругопластической модели удара [3].

#### Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации №1847 от 16 ноября 2020 г «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
2. Лапшин В.В., Юрин Е.А., Нелинейная упругопластическая модель коллинеарного удара // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 1. С. 90-99. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-1-90-99.
3. Боровин Г.К., Лапшин В.В. Обобщенная модель удара Герца-Ханта-Кроссли // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2018. № 6. С. 18-30. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-6-18-30.
4. Сенянский М.В., Гавриленков С.И., Метод оценки точности автоматических измерений весовых параметров автотранспортных средств при максимальных скоростях и осевых нагрузках // ПРИБОРЫ. 2021. № 9. С. 44-54.

# ВОЗРАСТАНИЕ РОЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ И ПОВЕРКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

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  
ivanovms@b10.vniim.ru

## **Аннотация**

*В докладе представлен обзор способов применения дистанционной калибровки средств измерений, т.е. калибровки с использованием технологий удалённого доступа, либо автоматизированных измерений.*

**Ключевые слова:** *средства измерений, дистанционная поверка, дистанционная калибровка, технологии удалённого доступа, метрология цифровых измерений, интернет вещей*

Поверка технически сложных стационарных средств измерений, например, таких как хроматографы, дифрактометры, эмиссионные и атомно-абсорбционные спектрометры, масс-спектрометры и т.п., требует обязательного выезда поверителя к месту нахождения средства измерений, так как их практически невозможно доставить на площадку организации, аккредитованной на проведение поверки, ввиду большого ряда технических и логистических проблем.

Несмотря на то, что на 2024 год в Российской Федерации зарегистрировано 86 центров стандартизации, метрологии и сертификации, которые являются федеральными государственными учреждениями и выполняют функции государственной метрологической службы в пределах федеральных округов, в их области аккредитации очень часто встречаются «пробелы», которые не позволяют удовлетворить все потребности в поверке сложных стационарных средств измерений (далее по тексту – СИ), используемых на промышленных предприятиях обслуживаемого ими округа. Как правило, в таком случае владельцы СИ вынуждены обращаться в научные метрологические центры, расположенные, в основном в г. Москве и г. Санкт-Петербурге, что порождает для заказчиков сложности, связанные с большими сроками выполнения работ и значительными экономическими расходами, связанными с выездами поверителей из центра страны в регионы, зачастую удалённые на несколько тысяч километров. Актуальным выходом из этой ситуации представляется дистанционная поверка средств измерений.

Помимо причин, указанных выше, эпидемия ковида, имевшая место в 2020-2022 годах, оказала заметный негативный эффект на осуществление поверок, связанных с необходимостью выезда поверителей на площадки заказчиков в связи с введёнными ограничениями на передвижение людей, на пользование транспортом и усложнением правил прохода на территорию. В момент, когда были приняты законодательные меры по ограничению мобильности населения в целях нераспространения вируса, поверочная отрасль достаточно остро ощутила, что отсутствие в законодательстве по метрологии чётко прописанных правил о возможности использования способов дистанционной поверки средств измерений не вполне соответствует запросам времени.

При этом, уровень технического оснащения у большинства существующих современных средств измерений позволяет управлять ими с применением технологий удалённого доступа и передавать результаты измерений на неограниченные расстояния, посредством сети интернет. Встроенное ПО таких СИ позволяет формировать детальные отчёты, которые возможно сохранять, распечатывать, отправлять дистанционно.

Концепции, направленные на применение технологий удалённого доступа при измерениях, стали активно развиваться еще в 90-е годы 20-го века. Один из первых результатов о возможности управления средствами измерений дистанционно был доложен в октябре 1997 года во время проведения 4-ой Конференции по измерению характеристик оптического волокна (Optical Fibre Measurement Conference) [1]. В мае 2001 на конференции, посвящённой измерительным приборам и технологиям, представители Национальной Физической Лаборатории Великобритании продемонстрировали результаты дистанционной калибровки автоматических анализаторов параметров электрических



цепей: им удалось совершить измерения с применением эталона посредством подключения к интернету [2].

Из многообразия идей, отражённых в публикациях, видно, что дистанционные измерения проводятся 2 способами:

- 1) Измерения с подачей сигнала с удалённого эталона по электрическим цепям;
- 2) С использованием эталона, устанавливаемого оператором непосредственно в СИ.

В обоих случаях получение результата измерений происходит в автоматическом режиме по команде, передаваемой посредством технологий удалённого доступа к СИ. Измерения происходят без участия пользователя, так как калибровщик обладает возможностью запуска измерений посредством управляющей программы, функционал которой позволяет не отслеживать каждый этап проведения измерений. После окончания проведения измерений результат будет выведен на экран, либо сохранён в виде отчёта.

Измерения первым способом осуществимы для СИ, на которые возможно подавать сигнал с удалённого эталона по электрическим цепям, наиболее часто представленные в области измерения электрических величин: вольтметры, осциллографы, счётчики электроэнергии переменного тока, измерители коэффициента мощности, мультиметры. В настоящее время практически реализована дистанционная калибровка СИ с применением подобных измерений [1-17].

Калибровка с применением второго способа измерений является более сложной для реализации. Понадобится участие как минимум двоих специалистов: калибровщика (поверителя) и оператора, находящихся в разных местах, но совершивших подключение по видеосвязи. Калибровщик занимается дистанционным управлением средством измерений, оператор подготавливает СИ к измерениям (включает, производит подключение узлов, налаживает видеосвязь, устанавливает эталоны). В задачи калибровщика входит контроль за правильностью проведения операций поверки, таких как:

- пригодность эталона;
- проведение измерений;
- получение результата;
- отсутствие программных уязвимостей, ведущих к подделыванию получаемой информации

Калибровка и поверка СИ с применением второго способа измерений, несмотря на высокую степень актуальности этой задачи, разработаны гораздо слабее, чем для СИ с применением первого способа, о чём говорит довольно малое количество публикаций. Данный способ измерений реализуем к применению для аналитического оборудования в области измерения физико-химических и оптических измерений величин, для поверки и калибровки которых используются эталоны, сами требующие регулярной поверки, калибровки или аттестации [18-20]. Список данного оборудования включает в себя следующие типы: инфракрасные анализаторы, спектрофотометры, хроматографы, рентгенофлуоресцентные спектрометры.

В настоящее время в отделе физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» ведётся работа по разработке методов удалённой поверки СИ для оптико-физических измерений, в частности инфракрасных анализаторов «Инфраскан» [21].

#### **Литература**

1. O'Dowd R., Maxwell D., Ferrel T., Dunne J. // Proc. Of 4<sup>th</sup> Optical Fibre Measurement Conference. October 1997. P. 155–158
2. Dudley, R A; Ridler, N M (2001) Internet calibration direct to national measurement standards for automatic network analysers. In: IMTC 2001 – 18<sup>th</sup> IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 21-23 May 2001, Budapest, Hungary
3. Толочко Т. К., Гусинский А. В., Кострикин А. М. Дистанционная калибровка средств измерений // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2008. – №. 1 (31). – С. 38-43.
4. Ершов И. А. Программно-аппаратный комплекс дистанционной калибровки средств измерений электрических величин // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – №. 4 (26). – С. 29-33.
5. Ершов И. А. Разработка методики дистанционной калибровки вольтметров // Автоматика и программная инженерия. – 2020. – №. 1 (31). – С. 12-17.
6. Tian W. et al. A remote automatic detection and calibration device for AC Watt-hour meters // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2005. – №. 1. – С. 012226.
7. Wang Q. et al. A remote calibration device using edge intelligence // Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 1. – С. 322.
8. Gunawan T. S. et al. Design of power factor meter using internet of things for power factor improvement, remote monitoring and data logging // Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci. – 2020. – Т. 17. – №. 2. – С. 700.

9. Yoshida H. et al. Measuring-instrument remote-calibration system and measuring-instrument remote-calibration method: пат. 7130752 США. – 2006.
10. Гурин Р. В., Баранов П. Ф. Организация дистанционной калибровки средств измерений электрических величин //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2014. – Т. 324. – №. 5. – С. 108-114.
11. Петрунин В. В. Использование персонального компьютера для проверки параметров радиоизмерительных приборов //Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2005. – Т. 1. – С. 243-245.
12. Толочко Т. К., Гусинский А. В., Кострикин А. М. Дистанционная калибровка измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения vNa 25-37 //Наука и техника. – 2007. – №. 5. – С. 29-35.
13. Ревин В. Т. Использование виртуальных моделей средств измерений при изучении метрологических дисциплин //XI Международная научно-методическая конференция «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века». – 2019.
14. Зезюлина Т. К., Гусинский А. В., Кострикин А. М. Разработка и внедрение метода дистанционной калибровки в аккредитованных лабораториях //Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2010. – №. 2 (48). – С. 37-42.
15. Benitez R. Wireless calibration for Industry 4.0 //19<sup>th</sup> International Congress of Metrology (CIM2019). – EDP Sciences, 2019. – С. 22001.
16. Худогонова Л. И. Разработка системы для дистанционной калибровки средств измерений на основе использования технологических возможностей программной среды LabVIEW //Векторы благополучия: экономика и социум. – 2013. – №. 4 (10). – С. 115-119.
17. Окоренков В. Ю., Щербина А. В. Обеспечение достоверности информации, получаемой наземной наблюдательной сетью Росгидромета: метрологическая надёжность и стабильность автоматических метеорологических информационно-измерительных систем //Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2013. – №. 4 (29). – С. 235-240.
18. Чистяков Э. Ю. и др. Дистанционная калибровка шаблонов в районах Крайнего Севера //Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20. – №. 1. – С. 133-141.
19. Нуриев А. Г., Чистяков Э. Ю., Битюцкий Н. А. Развитие использования дистанционных измерений по определению геометрических параметров колесных пар //Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – №. 1. – С. 7-18.
20. Чураев А. А., Шепелев А. Е., Юченко Л. В. Оценка работоспособности испытываемого средства водоучета в диапазоне допустимой погрешности измерений //Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 228-244.
21. Мешалкин М. А., Иванов М. С., Сергеев А. В. Развитие методов поверки с использованием удаленного доступа к средствам измерений по сети интернет // Технологии. Метрология. Стандартизация: материалы III ежегодной международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20–22 сентября 2023 года / ООО «ЭКАН», 2023. С. 28-31.

# ОБ ОПЫТЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ (КАЛИБРОВОЧНОЙ) ЛАБОРАТОРИИ

А.В. Казакова

ООО «Газпром добыча Ноябрьск»,  
Ноябрьск, Российская Федерация  
anna.engels@bk.ru

## **Аннотация**

*В статье рассматриваются приемы, позволяющие повысить эффективность работы калибровочной лаборатории. Основное внимание уделено организации процесса «параллельной» калибровки групп разнотипных приборов, произведен анализ эффективности такого подхода в сравнении с поочередной калибровкой средств измерений. В докладе также представлены другие опытные наработки, позволяющие сократить время на подбор эталонов, снизить процент внеочередной калибровки ввиду выгорания калибровочного клейма.*

**Ключевые слова:** метрология, калибровка, калибровочная лаборатория, повышение эффективности, снижение временных затрат

В условиях больших объемов представляемых на калибровку средств измерений (СИ) и небольшого штата сотрудников калибровочной лаборатории вопрос эффективной организации рабочего процесса, пространства и сокращения временных затрат на выполнение рутинных операций очень актуален.

Учитывая тот факт, что некоторые этапы калибровочных работ могут выполняться без непосредственного участия калибровщика (выдержка на максимальном давлении при проверке герметичности у манометров и датчиков давления, процесс автоматической калибровки датчиков температуры), появляется возможность проводить эти работы параллельно друг другу.

Для наглядности описания данной концепции представим, что в лабораторию для калибровки поступили одновременно 4 манометра (0..40 кгс/см<sup>2</sup>), 4 датчика давления (0...100 кгс/см<sup>2</sup>) и 4 термопреобразователя (ТСПУ-276-Ех с рабочим диапазоном 0...40 °С).

Сравним затраченное время при поочередной калибровке и при параллельной.

Согласно Руководства по качеству калибровка в лаборатории производится по методикам поверки.

По МИ 2124-90 процедура поверки (в нашем случае – калибровки) манометра состоит из 5 этапов и в среднем занимает 20 мин (с учетом оформления результатов).

По МИ 4212-012-2006 время калибровки одного датчика давления типа Метран-150 в среднем составляет 73 мин (с учетом 30-минутной выдержки при включенном питании).

По МИ 2672-2005 процедура автоматической калибровки одного термопреобразователя с помощью калибратора температуры АМТЕК занимает в среднем 72 мин с учетом оформления результатов. В арсенале лаборатории 3 калибратора температуры.

Применяемый подход «параллельной» калибровки схематично представлен на рисунке 1.

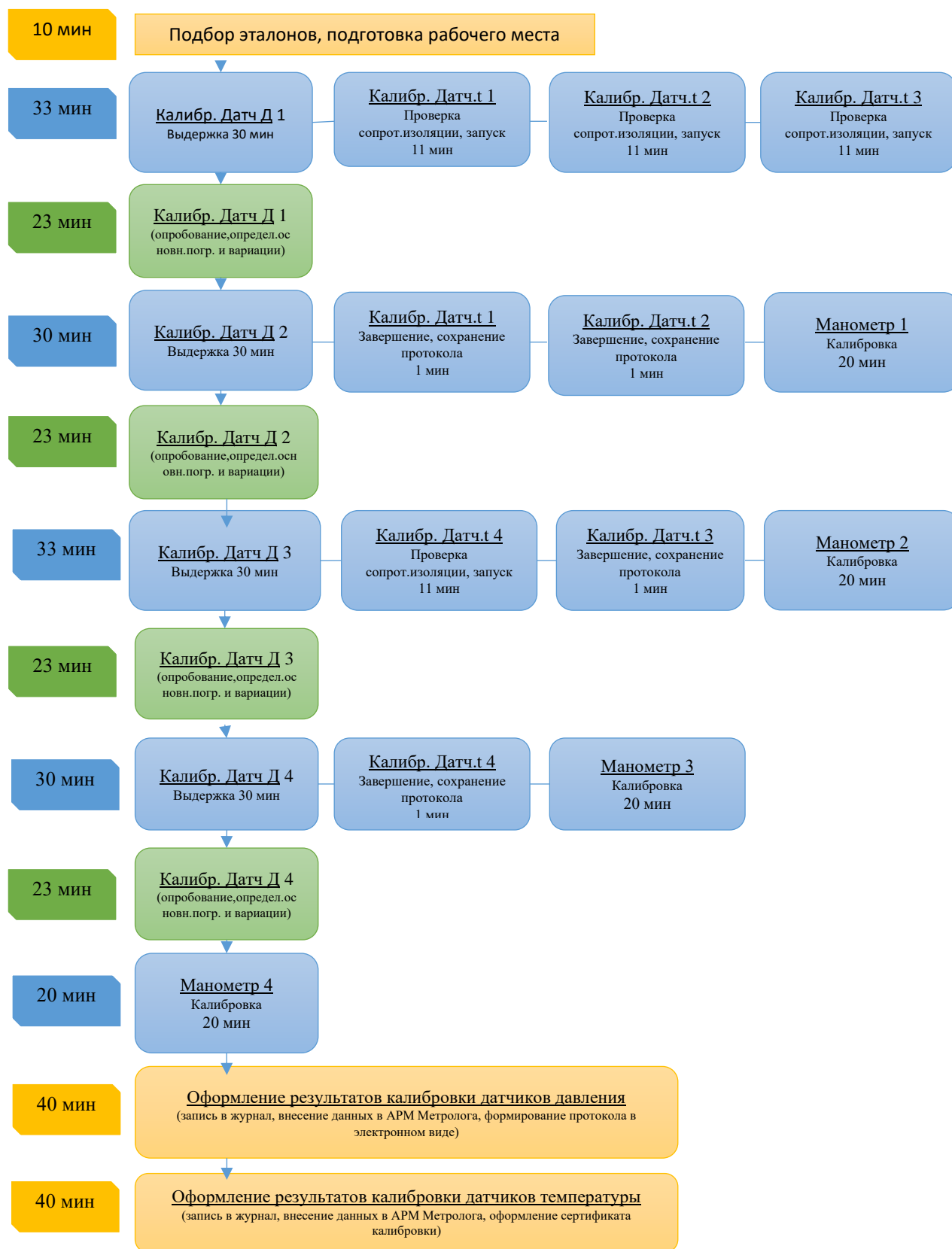


Рис. 1 – Схема реализации концепции параллельной калибровки

Итого, среднее время при последовательной калибровке 12 вышеописанных СИ составит 414 мин, при параллельной калибровке – 328 мин.

Тогда коэффициент эффективности параллельной калибровки будет равен:

$$\frac{328 \text{ (ед)}}{414 \text{ (ед)}} \approx 0,792$$

В 2023 г. силами метрологической лаборатории с учетом параллельной калибровки было откалибровано 1994 единицы СИ. Сравним, каков был бы этот показатель при последовательной калибровке:

$$1994 \cdot 0,792 = 1579 \text{ (ед. СИ)}$$

Таким образом:

$$1994 - 1579 = 415 \text{ (ед. СИ) –}$$

стольким приборам необходимо было бы производить калибровку сторонними организациями, что влечет за собой дополнительные финансовые затраты.

К другим приемам, применяемым в лаборатории и позволяющим упростить работу и сократить время на рутинные операции, относятся:

- предварительный анализ допустимых условий калибровки для разнотипных СИ позволяет исключить расчет дополнительной погрешности;

- ускоренный подбор эталонов для калибровки с помощью автоматизированной формы на базе MS Excel;

- применение системы 5С для организации рабочего пространства лаборатории;

- нанесение бумажных наклеек с датой калибровки на СИ, не предусматривающие нанесение калибровочного клейма;

- и др.

Таким образом, описанные выше приемы позволяют снижать затраты времени и повышают эффективность работы калибровочной лаборатории.

#### **Литература**

1. МИ 2124-90 «Рекомендация. ГСИ. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры показывающие и самопишущие. Методика поверки»

2. МИ 2672-2005 «ГСИ. Датчики температуры с унифицированным выходным сигналом. Методика поверки с помощью цифровых микропроцессорных калибраторов температуры серии АТС-Р исполнения «В» фирмы АМТЕК Denmark A/S, Дания».

3. МИ 4212-012-2006 «Датчики давления Метран-150. Методика поверки».

4. МИ 2322-99 Рекомендация. ГСИ. «Типовые нормы времени на поверку средств измерений»

5. СМ 01-АПБ-2021 Руководство по качеству организации и проведения калибровочных работ

6. Гараев А. И., Романова Н.В. Эффективность внедрения инструментов бережливого производства на предприятии // Экономика и социум. 2018. № 5 (48). С. 180-187.

7. Канюкова В. П. Бережливое производство: основные инструменты и принципы бережливого производства // Аллея науки. 2018. № 7 (23). С. 642-647

8. Лихвойнен А. В., Филиппович А. В., Юхимец В. И., Александрова В. С., Первухина Е. В. Бережливое производство: понятие, принципы, методы и опыт внедрения // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 9-2. С. 154-160.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Р.Р. Камальдинов**

ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»,  
Ставрополь, Российская Федерация  
Newhome92@mail.ru

## **Аннотация**

*В данной работе рассмотрены особенности внедрения автоматизации и цифровых технологий в области метрологического обеспечения предприятия. В качестве примера рассматривается использование данных технологий в контроле режимов работы измерительных приборов, учета движения и выполнения работ со средствами измерений и документационном обеспечении предприятия транспортировки энергоресурсов.*

**Ключевые слова:** автоматизация, цифровизация, метрологическое обеспечение, средство измерения, узел измерения расхода газа

Прежде всего, стоит отметить развитие и расширение влияния метрологии на новые области измерений [1]. Внедрение средств автоматизации и цифровизации в область метрологического обеспечения предприятия позволяет существенно повысить эффективность планирования и управления работы предприятия. Достигается это за счет оптимизации процессов, возможностью непрерывного контроля за средствами измерений (СИ) и прогнозирования потребления энергоресурсов.

В основе учета энергоресурсов предприятия лежит применение различных расходомеров. Для контроля состояния СИ, обеспечения надежности поставок природного газа, принимая во внимание удаленность объектов, в эксплуатацию введено программное обеспечение «Мониторинг». Предназначено данное ПО для автоматического сбора, хранения, отображения и передачи на другие уровни данных с коммерческих узлов измерения расхода газа (УИРГ). Данная программа позволяет в режиме реального времени запрашивать данные непосредственно с расходомеров газа, что позволяет в кратчайшие сроки реагировать на изменение режима работы УИРГ и соблюдать требования методик измерений расхода газа. Имеется возможность использования подключения к оборудованию программным обеспечением завода-изготовителя для расширенного диагностирования в случае нештатной работы вычислителя расхода газа. Существует сложность в интеграции различных расходомеров в данное программное обеспечение (ПО) ввиду применения различных баз данных (БД) и протоколов обмена данными производителями оборудования. В перспективе на предприятии разработана и утверждена программа для внедрения всех УИРГ в вышеуказанное ПО.

Неотъемлемой частью автоматизации и цифровизации метрологической деятельности на предприятии стало внедрение программы автоматизации метрологического учета и управления на базе ПО «АСОМИ». Данное ПО позволило обеспечить учет и планирование метрологической деятельности, управление техническим обслуживанием, ремонтом и регламентными работами, автоматический вывод отчетов, графиков, перечней СИ и контроль при поверке, калибровке оборудования собственными силами. Внедрением данной программы снижен риск невыполнения требований по обеспечению единства измерений до минимума. Здесь возникают также и сложности при эксплуатации. Основной проблемой является то, что программы данного типа в большинстве своем разработаны для предприятий, осуществляющих поверку, и производителей оборудования с уровнями доступа, заявками, согласованиями графиков, отчетов и т.д., что не всегда подходит предприятиям, эксплуатирующим СИ. Изменение структуры программы и более глубокая ее доработка влекут за собой дополнительные финансовые затраты на внедрение. В Обществе разрабатываются мероприятия для внедрения QR кодирования СИ на объектах, где посредством переносных взрывозащищенных мобильных устройств, возможно считывание всех эксплуатационных данных оборудования.

В связи с постоянным изменением законодательства, нормативно правовых актов и других документов возникает необходимость постоянного доступа не только к документации, указанной выше, но и к внутренней распорядительной документации, результатам калибровки и регламентных

работ. Организован доступ всех работников, ответственных за метрологическое обеспечение предприятия, к профессиональной справочной системе «Техэксперт». Разработан доступ к внутренним документам предприятия через внутренний сайт на основе визуализации доступа к выделенному серверу, где каталогизировано хранение приказов, распоряжений, стандартов организации, результатов поверки, калибровки и других регламентных работ.

Комплексный подход к автоматизации и цифровизации метрологического обеспечения предприятия транспортировки энергоресурсов показал свою эффективность. Расчетно-методические потери природного газа за последние годы сократились на 10 %, где немаловажную роль сыграла возможность удаленного доступа к УИРГ и контроля режима их работы. Систематизация информации и контроль за передвижением СИ позволили снизить количество несоответствий требованиям по ОЕИ в результате проведения контрольных проверок. Благодаря постоянному контролю сроков проведения регламентных работ наблюдается снижение финансовых затрат на проведение вышеуказанных работ.

#### **Литература**

1. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
2. Правительство Российской Федерации распоряжение «Об утверждении стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года» от 19 апреля 2017 года N 737-р.
3. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102 ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями и дополнениями).
4. «Мониторинг» программа опроса параметров энергоресурсов руководство по эксплуатации. URL: <https://ametel.ru/sites/ametel/files/Мониторинг%20РЭ.pdf> (дата обращения: 25.04.2024).
5. Аппаратно-программный комплекс «СТЕЛ». URL: <http://turbotron.ru/catalog/apk-stel> (дата обращения: 25.04.2024).
6. Инструкция по эксплуатации «ASOMI». АИС «АРМ-Метролог». URL: <https://www.novosoft.ru/nerpa/asomi/screenshots> (дата обращения: 25.04.2024).
6. Руководство пользователя программного обеспечения для автоматизации работы отдела метрологии ИС «Метрология».
7. ГОСТ Р 8.654-2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений.
8. Фридман А. Э. Основы метрологии: современный курс. – Санкт-Петербург: Професионал, 2008 г.

# МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОТЕРЬ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ТРАНСПОРТНЫХ ЛИНИЯХ (ИМПУЛЬСНЫХ ТРУБКАХ) СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ АЭС

И.А. Каминская<sup>1</sup>, А.А. Яковенко<sup>2</sup>, Р.В. Потапов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ростовской области»  
(ФБУ «Ростовский ЦСМ»),  
Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр «ЭкологджиксЛаб»  
(ООО «НТЦ «ЭкологджиксЛаб»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **Аннотация**

*В докладе представлены современные методы измерений коэффициентов потерь аэрозольных частиц в транспортных (пробоотборных) линиях систем радиационного контроля атомных электростанций (далее – АЭС). Авторами выполнен анализ применимости разработанных методов измерений коэффициентов потерь аэрозольных частиц и возможности их использования с целью корректировки измеренных значений выброса радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Проведены экспериментальные исследования по определению коэффициентов потерь аэрозольных частиц различными методами. Выдвинуты предложения по разработке программы научно-исследовательской работы по установлению связи между коэффициентами потерь аэрозольных частиц, полученными различными методами и измеренными значениями активности радиоактивных аэрозолей.*

**Ключевые слова:** метрология ионизирующих излучений, радиационный контроль, выбросы, аэрозольные частицы, атмосферный воздух, коэффициент потерь

Контроль выбросов радиоактивных веществ АЭС в атмосферный воздух выполняется при помощи штатного пробоотбора выбрасываемой газозооной смеси с последующим осаждением аэрозольных частиц на фильтрующий материал для дальнейшего измерения активности аэрозолей или же путем прямых измерений с использованием средств измерений активности аэрозолей, установленных в конце пробоотборной (транспортной) линии. 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.

Вопрос оценки коэффициента потерь радиоактивных аэрозольных частиц в пробоотборных линиях является актуальной проблемой, которая связана с отсутствием утвержденных ГК «Росатом» аттестованных методик измерений для применения на АЭС. Имеющиеся на сегодняшний момент методики измерений позволяют измерить коэффициент потерь концентрации общего числа аэрозолей, но при этом не установлена связь между измеренным коэффициентом потерь концентрации и значением потери активности радиоактивных аэрозолей.

Авторами разработана и аттестована методика измерений коэффициентов потерь радиоактивных аэрозолей в пробоотборных линиях систем радиационного контроля, основанная на применении нескольких методов. Проведены экспериментальные исследования по определению коэффициентов потерь аэрозольных частиц различными методами. При этом анализ результатов измерений коэффициента потерь методом, основанным на непосредственной оценке активности аэрозолей, и на основе разработанных сопутствующих методов измерений коэффициентов потерь концентрации и массы аэрозолей позволяют выполнить исследование в рамках научно-исследовательской работы по установлению зависимостей между измеренными коэффициентами потерь концентрации, массы и значениями потерь активности радиоактивных аэрозолей.



### **Литература**

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». Введ. 2008-12-30. М., 2008.
2. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха». Введ. 1999-05-04. М., 1999.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ—99/2009). СанПиН 2.6.1.2523—09. М., Роспотребнадзор, 2009.
4. МУ 1.1.4.01.1976-2022 «Оценка изокинетичности отбора проб аэрозолей в вентиляционных трубах атомных станциях. Методические указания». Введ. 2023-02-13;
5. 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.
6. Полянцев С.С., Пырков И.В., Григорьев Е.И. Актуальные вопросы контроля газоаэрозольных выбросов на АЭС. // АНРИ. Аппаратура и новости радиационных измерений 2009. №2. С. 37–46.
7. М.В. Кочерыгин, А.В. Лачугин, С.В. Павлов. Сравнительный анализ методов оценки осаждения радиоактивных аэрозолей в системах пробоотбора на объектах использования атомной энергии// Радиационная безопасность, Том 67, № 1, 2022. С. 33-38.

# ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЗЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА ГАЗА С СУЖАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

А.А. Каримов

ООО «Газпром трансгаз Уфа»,  
Уфа, Российская Федерация  
info@ufa-tr.gazprom.ru

## **Аннотация**

*С целью уменьшения статической погрешности измерений расхода газа, вызванной статическим давлением, требуется проверка нулевой точки преобразователя перепада давления (ППД) в измерительных комплексах. Оценив влияние смещения «нуля» ППД на результаты измерений расхода газа представлена зависимость относительного изменения значения расхода газа от величины смещения «нуля» и диапазона измерения перепада давления.*

**Ключевые слова:** сужающее устройство, погрешность измерений, расход газа

Несмотря на значительные достижения в области метрологии, существуют определенные проблемы, связанные с метрологическим обеспечением измерения расхода газа:

- погрешности средств измерений;
- нестабильность условий эксплуатации;
- непрозрачность алгоритмов измерения.

Как известно, ППД, применяемые в системах измерения расхода газа с сужающими устройствами, чувствительны к изменениям статического давления.

С целью уменьшения статической погрешности измерений расхода газа, вызванной статическим давлением, ООО «СовТИГаз» разработана «Инструкция по проверке нулевой точки ППД в измерительных комплексах Суперфлоу».

Необходимо отметить, что перечисленным выше документом не установлена периодичность проведения корректировки «нуля».

При применении на узлах измерений комплексов многоточных измерительных микропроцессорных «Суперфлоу-ПЕ» с ППД типа FR3051 в основном с верхним пределом измерений (ВПИ) 6,2 и 62 кПа. Условно назовем их «нижний» и «верхний» датчики. Все дальнейшие рассуждения и выводы будут основаны на опыте эксплуатации именно таких измерительных комплексов.

Для удобства уйдем от абсолютных величин перепада давления. Поскольку размах кодов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) «Суперфлоу» составляет около 2500 ед. для всех диапазонов, будем оценивать смещение «нуля» ППД в единицах кода АЦП.

Отмечено, что статическое давление до 1,2 МПа практически не оказывает влияния на результаты измерения перепада давления. Максимальное смещение «нуля» ППД составляет 1 ед. кода АЦП на «нижнем» датчике.

При более высоких давлениях смещение «нуля» растет и в диапазоне статических давлений от 4,0 до 7,5 МПа достигает 1-2 кода АЦП («верхний» датчик) и 2-3, а в единичных случаях и 4-5 ед. кода АЦП («нижний» датчик).

В основной смещение носит положительный характер, однако нередко наблюдалось и отрицательное смещение характеристик ППД.

Оценим влияние смещения «нуля» ППД на результаты измерений расхода газа. Поскольку неизвестно влияние статического давления на размах диапазона датчика, будем считать, что смещение «нуля» носит аддитивный характер и одинаково во всем диапазоне измерений.

При проведении ряда измерений опытным путем отмечена зависимость относительного изменения значения расхода газа от величины смещения «нуля» и диапазона измерения перепада давления и представлена в таблице.

Таблица

% ВПИ	Смещение, единицы кода АЦП				
	1	2	3	4	5
9	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1
10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
15	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7
20	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
25	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
50	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
75	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
100	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1

Очевидно, что настроенный в «ноль» при статическом давлении Суперфлоу не пройдет поверку после проведения процедуры корректировки «нуля», если это смещение превышает 2 ед. кода АЦП, поскольку поверка проводится при атмосферном давлении.

Кроме того, смещение на 2 и более ед. кода АЦП приведет к дополнительной погрешности по каналу перепада давления от 0,08 % и выше, что превышает 2/3 основной погрешности датчика.

Учитывая изложенное, важно соблюдать следующие мероприятия:

1. Настройку «нуля» датчиков перепада давления перед проведением поверки вычислителей осуществлять при рабочем давлении;

2. Ограничить длительную работу узлов измерений газа в диапазонах ниже 30 % от ВПИ «нижних» датчиков перепада давления.

#### Литература

1. ГОСТ Р 8.899-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Аттестация методики измерений, 17 с.

2. Часть 1 ЗИ2.838.009 РЭ1 «Комплекс многониточный измерительный микропроцессорный «Суперфлоу-ПЕ» ЗАО «СовТИГаз», 42с.

3. Инструкция по проверке и корректировке нулевой точки преобразователей перепада давления в измерительных комплексах Суперфлоу, 2019, 9 с.

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА ВНУТРИ ИНТЕГРИРУЮЩЕЙ СФЕРЫ: УМЕНЬШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

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  
a.d.katyshev@vniim.ru

## Аннотация

В составе ГЭТ 34-2020 при воспроизведении единицы температуры выше точки затвердевания серебра реализуется метод измерений, согласно которому необходимо измерять яркость абсолютно чёрного тела и яркость интегрирующей сферы. В ходе исследования осуществлялось сканирование интегрирующих сфер по двум осям. По результатам сканирования выявлен дрейф сигнала из-за нестабильности лазера, который превышает значение распределения измеряемой величины внутри интегрирующей сферы. Определены новые задачи по исследованию и возможности учета временной нестабильности источника излучения для достоверного сканирования сферы.

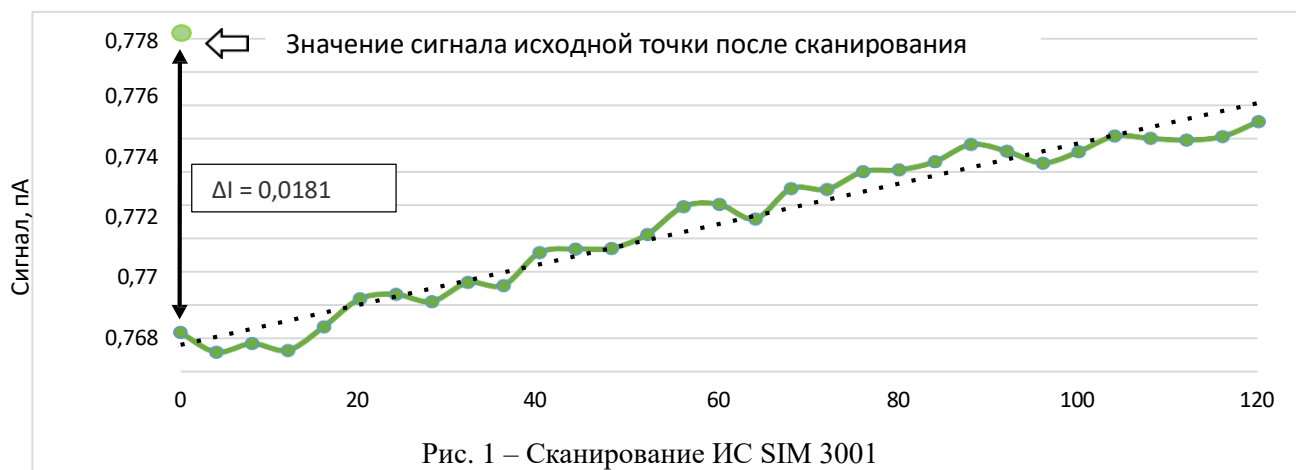
**Ключевые слова:** интегрирующая сфера, радиационная термометрия, нестабильность излучения лазера

Государственный первичный эталон единицы температуры ГЭТ 34-2020 состоит из двух комплексов: комплекс контактной термометрии (в диапазоне от 0 °С до 961,78 °С) и комплекс радиационной термометрии (в диапазоне от 961,78 °С до 3200 °С). В области радиационной термометрии метод измерений основан на компарировании спектральных энергетических яркостей абсолютного чёрного тела и интегрирующей сферы (далее – ИС) [1,2]. Принцип действия интегрирующей сферы заключается в многократном диффузионном отражении и равномерном распределении света внутри сферы [3]. Использование ИС в составе ГЭТ 34-2020 вносит следующие составляющие неопределённости в результате измерения температуры: отклонение реального излучения интегрирующей сферы от Ламбертова излучения; временная нестабильность излучения лазера. Целью исследования является повышения точности ГЭТ 34-2020 при передаче, хранении и воспроизведении единицы температуры путём уменьшения значений составляющих неопределённости, связанных с Ламбертовым излучением ИС и нестабильностью лазера.

В ходе исследования измерения сигнала проводились на двух сферах: Instrumental Systems ISP 75-130 [4] и Cloud Photonics SIM 3001 [5].

Сканирование ИС осуществлялось поворотом сферы в диапазоне от -27° до 27° по двум осям относительно исходной точки. Полный оборот ИС вокруг своей оси осуществляет за 1600 шагов. Каждый шаг соответствует повороту сферы на 0,225°.

Результат сканирования сферы SIM 3001 представлен на рисунке 1.



По графику на рисунке 1 видно, что сигнал растёт пропорционально увеличению шага и разница значения тока между исходной точкой 0 и точкой 120 составляет 0,013 пА. При возвращении ИС в исходное положение, соответствующее шагу 0 было обнаружено, что исходное значение сигнала увеличилось на 2,4 % (0,018). Следовательно, было выдвинуто предположение в виде гипотезы – пропорциональный рост сигнала зависит не от неравномерности излучения внутри сферы, а то дрейфа сигнала из-за нестабильности лазера. Для подтверждения гипотезы необходимо измерить дрейф сигнала в одном положении ИС.

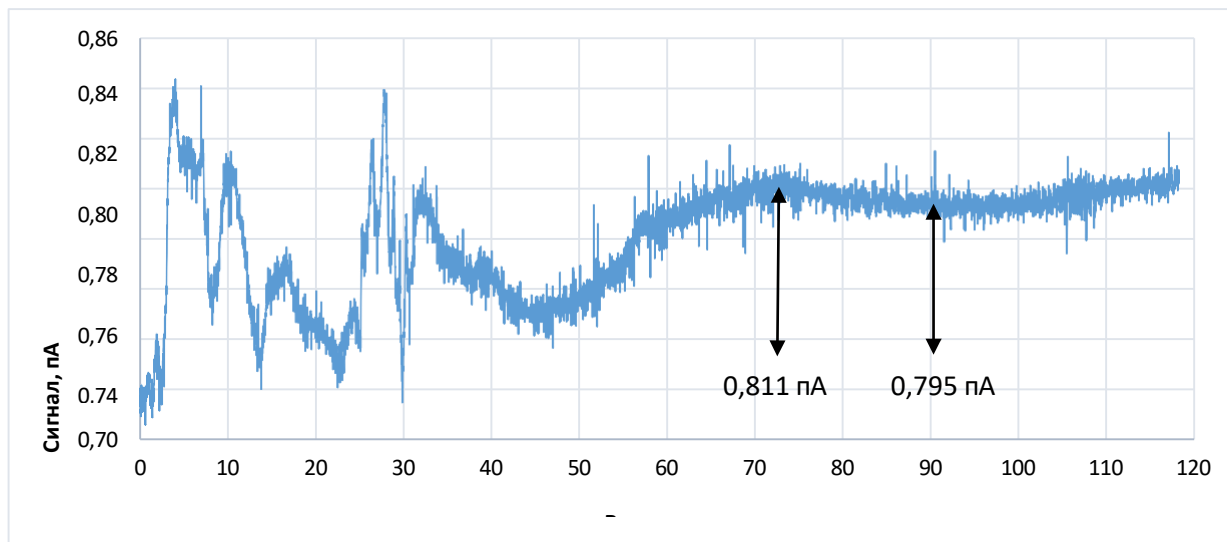


Рис. 2 – Дрейф сигнала в исходном положении ИС

На рис.2 приведена запись изменения сигнала в одном положении ИС, из которой видно, что через час после включения лазера значение сигнала стабилизировалось, однако разница усреднённых значений кривой сигнала на разных участках составляет 0,016 пА. Такая нестабильность излучения лазера не позволяет при сканировании достоверно определить зависимость сигнала фототока, так как по рисунку 1 разница между значением на исходной точке 0 и значением на точке 120 составляет 0,013 пА. Следовательно, необходимо исследовать факторы, влияющие на дрейф сигнала и рассмотреть возможность внесения поправки, учитывающей временную нестабильность излучения лазера. Планируемые задачи будущего исследования:

1. Измерить воспроизводимость излучения лазера в исходном положении ИС.
2. Определить параметры, влияющие на нестабильно излучения лазера.
3. Определить теоретическую зависимость дрейфа сигнала от времени.
4. Повторно просканировать ИС, учитывая поправку на изменение сигнала лазера.
5. По результатам сканирования рассмотреть возможность использования ИС SIM 3001 в составе ГЭТ 34-2020.

#### Литература

1. Походун А.И., Фуксов В.М., Сильд Ю.А., Мазанов М.А., Матвеев М.С. 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., Sadil. M., Love D., Saunders P., Yamada Y., Yoon H. Мер-k relative primary radiometric thermometry, 2017.
3. H.J. Jung. Spectral Nonlinearity Characteristics of Low Noise Silicon Detectors and their Application to Accurate Measurement of Radiant flux Ratios // Metrologia 15. – С. 173 – 181.
4. Техническая спецификация интегрирующей сферы Cloud Photonics SIM 3001. [Электронный ресурс] URL: <https://www.phcloud.ru/index.php>.
5. Техническая спецификация интегрирующей сферы Instrumental Systems ISP 75-130. [Электронный ресурс] URL: <https://www.instrumentsystem.com>.

# ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ВЕСОВОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

С.С. Колясников, Е.А. Зарипова, Л.А. Конопелько

ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **Аннотация**

*Гравиметрический метод является основным способом изготовления высокоточных газовых смесей и широко применяется предприятиями — изготовителями ГСО — ПГС (государственный стандартный образец – поверочная газовая смесь) в ходе воспроизведения и передачи единицы молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах от своих разрядных эталонов потребителям. При этом очень важно контролировать значения параметров окружающей среды, которые изменяясь влияют на результат приготовления. Автоматизация процесса весового изготовления газовых смесей позволит повысить точность и воспроизводимость результатов, сократить время изготовления образцов, снизить трудозатраты, а также безопасность рабочих процессов.*

**Ключевые слова:** *гравиметрический метод, государственный стандартный образец, поверочная газовая смесь, автоматизация*

Процесс весового изготовления образцов газовых смесей основан на точном взвешивании определенного количества газов с использованием точных весов и последующего смешивания газов в соответствии с требуемыми пропорциями. Этот процесс позволяет создавать образцы газовых смесей с высокой точностью и повторяемостью.

Гравиметрический метод приготовления является комплексом процедур последовательного прецизионного дозирования и взвешивания компонентов газовой смеси. С целью обеспечения требуемых физико-химических и метрологических характеристик выпускаемого стандартного образца (обуславливаются утвержденным описанием типа ГСО- ПГС) необходимо учитывать и контролировать ряд факторов, влияющих на качество готовой продукции:

- технические и метрологические характеристики конкретных применяемых при взвешивании средств измерений;
- компонентный состав и точностные характеристики используемых исходных чистых газов;
- технические характеристики баллонов (сосудов под давлением), применяемых в процессе изготовления;
- необходимый перечень действий оператора и их очередность;
- условия окружающей среды при проведении процедур дозирования и взвешивания, архимедову силу.

Немаловажным параметром, при проведении процедур дозирования и взвешивания, является архимедова сила. Архимедова сила зависит от плотности среды, в которую погружено тело. Плотность среды, в свою очередь, зависит от давления, температуры и влажности.

При увеличении давления плотность среды увеличивается, а архимедова сила уменьшается. При уменьшении давления плотность среды уменьшается, и архимедова сила увеличивается. С увеличением температуры архимедова сила также уменьшается, так как плотность среды становится меньше. При уменьшении температуры архимедова сила возрастает.

Влажность также влияет на плотность среды, но это влияние менее значимое, чем предыдущие. При увеличении влажности плотность среды увеличивается, и архимедова сила уменьшается. При уменьшении влажности плотность среды уменьшается, и архимедова сила увеличивается.

Автоматизированный контроль и учёт этих трёх параметров позволит в режиме реального времени корректировать результаты процедуры приготовления газовых смесей. Разработка и внедрение автоматизированной системы весового изготовления стандартных образцов гравиметрическим методом, учитывающей влияние климатических показателей (таких как температура, давление, влажность) на выталкивающую силу, позволит достигнуть увеличения доверительной вероятности.

Для эффективного управления процессом весового изготовления газовых образцов необходимо

использовать специализированное программное обеспечение, которое позволит контролировать все этапы процесса, управлять работой оборудования и автоматизировать рутинные операции.

#### **Литература**

1. ГОСТ Р. 6142–2008. Анализ газов //Приготовление градуировочных газовых смесей. Гравиметрический метод. –30 с.
2. Кирьян Д. Г., Кирьян Г. В. Гравитационное взаимодействие в среде с ненулевой плотностью //e-prints viXra. – 2014. – Т. 1406. – С. V1.

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРАВИЛЬНОСТИ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПО АРХИВНЫМ ДАННЫМ

Е.В. Комарова, М.А. Илюхина, Н.В. Сычева, Е.В. Широкова, В.Б. Горшков

Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт  
неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»  
(АО «ВНИИНМ»),  
Москва, Российская Федерация  
EkViKomarova@bochvar.ru

### **Аннотация**

*Разработан алгоритм оценки показателя правильности методики выполнения измерений (далее – МВИ) с использованием результатов контрольных измерений, полученных в рамках ВОК для случая, когда контроль точности проводится методом добавок, и последующим применением данного алгоритма для уточнения показателя правильности конкретной МВИ.*

**Ключевые слова:** *показатель правильности, характеристика правильности, оценка метрологических характеристик*

С принятием и введением в действие ГОСТ Р ИСО 5725-1 в отечественной метрологии появился термин «правильность» измерений, а, следовательно, и необходимость ее численного выражения – характеристики правильности (далее – ХП). Ранее, при аттестации большинства методик выполнения измерений (далее – МВИ), оценивалось значение характеристики сходимости и доверительных границ суммарной погрешности как наиболее часто используемых показателей, вследствие чего в настоящее время имеется большое количество МВИ, для которых не было оценено значение ХП. Между тем, значение ХП необходимо для проведения внутреннего статистического контроля правильности результатов измерений (далее – РИ) согласно разделу 7 ГОСТ Р 8.984.

Для таких МВИ был предложен алгоритм оценки показателя правильности (ХП) по архивным данным (далее – АД), полученным в рамках внутреннего оперативного контроля погрешности с использованием метода добавок. Предложенный алгоритм включает в себя несколько этапов. Первоначально средние значения РИ пробы объединяются в поддиапазоны по величине измеряемого параметра, соответствующие им измерения пробы с добавкой объединяются в аналогичные поддиапазоны, в каждом полученном поддиапазоне вычисляется среднее значение дисперсий и проводится их проверка на однородность. В зависимости от результата проверки устанавливается интервальная характеристика сходимости. Относительное значение точечной ХП определяется по формулам 7.13 или 7.14 ГОСТ Р 8.997, после этого вычисляется среднее значение ХП для каждого поддиапазона и строится функциональная зависимость ХП от среднего значения РИ пробы. По полученной зависимости устанавливается максимальное значение ХП для измерений по МВИ.

Вышеописанный алгоритм был отработан на МВИ с использованием АД, представляющих собой два множества – по 99 РИ пробы и пробы с добавкой. Сравнение исходных и установленных с использованием АД характеристик погрешности МВИ представлено в таблице 1.



Таблица 1

№ диап- зона	Исходные значения характеристик погрешности			Значения характеристик погрешности, установленные с использованием АД			
	Характеристика неисключенной систематической погрешности, отн.ед.	Доверительные границы суммарной погрешности, отн.ед.		Характеристика неисключенной систематической погрешности, отн.ед.	Характеристика правильности, отн.ед.	Доверительные границы суммарной погрешности, отн.ед.	
		$n=2$	$n=3$			$n=2$	$n=3$
1	0,28	0,30	0,31	0,28	0,28	0,32	0,31
2	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16	0,15
3	0,04	0,06	0,06	0,048	0,033	0,074	0,066
4	0,03	0,05	0,05	0,048	0,033	0,064	0,059

Из приведенной таблицы следует, что установленные ранее значения доверительной границы суммарной погрешности МВИ практически совпадают с соответствующими значениями, уточненными после количественной оценки ХП по результату анализа АД по предложенному алгоритму.

Таким образом, описанный алгоритм количественной оценки показателя правильности по АД может быть применен в случаях, когда для МВИ отсутствуют необходимые экспериментальные данные, но имеется достаточное количество результатов контрольных измерений.

#### Литература

- ГОСТ Р 8.997-2021 Государственная система обеспечения единства измерений. Алгоритмы оценки метрологических характеристик при аттестации методик измерений в области использования атомной энергии. М.: Стандартинформ, 2021. 81 с.
- ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. М.: Стандартинформ, 2002. 23 с.
- ГОСТ Р 8.984-2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль качества измерений в области использования атомной энергии М.: Стандартинформ, 2019. 35 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ПАРОФАЗНОГО ИСТОЧНИКА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ СЕРОВОДОРОДА

Ю.А. Копыльцов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»  
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
kopyltsov@b10.vniim.ru

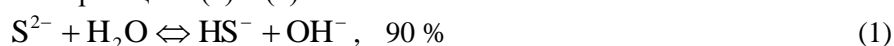
## Аннотация

Рассмотрены возможности разработки и применения парофазных источников газовых смесей (ПИГС) сероводорода (СВ) во влажном газе на уровне  $1 \text{ млн}^{-1}$  на основе водных растворов сульфидов щелочных металлов, выделены отдельные проблемы по изготовлению и аттестации таких источников.

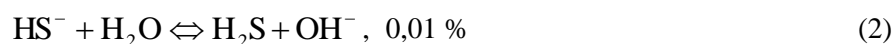
**Ключевые слова:** парофазный источник газовых смесей, ПИГС, генератор влажного газа, источник сероводорода, микроконцентрация сероводорода, промышленные выбросы

Развитие промышленности и появление новых экологических норм требуют повышения точности и надежности средств газоаналитических измерений, а также средств их градуировки [1]. Потребность в средствах воспроизведения молярной доли сероводорода на уровне  $1 \text{ млн}^{-1}$  и ниже остаётся весьма высокой, несмотря на ряд отработанных технологий в этом направлении, таких как поверочные газовые смеси [2] (ГСО-ПГС) и источники микропотока [3], применяемые в комплексе с термодиффузионными генераторами [4]. В частности, для измерений микроконцентраций СВ в промышленных выбросах, таких как влажные воздушные среды, требуются стандартные образцы с характеристиками, схожими с характеристиками реальных сред. Поскольку исследование таких проб осуществляется методами хроматографического парофазного анализа с накоплением летучего СВ в водных буферных растворах, то для градуировки прибора следует использовать стандартные образцы с аналогичными свойствами. Для таких задач могут быть применены парофазные источники газовых смесей [5] на основе водных растворов сульфидов щелочных металлов (ПИГС-СВ), где в качестве исходных солей могут выступать сульфиды лития, натрия и калия.

Принцип действия такого ПИГС основан на двухступенчатом процессе гидролиза этих солей в водных растворах и химических реакциях (1) и (2).



где  $\text{S}^{2-}$  и  $\text{HS}^-$  соответственно сульфид- и гидросульфид-ионы, образующиеся в водном растворе в ходе гидролиза,



где  $\text{H}_2\text{S}$  – сероводород в молекулярном виде, растворённый в растворе,

Степень гидролиза по первой ступени (1) составляет 90 %, а по второй (2) – 0,01 %, что приводит к появлению микроконцентрации молекулярной формы сероводорода в растворе и поскольку реакции гидролиза обратимы, то при удалении сероводорода из раствора с помощью инертного газа-экстрагента, барбатируемого через такой раствор, равновесие смещается вправо – в сторону образования новых количеств свободного сероводорода в соответствии с внешними условиями для данной системы. Этот процесс позволяет получить парогазовый поток с постоянным микросодержанием сероводорода на уровне от  $1 \text{ млн}^{-1}$  (ppm) и ниже в присутствии паров воды.

Однако, сложность создания ПИГС-СВ обусловлена существенным влиянием на воспроизведение молярной доли сероводорода в парогазовом потоке таких факторов как состав вещества, температура системы, скорость потока газа-экстрагента, а также прочих мешающих воздействий.

В данной работе описаны проведённые с применением оригинального газохроматографического комплекса исследования возможности создания такого ПИГС и влияния вышеперечисленных факторов.

Создание ПИГС-СВ в статусе рабочего эталона 1-го разряда позволит обеспечить возможность высокоточного динамического приготовления газовых смесей с содержанием сероводорода на уровне  $1 \text{ млн}^{-1}$  и паров воды без использования дополнительных эталонных средств контроля.

#### Литература

1. Колобова А. В., Конопелько Л. А., Попов О. Г. Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019 // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. Т. 16, № 3. С. 23-35. DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-3-23-35.

2. Особенности применения стандартных образцов – имитаторов для метрологического обеспечения газоаналитических средств измерений / А. В. Колобова [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 3. С. 55-64. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-55-64>

3. Гуревич В. Г., Конопелько Л. А.; Научно-производственное общество «Мониторинг». ДИФФУЗИОННЫЙ ИСТОЧНИК МИКРОПОТОКА ГАЗА (ВАРИАНТЫ). Патент № 2111460 РФ, G01F 13/00 (1995.01). № 97106826/28; Заявл. 22.04.1997; Оpubл. 20.05.1998

4. Мальгинов А. В., Евдокимов А. А., Громова Е. В. Передача единиц молярной доли и массовой концентрации газовых компонентов с помощью рабочих эталонов 1-го разряда на основе динамических генераторов газовых смесей // Измерительная техника. – 2011. – № 9. – С. 8-12.

5. Конопелько Л.А., Котов Г.Н., Кустиков Ю.А.; Научно-производственное общество «Мониторинг». Способ получения градуировочных парогазовых смесей, Патент №2153158 РФ, МПК G01N 7/00, Заявл. 21.10.1998; Оpubл. 20.07.2000.

# ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ГЛАЗ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ К ЛАЗЕРНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

А.А. Котов, Л.А. Конопелько

ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
kotov@ooo-monitoring.ru

## Аннотация

На сегодняшний день при подтверждении соответствия защитных очков, не проводятся испытания по оценке устойчивости к лазерному излучению, ввиду отсутствия необходимого оборудования для реализации данного метода, метрологического обеспечения и обязательных требований по данному показателю. Разработка методики и соответствующего комплекса аппаратуры позволит проводить расширенную оценку защитных свойств средств индивидуальной защиты глаз, что в свою очередь должно обеспечить повышение качества выпускаемой продукции и безопасность пользователей.

**Ключевые слова:** средства индивидуальной защиты, защита органов зрения, лазерное излучение, защита глаз от лазерного излучения, метрологическое обеспечение испытаний, испытательная лаборатория

Область применения лазерных установок в последнее время заметно расширяется, что связано с уникальными свойствами лазерного излучения. При этом лазерное излучение является опасным для тканей человека, особенно для органов зрения. С целью предотвращения негативного воздействия излучения на органы зрения, применяют средства индивидуальной защиты (далее — СИЗ) – очки для защиты от лазерного излучения. СИЗ играют ключевую роль в обеспечении безопасности работников на производстве, поэтому важно иметь объективное подтверждение их соответствия. Использование некачественных СИЗ может привести к серьезным последствиям для здоровья человека.

На сегодняшний день при прохождении процедуры подтверждения соответствия очков для защиты от лазерного излучения защитные свойства подтверждаются следующими показателями: поле зрения; светорассеяние; световой и спектральный коэффициенты пропускания, сферическая рефракция, астигматизм; разность призматического действия; механическая прочность, устойчивость к воспламенению.

Обязательные требования к защитным очкам, как и к другим СИЗ, содержатся в Техническом регламенте Таможенного союза 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты». Методы их подтверждения установлены в ГОСТ EN 207-2021.

Один из важнейших показателей для данного вида СИЗ, а именно устойчивость к лазерному излучению, на текущий момент не входит в перечень обязательных требований, и, соответственно, по защитные свойства данному показателю испытания не подтверждаются.

Разрабатываемые методика и комплекс аппаратуры для измерения параметров лазерного излучения создадут полноценное метрологическое обеспечение при испытании очков для защиты от лазерного излучения.

ГОСТ EN 207-2021 устанавливает требования, приведенные в таблице 1, к лазерному излучению при проведении испытаний:

Таблица 1 — Требования к лазерному излучению

Степень защиты	Максимальный спектральный коэффициент пропускания	Максимальные значения плотности мощности (Вт/м <sup>2</sup> ) в диапазоне длин волн		
		от 180 нм до 315 нм	св. 315 нм до 1400 нм	св. 1400 нм до 1000 мкм
LB1	10 <sup>-1</sup>	0,01	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>
LB2	10 <sup>-2</sup>	0,1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>
LB3	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>
LB4	10 <sup>-4</sup>	10	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>

LB5	$10^{-5}$	100	$10^6$	$10^8$
LB6	$10^{-6}$	$10^3$	$10^7$	$10^9$
LB7	$10^{-7}$	$10^4$	$10^8$	$10^{10}$
LB8	$10^{-8}$	$10^5$	$10^9$	$10^{11}$
LB9	$10^{-9}$	$10^6$	$10^{10}$	$10^{12}$
LB10	$10^{-10}$	$10^7$	$10^{11}$	$10^{13}$

Для обеспечения регистрации вышеуказанных параметров лазерного излучения разрабатывается измерительная приемная система, способная фиксировать лазерное излучение в диапазоне плотности мощности от  $10^{-2}$  до  $10^{13}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Для комплекса аппаратуры также разрабатываются системы аттенюации лазерного излучения, которые позволят расширить диапазоны оценки защитных СИЗ путем увеличения мощности лазерного излучения, которое будут способны зарегистрировать измерительные системы данного комплекса.

Перечисленные работы отличаются особой актуальностью и требуют поиска новых научно-технических и нормативно-технических решений, позволяющих проводить измерения с высокой точностью, что в свою очередь должно обеспечить повышение качества выпускаемой продукции и повышению безопасности пользователей СИЗ.

### Литература

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.10.2021 № 767н «Об утверждении Единых типовых норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112290045>
2. ГОСТ EN 207-2021 – Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты глаз. Очки для защиты от лазерного излучения. Общие технические требования. Методы испытаний, АО «Кодекс» 2022. 24 с.
3. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты (с изменениями на 28 мая 2019 года)», 2019, 73 с.
4. Ишанин Г.Г., Мальцева Н.К., Рождественский А.В., Сычевский А.Т., Хребтова В.П. Источники и приемники, ч. 1: учебно-методическое пособие для вузов. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, 62 с.

# РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЛЕКСУ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

А.А. Котов, И.В. Курчин, Л.А. Конопелько

ООО «МОНИТОРИНГ»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
kurchin@ooo-monitoring.ru

## **Аннотация**

*Многообразие средств индивидуальной защиты, расширение требований к ним, а также требований, предъявляемых к испытательным лабораториям, ставят ряд задач, в том числе и в части метрологического обеспечения проводимых испытаний. Разработка методики и соответствующего комплекса аппаратуры, позволяющих определять ограничение поля зрения при использовании средств индивидуальной защиты с высокой точностью независимо от их конструкции, является актуальной задачей.*

**Ключевые слова:** *средства индивидуальной защиты, ограничение поля зрения, подтверждение соответствия, испытательная лаборатория*

Средства индивидуальной защиты (далее – СИЗ) являются неотъемлемой частью любого производственного процесса, а их испытания, это важная часть процедуры подтверждения соответствия. Переход всех испытательных лабораторий на ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 поставил ряд задач, в том числе и в части метрологического обеспечения проводимых испытаний. В области СИЗ решение этих задач нередко сопряжено с разработкой и внедрением новых высокоточных методик и комплексов измерительной и испытательной аппаратуры.

Одним из важных показателей безопасности СИЗ является ограничение поля зрения при их использовании. Существующие методы испытаний не позволяют в полной мере оценить ограничение поля зрения для современных СИЗ сложных конструкций, а для костюмов изолирующих и средств индивидуальной защиты органов дыхания с принудительной подачей воздуха фактически являются неприменимыми.

На сегодняшний день проводится работа по разработке методики и соответствующего комплекса аппаратуры, который позволит обеспечить проведение испытаний всех типов СИЗ, независимо от их конструктивного исполнения.

Определены основные требования к комплексу аппаратуры. Комплекс аппаратуры должен состоять из специального полуавтоматического измерительного периметра большого габарита, вспомогательных средств измерений, персонального компьютера с программным обеспечением. Использование специального периметра большого габарита позволит снизить влияние возможных незначительных движений головы и глаз испытателей, таким образом, такие движения не будут оказывать существенного влияния на результат испытания.

Комплекс аппаратуры должен обеспечивать возможность измерения поля зрения и его ограничения для СИЗ любых конструкций (диапазон измерения границ поля зрения по меридианам: 0 – 180° при шаге 10°). Комплекс аппаратуры должен обеспечивать высокую точность при определении ограничения поля зрения, измерения должны проводиться бинокулярно без фиксации головы испытателя, что существенно снизит трудоемкость при проведении испытаний, а полученный результат при этом будет иметь достаточно низкую неопределенностью измерений. Оборудование должно позволять проводить неразрушающий контроль. Обработка результатов измерений должна производиться при помощи специального программного обеспечения с автоматическим формированием протокола испытаний.

Предлагаемая методика определения ограничения поля зрения не регламентирована действующими международными, региональными, межгосударственными и национальными стандартами. У разрабатываемого комплекса аппаратуры нет аналогов. Все перечисленные работы отличаются особой актуальностью и в последствие должны обеспечить повышение качества

выпускаемой продукции и привести к повышению безопасности пользователей СИЗ.

**Литература**

1. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНДАРТНОГО ОБРАЗЦА СОСТАВА ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ

М.П. Крашенинина, О.С. Шохина

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, Россия  
<https://orcid.org/0000-0003-3691-1124>, [krasheninina\\_m@uniim.ru](mailto:krasheninina_m@uniim.ru)

## Аннотация

Представлены результаты исследования метрологических характеристик стандартного образца лимонной кислоты с аттестованным значением массовой доли основного вещества. Идентификация материала проведена методом ИК-Фурье спектроскопии и путем определения температуры плавления методом дифференциального термического анализа. Характеризация материала проведена методом «сто минус сумма примесей» с подтверждением результатов измерений прямым методом – методом кислотно-основного титрования.

**Ключевые слова:** эталоны, стандартные образцы, газовая хроматография, жидкостная хроматография, прослеживаемость

Целью разработки стандартного образца (СО) состава пищевой кислоты является совершенствование метрологического обеспечения результатов измерений показателей качества пищевых продуктов, в частности, лимонной кислоты. Лимонная кислота относится сразу к нескольким классам добавок – это консервант, подкислитель, антиоксидант, регулятор цвета.

Определение лимонной кислоты осуществляют титриметрическим методом [1], методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [2], методом капиллярного электрофореза [3], спектрофотометрическим методом [4] и др.

В настоящее время существует множество стандартизованных методик измерений содержания лимонной кислоты (см. таблицу 1), основанных на различных физико-химических методах анализа. Однако, все методы не являются первичными. Для выполнения требований по прослеживаемости результатов измерений до соответствующих Государственных первичных эталонов необходимо наличие стандартных образцов чистых органических кислот [4, 5].

Таблица 1 – Стандартизованные методики измерений содержания пищевых кислот

Номер НД	Наименование нормативного документа	Метод анализа
ГОСТ 32113-2013	Продукция винодельческая. Метод определения массовой концентрации лимонной кислоты	Спектрофотометрия
ГОСТ 33835-2016	Продукция соковая. Метод определения лимонной кислоты	Ферментативный
ГОСТ 33808-2016	Мясо и мясные продукты. Определение лимонной кислоты методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ)	ВЭЖХ

Работа по разработке СО состава пищевых кислот состояла из трех частей: идентификация материалов пищевых кислот, характеризация материалов пищевых кислот, определение характеристик однородности и стабильности пищевых кислот.

Характеризация материалов пищевых кислот, т.е. определение массовой доли основного компонента проведено косвенным методом, или «сто минус сумма примесей».

С целью реализации метода «сто минус сумма примесей» использовано следующее оборудование:

- Государственный вторичный эталон единиц массовой доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе газовой и жидкостной хроматографии ГВЭТ 208-1-2023 использован для определения массовой доли родственных примесей и массовой доли легколетучих компонентов [6, 7];



- Государственный первичный эталон единиц массовой доли, массовой (молярной) концентрации воды в твёрдых и жидких веществах и материалах ГЭТ 173-2017 использован для определения массовой доли воды [8];

- Государственный первичный эталон единиц массовой (молярной, атомной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе кулонометрии ГЭТ 176-2019 использован для определения суммарного содержания металлов.

Разработанный СО позволяет обеспечить требования технических регламентов ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

#### **Литература**

1. Eid I Brima, Anass M. Abbas Determination of citric acid in soft drinks, juice drinks and energy drinks using titration // International Journal of chemical studies. 2014. Vol. 1. I. 6. P. 30-34. DOI: 10.13140/2.1.1882.6886.

2. Rui Wang, Shiwen Hu, Jie Chen Analysis of citric acid and D-isoascorbic acid in beverages by High performance liquid chromatography // Web of Conferences. 2021. P. 1 – 4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125102047>.

3. J. M. Izco, M. Torno, A. Harris, P.S. Tong Optimization and validation of a rapid method to determine citrate and inorganic phosphate in milk by capillary electrophoresis // American Dairy Science Association. 2003. Vol. 86. No.1. P. 86 – 95.

4. Ganjar Wahyu Rahardian, Sausa Monica, Hendri Wasito, Sri Sutji Susilowati Chemometrics-assisted spectrophotometry for simultaneous determination of sodium benzoate and citric acid in beverage products // Pharmacia. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 1-10. DOI: 10.12928/pharmacia.v8i1.6766.

4. А.Ю. Михеева, А.И. Крылов Прослеживаемость в органическом анализе. Часть 1. Эквивалентность национальных и международных эталонов // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. Т. 16. №3. С. 5-21.

5. А. Ю. Михеева, И. Ю. Ткаченко, А.И. Крылов Прослеживаемость в органическом анализе. Часть 2. Государственный первичный эталон в области органического анализа ГЭТ 208: границы компетенции и сферы применения // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19. №5. С. 7-33.

6. Шохина О.С., Медведевских М.Ю., Крашенинина М.П., Макарова С.Г., Крылов А.И., Ткаченко И.Ю., Михеева А.Ю. // Разработка Государственного вторичного эталона и стандартных образцов состава на основе жидкостной и газовой хроматографии. Стандартные образцы. 2017. Т.13. №1. С. 9-26.

7. Шохина О.С., Медведевских М.Ю., Сергеева А.С. Альтернативные способы определения воды и остаточных органических растворителей в фармацевтических субстанциях. Аналитика. 2022. Т.12. №5. С. 360-369.

8. Медведевских М.Ю., Крашенинина М.П., Сергеева А.С., Шохина О.С. Эталонная установка на основе термогравиметрического анализа с масс-спектрометрическим детектированием в составе государственного первичного эталона ГЭТ 173 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. Т. 84. № 6. С. 63-69.

# КАЛИБРОВКА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГИДРОФОНОВ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

С.И. Кузнецов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),  
Солнечногорск, р. П. Менделеево, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-7674-8010, Sergeant815@mail.ru

## **Аннотация**

*Обеспечить контроль большинства параметров акустического выхода ультразвукового медицинского оборудования возможно только с помощью высокочастотного гидрофона, который должен быть откалиброван с высокой точностью в требуемом частотном диапазоне. Рассмотрены различные методы калибровки ультразвуковых гидрофонов. Предложены решения по использованию метода оптической интерферометрии для калибровки гидрофонов. Рассмотрены результаты реализации предложенных решений в разработанной эталонной установке.*

**Ключевые слова:** *высокочастотный гидрофон, ультразвук, метод оптической интерферометрии, калибровка гидрофона*

Высокочастотные гидрофоны, применяемые для проведения контроля акустического выхода ультразвукового медицинского оборудования (УМО), а именно при определении коэффициента неоднородности пучка, эффективной площади активного элемента, геометрических характеристик генерируемого ультразвукового (УЗ) поля и некоторых других характеристик [1], обычно выполнены на основе поливинилиденфторидных пленок (PVDF) [2,3] и имеют достаточно малые размеры активного элемента – до 0,5 мм в диаметре. Такие гидрофоны серийно не производят в Российской Федерации, а для их калибровки с достаточной точностью, приходилось пользоваться услугами Национальной Физической Лаборатории Великобритании. Отсутствие государственной поверочной схемы для таких гидрофонов оставалось проблемой до настоящего времени.

Ранее калибровка подобных гидрофонов в России проводилась в ручном режиме методом линейного сканирования. Вручную перемещая гидрофон в поперечном сечении УЗ пучка известной мощности, и записывая напряжение на выходе гидрофона в каждой точке сканирования можно получить значение действующей мощности сканируемого УЗ пучка. Сравнивая полученное значение мощности с эталонным, можно определить чувствительность гидрофона. Такой метод прост в реализации, но обладает низкой точностью. [4]

С целью обеспечения возможности высокоточной калибровки высокочастотных гидрофонов в ФГУП «ВНИИФТРИ» была разработана специализированная установка для воспроизведения и передачи единицы звукового давления в водной среде в диапазоне высокочастотного ультразвука. В основу работы новой установки положен метод оптической интерферометрии [3]. Основные характеристики специализированной установки приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – характеристики установки для воспроизведения и передачи единицы звукового давления в водной среде*

Наименование характеристики	Значение
Диапазон значений, в котором воспроизводится единица давления ультразвука в воде, кПа	от 100 до 3000
Диапазон частот, в котором воспроизводится единица давления ультразвука в воде, МГц	от 0,5 до 20
Относительное СКО при 5 независимых измерениях, %, не более	3
Относительная НСП, %, не более	7
Суммарную неопределённость воспроизведения давления ультразвука, %, не более	2,87

Акусто-оптический метод калибровки высокочастотных гидрофонов предполагает измерение колебательной скорости колебаний среды под воздействием ультразвукового излучения, генерируемого преобразователем [2]. Для измерений скорости колебаний среды была разработана специальная акустическая мембрана, выполненная из ПЭТ пленки толщиной 3 мкм и покрытая тонким слоем (около 70 нм) хрома. По результатам исследований, приведенным в [5], амплитуда колебаний пленки совпадает с амплитудой колебаний частиц воды, а затухание акустического пучка в слое металлизации толщиной менее 70 нм пренебрежимо мало. Металлизация акустической мембраны была необходима для обеспечения отражения лазерного луча виброметра от ее поверхности.

Метрологические характеристики разработанной установки подтверждены результатами государственных испытаний и сопоставимы с характеристиками зарубежных эталонов аналогичного назначения. В 2024 г. планируется ввести установку в состав Государственного первичного эталона мощности ультразвука в воде ГЭТ 169-2019, что позволит расширить возможности государственной поверочной схемы, включив в нее средства измерений звукового давления в воде в диапазоне частот от 0,5 до 20 МГц, удовлетворить современным требованиям к точности гидрофонов, применяемых для оценки и контроля акустического выхода УМО.

#### **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. IEC 62127-2:2017 Ultrasonics – Hydrophones – Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz.
3. ГОСТ Р МЭК 62127-2-2009 ГСИ. Гидрофоны. Общие требования к методикам калибровки в частотном диапазоне до 40 МГц.
4. Калибровка высокочастотного гидрофона методом растрового сканирования / С.И. Кузнецов.// Сборник тезисов конференции «За нами будущее» – 2023. – С. 250-252. – EDN UCXTMF.
5. Особенности применения звукопрозрачных металлизированных пленок для калибровки гидрофонов методами оптической интерферометрии в свободном поле / А. М. Еняков, С. И. Кузнецов // Альманах современной метрологии. – 2021. – № 3(27). – С. 85-103. – EDN HNSLFS.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

В.А. Куликов, П.И. Сухинин, Д.В. Афанасенко

ФГУП «Производственное объединение «Маяк»,  
Озерск, Российская Федерация  
mayak@po-mayak.ru

## **Аннотация**

*При проведении исследований в целях сертификации средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) необходимо соблюдать требования Приказа Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 31.10.2013 года № 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» в части установления и нормирования метрологических характеристик.*

*При подготовке к сертификационным испытаниям проведены тестовые исследования материалов, применяемых при изготовлении СИЗ, в рамках которых их подвергали воздействию разрывной и раздирающей нагрузкам по основе и по утку и регистрировали удлинение текстильного материала при разрыве до и после дезактивации, после чего производили расчеты в целях установления метрологической точности применяемых методов испытаний.*

**Ключевые слова:** *разрывная нагрузка, раздирающая нагрузка, удлинение при разрыве, метрологические характеристики, расчет неопределенности*

Механические испытания проводили по ГОСТ 3813-72. Для определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве элементарные пробы зажимали в захватах электромеханической испытательной машины LFM–100 с предварительным натяжением в зависимости от поверхностной плотности текстильных материалов. Испытание проводили до полного разрыва элементарной пробы.

Для определения раздирающей нагрузки элементарную пробу складывали пополам по ширине, а затем закрепляли в захватах, без перекручивания «язычков». Раздираение элементарной пробы проводили на длине 50 мм, не доводя до полного разделения элементарной пробы на две части. Раздирающей нагрузкой элементарной пробы считали показание прибора после окончания процесса раздираения.

После того, как полоска была разорвана, зафиксировали:

- максимальную силу разрыва;
- удлинение при разрыве;
- время разрыва.

За разрывную нагрузку,  $F$ ,  $N$ , точечной пробы принимали среднеарифметическое значение параллельных определений всех измерений разрывной нагрузки по основе или утку. Параллельным определением считали испытание образцов, изготовленных из одной партии материала. Вычисление проводили с точностью до 0,001  $N$  и округляли до 0,01  $N$ .

Удлинение  $l_1$  элементарной пробы при разрыве по основе или по утку в процентах вычисляли по формуле

$$l_1 = \frac{l \cdot 100}{A}, \quad (1)$$

где  $l$  – удлинение при разрыве, мм;  
 $A$  – зажимная длина элементарной пробы, мм.

За окончательный результат удлинения при разрыве точечной пробы принимали среднеарифметическое значение всех измерений параллельных определений удлинения при разрыве по основе или по утку. Вычисление производили с точностью до 0,01 % и округляли до 0,1 %.

За раздирающую нагрузку точечной пробы принимали среднеарифметическое результатов всех испытаний элементарных проб одного направления. Вычисление производили с точностью до 0,01  $N$  и округляют до 0,1  $N$ .

Результаты механических испытаний записали в виде

$$F \pm U_1, \quad (2)$$

$$F_{\text{разд}} \pm U_2, \quad (3)$$

$$l_1 \pm U_3. \quad (4)$$

Расширенную неопределенность измерений разрывной нагрузки и раздирающей нагрузки  $U_{1,2}$ , Н, вычисляли по формуле

$$U_{1,2} = K \cdot u_{1,2}, \quad (5)$$

- где  $K$  – коэффициент, зависящий от числа неисключенных систематических погрешностей;  
 $u_1$  – суммарная стандартная неопределенность измерения разрывной нагрузки, Н;  
 $u_2$  – суммарная стандартная неопределенность измерения раздирающей нагрузки, Н.

Суммарную стандартную неопределенность измерения разрывной и раздирающей нагрузки  $u_{1,2}$ , вычисляли по формуле

$$u_{1,2} = \left[ F \cdot \frac{\Delta F}{\sqrt{3}} \right], \quad (6)$$

- где  $F$  – значение нагрузки, Н;  
 $\Delta F$  – предел допускаемой относительной погрешности измерения силы, Н.

Расширенную неопределенность измерений удлинения при разрыве  $U_3$ , %, вычисляли по формуле

$$U_3 = K \cdot u_3, \quad (7)$$

- где  $u_3$  – суммарная стандартная неопределенность измерения удлинения при разрыве, мм.

Суммарную стандартную неопределенность  $u_3$  вычисляли по формуле

$$u_3 = \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{A}\right)^2 \cdot \left(\frac{l \cdot S_{им}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{l}{A^2}\right)^2 \cdot \left(\frac{S_{шт}}{\sqrt{3}}\right)^2} \right], \quad (8)$$

- где  $A$  – зажимная длина элементарной пробы, мм;  
 $S_{им}$  – предел допускаемой относительной погрешности измерения перемещения траверсы испытательной машины, мм;  
 $l$  – удлинение при разрыве, мм;  
 $S_{шт}$  – предел допускаемой погрешности измерительного инструмента, мм.

Контроль качества результатов испытаний подтверждали периодической проверкой средств измерений, проведением технического обслуживания и т.д.

#### Литература

5.ГОСТ 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.12.2011 N 1045- ст дата введения 2013-01-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева».

6.ГОСТ 3813-72 Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 01.03.72 N 486 дата введения 1973-01-01 / разработан Госкомлегпромом при Госплане СССР.

7.ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.09.2017 N 1065-ст дата введения 2018-09-01.

8. 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».

# ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ПТТ-36 И КОМПЛЕКТА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПНТЭ-36

М.Ю. Курочкина

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области»  
(ФБУ «Нижегородский ЦСМ»),  
Нижегород, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0002-2991-694X>, [kurochkina@nncsm.ru](mailto:kurochkina@nncsm.ru)

## *Аннотация*

*Расширение метрологических возможностей лаборатории и повышение точности при поверке высокоточных измерителей и калибраторов переменного тока при совместном использовании комплекта преобразователей тока ПТТ-36 и комплекта преобразователей термоэлектрических ПНТЭ-36.*

**Ключевые слова:** *государственный первичный эталон, вторичный эталон переменного тока, ток, напряжение, термопреобразователь, метрологические характеристики, калибратор, погрешность*

Средства измерений переменного электрического тока (СИ ПЭТ), включая аналоговые, цифровые и стрелочные амперметры, мультиметры, а также генераторы сигналов переменного тока, в том числе универсальные калибраторы, имеющие функцию воспроизведения тока, составляют достаточно большую группу приборов, находящихся в эксплуатации у потребителей электронного измерительного оборудования.

Поддержание единства измерений физической величины ампера переменного тока обеспечивается первичной и периодической поверкой СИ ПЭТ, которую надлежит осуществлять в соответствии с Государственной поверочной схемой (ГПС) – 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». Исходя из метрологических характеристик государственного первичного эталона переменного электрического тока ГЭТ 88-2014 в диапазоне уровней от 0,001 А до 100 А при частотах от 20 Гц до 1 МГц устанавливаются метрологические характеристики вторичных и рабочих эталонов и определяются основные методы поверки, применяемые при передаче физической величины ампера по всей поверочной цепи от первичного эталона до рабочих средств измерений.

Первичный и вторичный эталоны строятся на основе метода одновременного сравнения среднеквадратического значения (СКЗ) сигнала переменного тока  $I_{\text{ex}}$  с уровнем постоянного тока  $I_0$  (называемого опорным). Для осуществления этого метода первичный и вторичный эталоны имеют в своем составе электротепловые эталоны сравнения переменного и постоянного токов, а также высокостабильный плавнорегулируемый источник постоянного тока нормированного уровня. Токи  $I_{\text{ex}}$  и  $I_0$  поочередно подают на вход эталона сравнения, а о равенстве токов судят по одинаковому выходному сигналу эталона сравнения.

Первичный эталон ГЭТ 88-2014, характеристики которого указаны в ГПС, хранится и эксплуатируется по месту его разработки (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»).

Что касается вторичного эталона, то в настоящее время ФБУ «Нижегородский ЦСМ» располагает комплектом преобразователей тока ПТТ-36, аттестованным в качестве Государственного вторичного эталона единицы силы электрического тока в диапазоне значений от 1 мА до 100 А в диапазоне частот от 20 Гц до 100 кГц – ЗБН.2927.2022.

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 шунта Ш и электротеплового блока из состава ПНТЭ-36. Основным преимуществом комплекта ПТТ-36 является малая частотная зависимость на максимальных значениях измеряемых токов от 20 А до 100 А, обусловленная особой конструкцией преобразователей.

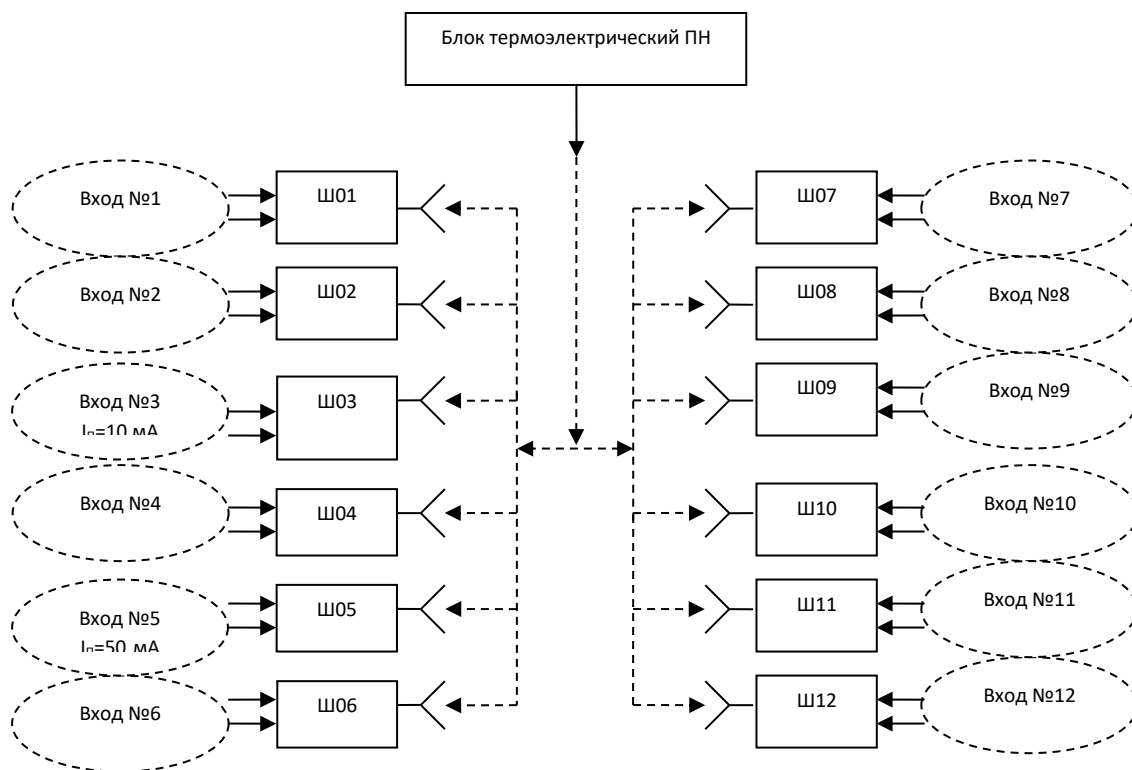


Рис. 1 – Структурная схема эталона сравнения ПТТ-36

При прохождении номинального тока через преобразователь на его выходе формируется падение напряжения  $0,5$  В среднеквадратического значения напряжения, которое должно быть измерено. Изменяя опорный ток так, чтобы получить на выходе преобразователя постоянное напряжение, равное переменному, получим значение измеряемого переменного тока. При таком способе определения переменного тока значительную составляющую общей погрешности измерений определяют измерители постоянного и переменного напряжения на шунте. Необходимо учитывать параметры входной цепи этих измерителей. Поскольку влияние входного импеданса вольтметра оказывает существенное влияние на результат измерений. При этом необходимо учитывать действительное значение опорного тока. Использование блока термоэлектрического ПН (из состава ПНТЭ-36) повышает точность измерений выходного напряжения преобразователей тока, а также определение опорного тока.

Выполнение данных требований позволяет существенно минимизировать погрешность результатов измерений.

#### Литература

1. 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».
2. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №1706 от 18.08.2023 «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».
3. 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», №18, 2012 г.».
4. Телитченко Г.П., Шевцов. В.И. Государственный первичный специальный эталон единицы силы переменного электрического тока. «Главный метролог» № 5, 2015г.
5. Комплект прецизионных шунтов переменного тока А40 Fluke. Руководство по эксплуатации.
6. Комплект преобразователей тока термоэлектрических ПТТ-36. Руководство по эксплуатации ЭРБС.411136.013 РЭ.

## ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА – ЭТО НАШ АБСОЛЮТНЫЙ ПРИОРИТЕТ НА ВЕСЬ XXI ВЕК

Т.А. Кухтина, Е.О. Клименко

Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в  
Хабаровском крае и Еврейской автономной области»  
(ФБУ «Хабаровский ЦСМ»),  
Хабаровск, Российская Федерация  
Филиал ФБУ «Хабаровский ЦСМ» в г.Комсомольске-на-Амуре, Российская Федерация  
kukhtina.tatyana@list.ru

### *Аннотация*

*В работе рассмотрено развитие Дальнего востока, Хабаровского края, Хабаровский Центр стандартизации метрологии и испытаний, - как крупнейший центр на территории Дальнего Востока*

***Ключевые слова:** Дальний Восток, Хабаровский край, Территории опережающего социально-экономического развития, Дальневосточная метрология, студенты*

Большое внимание в выступлении Президента Российской Федерации Владимира Путина на пленарном заседании VIII Восточного экономического форума было уделено вопросам дальнейшего развития Дальнего Востока. «Опережающее развитие Дальнего Востока – это наш абсолютный приоритет на весь XXI век», - сказал он.

Дальневосточный Федеральный округ — это самый большой по площади округ в России – 36 % от территории страны. В него входит 4 области, 4 края, 2 республики, 1 автономный округ. Дальний Восток на протяжении последних лет динамично развивается. Он не остается без внимания Президента и Правительства края. Частые визиты на Дальний Восток дают свои результаты.

Для создания максимально привлекательного инвестиционного климата разработаны уникальные механизмы – территории опережающего социально-экономического развития.

Например, в 2024 году планируется запуск первого грузового поезда по новой Тихоокеанской железной дороге из Якутии в Хабаровский край. Длина магистрали – более 350 километров, построенных в суровых условиях севера и в минимальные сроки.

На Дальнем Востоке активно развивается сфера туризма. Смешанная восточная культура, удивительная девственная природа и особенная атмосфера «края света» – все это можно найти, отправившись в дальневосточную экспедицию. Каждый уголок этой части страны прекрасен, но на изучение всего не хватит и нескольких жизней.

Самым удивительным и востребованным для туристов местом на сегодняшний день являются Шантарский архипелаг. Это удивительное и невероятное приключения в одно из самых малоизученных мест. На посещение этого места сейчас распространяются льготы [1].

Сердцем Дальнего Востока всегда был и остается Хабаровский край. По указу Петра I Охотск в 1647 году стал первой базой русского флота на Тихоокеанском океане. С этого времени и начинается история моего родного края.

Хабаровский край сегодня – это главный промышленный и транспортно-логистический узел Дальнего Востока Российской Федерации. Наиболее развитыми отраслями промышленности Хабаровского края являются: горнодобывающая промышленность, черная металлургия, машиностроение и металлообработка, нефтеперерабатывающая промышленность, лесная промышленность, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, рыбная промышленность, производство строительных материалов.

В Комсомольске-на-Амуре строится уже третий авиационный завод. Он будет выпускать новые самолеты «Байкал» - «воздушные маршрутки» на 9 пассажиров и с дальностью полета 1,5 тысячи километров. Также успешно прошли испытания импортозамещенного лайнера «Суперджет-100». Производственный центр «Яковлев» переходит на серийное производство этих самолетов.

Легенда мировой военной авиации Комсомольский-на-Амуре авиазавод продолжит выпуск многофункциональных истребителей поколений 4++ Су-35 и новейших самолетов пятого поколения СУ-57.



Амурский судостроительный завод в 2024 году сдаст заказчику малые ракетные корабли «Ржев и Удомля». Корабелы продолжают постройку «Василия Ощепкова» - второго грузопассажирского парома по линии Ванино-Холмск. Промысловики оценили высокое качество работы и планируют долгосрочное сотрудничество [3].

Ключевую роль в устойчивости экономики нашей страны в сложной международной обстановке играет отечественная промышленность, которой удастся решать задачи импортозамещения основных видов продукции, включая высокотехнологичную. При этом ее успешная работа невозможна без проведения высокоточных измерений, наличия современного парка измерительных приборов и необходимого метрологического обеспечения, в том числе эталонов и стандартных образцов. Они составляют основу метрологического обеспечения производства любой промышленной продукции [4].

На Дальнем Востоке всего насчитывается 8 центров стандартизации, метрологии и испытаний.

Самым крупным в Дальневосточном Федеральном округе является Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Хабаровском крае и Еврейской автономной области».

Учреждение обеспечивает необходимую точность, достоверность, сопоставимость измерительной информации.

Шесть структурных подразделений центра в Хабаровске, филиалы в Комсомольске-на-Амуре, Николаевске-на-Амуре, Советской Гавани и Еврейской автономной области обеспечивают более 100 000 поверок в год. Общая площадь поверочных подразделений – более 2000 кв. метров.

Используемая при поверке современная высокоточная эталонная база насчитывает свыше 900 единиц. Арсенал центра постоянно обновляется и совершенствуется, расширяется спектр услуг, осваиваются новые виды поверок.

Для удобства заказчика и расширения возможностей применяется система «Единого окна». В любом из филиалов Заказчик может сдать Средство измерения в поверку, даже если оно не ходит в область аккредитации филиала. Для этого заранее готовится расчет стоимости с учетом доставки. Если все условия устраивают заказчика, СИ сдается в поверку. Вся ответственность и контроль за выполнением поверки лежит на филиале.

Многолетний опыт, своевременная профессиональная переподготовка и повышение квалификации 84 специалистов центра позволяют занимать лидирующую позицию в Дальневосточном Федеральном округе.

Хабаровский ЦСМ не испытывает кадровый голод благодаря профориентационной работе. Ежегодно Студенты профилирующих ВУЗов Хабаровского края проходят производственную практику в структурных подразделениях Центра.

В рамках реализации проекта «Билет в будущее», направленного на раннюю профессиональную ориентацию школьников и закрепление молодежи в крае, ФБУ «Хабаровский ЦСМ» проводит производственные экскурсии по ранней профессиональной ориентации учащихся 6 – 11-х классов общеобразовательных организаций края.

С помощью акции «День открытых дверей» мы, как и вся система Росстандарта, доносим до общества, что такое метрология и в чем ее главная задача.

Работа со студентами и школьниками приносит свои результаты, и в наш ФБУ «Хабаровский ЦСМ» идет работать молодежь, которая видит будущее в этой профессии и развивается вместе с ней [2].

Большое количество промышленных предприятий помогает «дальневосточной» метрологии развиваться и совершенствоваться. Открываются новые возможности в области метрологии. Мы обслуживаем все предприятия нашего края.

Благодаря развитию Хабаровского края и Дальнего Востока в целом, основной задачей метрологического обеспечения производства является обеспечение единства измерений как необходимого условия повышения качества продукции и безопасности труда, эффективности производства, уменьшения экологического воздействия на окружающую среду, обеспечения достоверного учета материальных, сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, повышения эффективности управления.

Хочется закончить свой доклад словами В.В. Бойцова: «Метрология должна быть на шаг впереди промышленности» А мы, как региональные представители, должны способствовать развитию метрологии на Дальнем Востоке.

«Дальний Восток России обязательно будет успешным, таким, каким его видят, к чему стремятся живущие здесь люди» В.В. Путин.

# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДЫ

А.В. Ларош, Я.К. Чубченко

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»

(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»),

Санкт-Петербург, Российская Федерация

ORCID: 0000-0002-3408-5116, larosh@b10.vniim.ru, ycc@b10.vniim.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены особенности разработки стандартных образцов изотопного состава воды на примере международных стандартных образцов изотопного состава воды (VSMOW2, GRESP, USGS45). Обсуждается разработка стандартных образцов изотопного состава воды отечественного производства. Разработана методика измерений дельта значения отношения изотопов кислорода и водорода в стандартных образцах изотопного состава воды. Обсуждаются результаты предварительных измерений.*

**Ключевые слова:** метрология, стабильные изотопы, изотопная масс-спектрометрия, стандартные образцы изотопов

В настоящее время в РФ применяется более 30 стандартов и аттестованных методик измерений, например, [1-5], по определению отношений изотопов элементов в газообразных, жидких и твердых средах, в том числе для контроля качества и подтверждения безопасности соковой продукции (технический регламент ТР ТС 023/2011) и алкогольной продукции (технический регламент ТР ЕАЭС 047/2018). Реализованные в данных документах методики основаны на применении стандартных образцов зарубежного производства, таких как VSMOW2 [6], GRESP [7], USGS45 [8] и т.д. Аналогичные стандартные образцы отечественного производства не выпускаются, в связи с чем широкое применение данного метода в ближайшее время будет существенно ограничено.

В работе рассмотрены особенности разработки стандартных образцов изотопного состава воды на примере международных стандартных образцов VSMOW2, GRESP, USGS45 разработка которых включает в себя подготовку исходных материалов, очистку от примесей, корректировку изотопного состава, гомогенизацию и расфасовку. Выполнен анализ требуемого диапазона аттестованных значений стандартных образцов. Обсуждается разработка стандартных образцов изотопного состава воды с заданным дельта значением отношения изотопов водорода в диапазоне от минус 125 ‰ до минус 35 ‰, и дельта значением отношения изотопов кислорода в диапазоне от минус 15 ‰ до минус 4 ‰ отечественного производства.

Разработана методика измерений дельта значения отношения изотопов кислорода и водорода в стандартных образцах изотопного состава воды методом изотопной масс-спектрометрии. Обсуждаются результаты предварительных измерений.

## **Литература**

1. ГОСТ 31718-2012. Соки и соковая продукция. Идентификация. Определение стабильных изотопов кислорода методом масс-спектрометрии.
2. ГОСТ 32688-2014. Продукты пищевые. Определение сахаросодержащих ингредиентов методом масс-спектрометрии стабильных изотопов кислорода.
3. ГОСТ 34795-2021. Сидры и пуаре. Идентификация. Метод определения отношения изотопов кислорода 18O/16O водной компоненты.
4. ГОСТ Р 59570-2021. Продукция винодельческая. Идентификация компонентов в части определения природы этанола и других соединений физико-химического состав.
5. ГОСТ Р 55518-2013. Продукция винодельческая. Определение состава растворенного диоксида углерода методом изотопного уравнивания.
6. International Atomic Energy Agency. Reference sheet for VSMOW2 and SLAP2 international measurement standards. – 2017.
7. Certification Report on Value Assignment for the  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  Stable Isotopic Composition in the Water Reference Material GRESP. – 2021.
8. Lorenz J. M. et al. Biscayne aquifer drinking water (USGS45): A new isotopic reference material for  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  measurements of water //Rapid Communications in Mass Spectrometry. – 2014. – Т. 28. – №. 19. – С. 2031-2034.

# ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ АТТЕСТОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ ПЛОТНОСТИ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК ПРИ НЕДОСТАТОЧНОМ КОЛИЧЕСТВЕ РАБОЧИХ ТЕЛ

С.М. Лебедев, В.В. Лесин, О.А. Свирская, О.Б. Ермолова, А.Ю. Стелюк

АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт  
неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»

(АО «ВНИИНМ»)

Москва, Российская Федерация

SeMLebedev@bochvar.ru

## **Аннотация**

*Штатные топливные таблетки имеют значения плотности в диапазоне от 10,4 до 10,7 г/см<sup>3</sup>. Таблетки, специально изготовленные для обеспечения требуемой плотности образцов, могут не соответствовать требованиям ТУ по плотности таблеток.*

**Ключевые слова:** метрология, плотность топливных таблеток, аттестованные объекты

Формирование комплектов аттестованных объектов (АО) плотности топливных таблеток происходит в соответствии с требованиями отраслевой инструкции ОИ 001.453-99 «Топливные таблетки. Стандартные образцы средней плотности. Инструкция по отбору рабочих тел, метрологической аттестации и применению».

Комплект АО, как правило, содержит аттестованные объекты, которые имеют аттестованные значения в диапазоне от 10,10 до 10,80 г/см<sup>3</sup>. Такая ширина диапазона обусловлена свойством погрешности градуировки в графическом представлении расходиться ближе к крайним точкам диапазона и в то же время уменьшаться ближе к середине диапазона.

В диапазоне от 10,10 до 10,80 г/см<sup>3</sup> условно выделяют 5 поддиапазонов:

- от 10,10 до 10,35 г/см<sup>3</sup> включительно;
- свыше 10,35 до 10,45 г/см<sup>3</sup> включительно;
- свыше 10,45 до 10,55 г/см<sup>3</sup> включительно;
- свыше 10,55 до 10,65 г/см<sup>3</sup> включительно;
- свыше 10,65 до 10,80 г/см<sup>3</sup> включительно.

Каждый комплект АО обычно включает в себя не менее пяти таблеток одного типа, имеющих значения плотности в каждом поддиапазоне.

В случае отсутствия в комплекте объектов, имеющих плотность во всех пяти поддиапазонах, допускается формировать комплект из образцов, имеющих плотность не менее, чем в трёх точках диапазона (начало, середина и конец диапазона 10,10 до 10,80 г/см<sup>3</sup>). Причём, общее количество АО в комплекте должно быть не менее шести.

Необходимость формирования комплектов АО, состоящих из 6 аттестованных объектов, может быть вызвана как полным отсутствием образцов, имеющих плотность в том или ином поддиапазоне плотности (недостаток по типу 1), так и некорректными результатами отбора рабочих тел АО, заключающимися в неверном определении значений их плотности для предварительного отнесения к тому или иному поддиапазону плотности (недостаток по типу 2).

Настоящий доклад обосновывает возможности АО «ВНИИНМ» при формировании комплектов АО при недостатке рабочих тел по типу 1.

## **Литература**

1. ОИ 001.453-99 Топливные таблетки. Стандартные образцы средней плотности. Инструкция по отбору рабочих тел, метрологической аттестации и применению. – М.: АО «ВНИИНМ», 1999, 20 с.
2. 533.385.000 Инструкция. Топливные таблетки. Методика выполнения измерений плотности гамма-абсорбционным методом с использованием хордокомпенсаторных установок.
3. ОИ 001.452-99 Топливные таблетки. Методика выполнения измерений средней плотности с использованием меркуростатического взвешивания. – М.: АО «ВНИИНМ», 1999, 38 с.

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ВНЕШНЕМУ ВИДУ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА

А.П. Леготин, И.А. Куликова, А.И. Стрехнин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр  
стандартизации, метрологии и испытаний в Челябинской области»  
(ФБУ «Челябинский ЦСМ»),  
Челябинск, Российская Федерация  
a.legotin@chelcsm.ru

## **Аннотация**

*В данной статье рассмотрена проблема идентификации средства измерения по внешнему виду, сравнение внешнего вида средства измерения с фотографиями, представленными в описании типа на него, законодательные аспекты, регламентирующие возможность проведения поверки, особенности идентификации средств измерений при отсутствии фотографий внешнего вида в описании типа.*

**Ключевые слова:** *средство измерения, поверка, внешний вид, описание типа, идентификация, обеспечение единства измерений*

В соответствии с Федеральным законом 102-ФЗ [1], поверка - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений (СИ) метрологическим требованиям.

Поверке подлежат СИ, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений утвержденного типа [2].

Утверждение типа СИ подтверждается включением сведений о типе средств измерений в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ).

Порядок утверждения типа средства измерений регламентирует приказ Минпромторга России от 28.08.2020 № 2905 [3].

Таким образом, поверке подлежат СИ, информация о которых содержится в ФИФ ОЕИ в разделе утвержденных типов средств измерений [4].

Важной задачей специалиста, осуществляющего поверку средства измерений, является отнесение представленного к поверке СИ к конкретному описанию типа СИ посредством сравнения идентификационных признаков прибора с информацией в описании типа.

К таким идентификационным признакам СИ относятся:

- 1) наименование;
- 2) тип;
- 3) дата выпуска;
- 4) производитель;
- 5) страна производства;
- 6) метрологические характеристики;
- 7) внешний вид.

Внешний вид является одним из признаков, вызывающих большое количество разногласий. Лица, предоставляющие СИ в поверку, не всегда могут самостоятельно определить принадлежность СИ к конкретному описанию типа. Внешний вид СИ в описании типа представлен для того, чтобы отличить между собой СИ различных модификаций, а также в целях защиты изготавливаемых СИ от контрафакта.

Внешний вид, предоставленного на поверку СИ, может отличаться от представленного в описании типа, тогда в тексте приводится примечание о том, что внешний вид является общим, а конкретный вид зависит от модификации СИ. Например, в описании типа представлено фото весов с ветрозащитным экраном, но у предоставленных в поверку весов ветрозащитного экрана нет.

Также противоречивым является тот факт, что цвет СИ может отличаться от фотографии внешнего (общего) вида, указанного в описании типа. В связи с чем, можно предположить, что данное СИ является подделкой.

Таким образом, не проработан алгоритм действия поверителя в ситуациях, когда формально поверить СИ невозможно из-за отличий во внешнем виде, но метрологические характеристики СИ, и иные идентификационные признаки СИ соответствуют указанным в описании типа.

При поверке СИ, в описании типа которых нет фотографии внешнего (общего) вида СИ, отнесение представленного к поверке СИ сводится к сравнению метрологических характеристик, указанных в описании типа, с метрологическими характеристиками СИ. А отличие СИ утвержденного типа от подделок, в основном, сводится к сравнению других идентификационных признаков СИ, заявленных в описании типа.

#### **Литература**

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
3. Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 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. «Отнесение средства измерений к утверждению типа»  
[https://info.metrologu.ru/spravochnik/obespechenie\\_edinstva\\_izmereniy-1/poverka-i-kalibrovka/poverka-i-kalibrovka\\_175.html](https://info.metrologu.ru/spravochnik/obespechenie_edinstva_izmereniy-1/poverka-i-kalibrovka/poverka-i-kalibrovka_175.html).

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ  
СООТВЕТСТВИЯ ГАЗА ГОРЮЧЕГО ПРИРОДНОГО ТРЕБОВАНИЯМ  
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА  
046/2018 «О БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗА ГОРЮЧЕГО ПРИРОДНОГО,  
ПОДГОТОВЛЕННОГО К ТРАНСПОРТИРОВАНИЮ И (ИЛИ) ИСПОЛЬЗОВАНИЮ»**

**А.А. Лепшеева**

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром трансгаз Краснодар»  
(ООО «Газпром трансгаз Краснодар»),  
Краснодар, Российская Федерация,  
ar.lepsheeva@tgk.gazprom.ru

**Аннотация**

*Для обеспечения декларирования газа горючего природного промышленного и коммунально-бытового назначения разработана автоматизированная система, позволяющая оптимизировать процесс проверки результатов испытаний природного газа с целью подтверждения соответствия требованиям технического регламента.*

**Ключевые слова:** газ горючий природный, декларирование соответствия, оценка соответствия, испытания газа горючего природного, технический регламент

Технический регламент Евразийского экономического союза (ТР ЕАЭС) 046/2018 «О безопасности газа горючего природного, подготовленного к транспортированию и (или) использованию», принятый решением Совета Евразийской экономической комиссии № 74 от 14.09.2018, устанавливает обязательные требования на выпускаемый в обращение и находящийся в обращении на таможенной территории Евразийского экономического союза газ горючий природный промышленного и коммунально-бытового назначения. ООО «Газпром трансгаз Краснодар» является Изготовителем и несет ответственность за обеспечение соответствия производимой им продукции требованиям, установленным техническим регламентом. Документами, подтверждающими соответствие продукции требованиям ТР, являются копии декларации о соответствии и паспорта качества газа. Таким образом, обязательное подтверждение соответствия газа необходимо проводить в форме декларирования.

Процедура декларирования состоит из трех этапов:

- лабораторные испытания образцов продукции;
- выдача протокола испытания;
- регистрация декларации.

В соответствии с выбранной схемой декларирования, испытания газа проводятся собственной лабораторией. Для обеспечения декларирования и подтверждения соответствия газа требованиям ТР ЕАЭС ведется накопление и ведение соответствующей доказательной базы, включающей в себя контроль всех протоколов испытаний химико-аналитических лабораторий. Каждая лаборатория для одной точки контроля выдает в месяц 6 протоколов испытаний, содержащих в себе сведения о компонентном составе и физико-химических показателях качества газа, серосодержащих компонентах, интенсивности запаха, механических примесях, а также протокол измерений температуры точки росы по воде и углеводородам. В настоящее время паспорта качества газа выдаются по 20 объектам в Ростовской области и по 33 объектам в Краснодарском крае и республике Адыгея. Необходимо проводить контроль полученных результатов по каждому показателю с учетом неопределенности, таким образом, осуществляется контроль минимум 318 протоколов испытаний ежемесячно.

Применение разработанной автоматизированной системы позволяет оптимизировать процесс проверки полученных результатов, представленных в виде протоколов испытаний, подтверждающих соответствие продукции требованиям ТР ЕАЭС 046/2018, а также наглядно представить результаты испытаний с возможностью идентификации несоответствий природного газа.

### Литература

1. ГОСТ 5542-2014 Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартиформ, 2019. – 12 с.
2. ГОСТ Р 54008-2022 Оценка соответствия. Схемы декларирования соответствия. – Введ. 01.01.2023. – М.: ФБГУ «РСТ», 2023. – 16 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 01.11.2015. – М.: Стандартиформ, 2018. – 32 с.
4. Иванова В.А., Краев А.В. Производственный контроль при декларировании соответствия // Качество и жизнь. – 2015. – №. 4. – С. 69.
5. Киселева А.И., Бельшева В.С. Декларирование соответствия продукции. Схемы декларирования, их характеристики и особенности применения // Инновационные технологии нового тысячелетия. – 2017. – С. 59-61.
6. Петровский М.А., Юсупова З.М. О техническом регламенте Евразийского экономического союза «О безопасности газа горючего природного, подготовленного к транспортированию и (или) использованию» // Научно-технический вестник ОАО «НК» Роснефть». – 2016. – №.4. – С. 24-27.
7. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности газа горючего природного, подготовленного к транспортированию и (или) использованию» (ТР ЕАЭС 046/2018).
8. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ В АСПЕКТЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В ДОКУМЕНТАХ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

**М.В.Ломоносов, А.А. Калдышева**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»  
(ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»),  
Москва, Российская Федерация  
mvlomonosov763@yandex.ru

## **Аннотация**

*С учетом роли стандартизации в развитии экономики России, в том числе на примере документов стратегического планирования федерального уровня, представляется целесообразным развивать практику разработки и применения не только документов национальной системы стандартизации в рамках соответствующих мероприятий, но и обратить внимание на иные документы, востребованные в промышленности, в том числе стандартные справочные данные.*

**Ключевые слова:** стандартизация, стандартные справочные данные, стратегическое планирование, единство измерений, водородная энергетика

Стандартные справочные данные (далее – ССД) представляют собой значения физических констант и показателей свойств веществ и материалов, определенные в установленном порядке Государственной службой стандартных справочных данных, которая осуществляет деятельность по их разработке и применению в науке, технике и технологиях в целях обеспечения на их основе единства измерений [1].

Особое внимание в настоящее время уделяется разработке ССД в атомной, химической и металлургической промышленности.

Осуществляет свою деятельность Служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в области использования атомной энергии (Служба ССДАЭ) Госкорпорации «Росатом», прорабатывается создание иных отраслевых ГСССД, в том числе по углеводородам для государственного учета энергетического сырья [3,4].

Уникальность ГСССД заключается в том, что она объединяет в рамках проводимых работ отраслевые промышленные предприятия, научные организации, научно-исследовательские институты и органы власти.

В настоящее время развиваются методы прогнозирования, моделирования и индикативного планирования стратегического планирования, инструменты планирования работ по стандартизации, а также формируются всё новые документы стратегического планирования, включающие в себя мероприятия по стандартизации [2].

К примеру, с 1 января 2024 г. вступил в силу утверждённый приказом Росстандарта новый национальный стандарт ГОСТ Р 71136–2023 «Национальные цели развития, национальные проекты (программы) и государственные программы Российской Федерации. Методики расчета показателей. Общие положения и требования к применяемым при расчетах данным», призванный решить задачу унификации расчётов показателей документов стратегического планирования.

Так, в рамках реализации Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р, и в соответствии с Планом мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р, в рамках ТК 180 «Государственная служба стандартных справочных данных» были разработаны национальные стандарты серии ГОСТ Р 8.10 «Государственная система обеспечения единства измерений», устанавливающие стандартные справочные данные по отношению к водороду.



С учетом действующих и потенциально возможных новых механизмов и инструментов стратегического планирования, национальной системы стандартизации и ГСССД целесообразно проработать дальнейшую возможность разработки ССД, в том числе в формате документа национальной системы стандартизации, в целях реализации задач отраслевых документов стратегического планирования и обеспечения более системного и опережающего внедрения новых веществ и материалов в отраслевые процессы.

#### **Литература**

1. Постановление Правительства РФ от 20.08.2001 № 596 «Об утверждении Положения о Государственной службе стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов». – «Собрание законодательства РФ», 03.09.2001, № 36, ст. 3562.

2. Указ Президента РФ от 08.11.2021 № 633 «Об утверждении Основ государственной политики в сфере стратегического планирования в Российской Федерации». – «Собрание законодательства РФ», 15.11.2021, № 46, ст. 7676.

3. Кузин А.Ю., Козлов А.Д., Колобаев В.А. Государственная служба стандартных справочных данных - одно из направлений обеспечения единства измерений в науке и технике // Главный метролог. – 2019. – № 4(109). – С. 24-29.

4. Козлов А.Д., Колобаев В.А. Стандартные справочные данные по углеводородам для государственного учета энергетического сырья // Экспериментальные методы исследования пластовых систем: проблемы и решения: Тезисы докладов I Международного научно-практического семинара, Москва, 01–02 июля 2021 года. – Москва: ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ», 2021. – С. 5.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

А.В. Лотонин, А.А. Нечаев, В.А. Кошев

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

## **Аннотация**

*Одним из основных средств передачи единиц молярной доли и массовой концентрации от государственного первичного эталона единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019 газоаналитическим средствам измерений являются динамические генераторы газовых смесей, основанные на различных методах генерации газовых смесей.*

*В данной работе проведен анализ наиболее распространенных динамических методов получения газовых смесей, описаны принципы работы генераторов и особенности методов получения газовых смесей. Приведены результаты исследований широкой номенклатуры генераторов различных типов, выполненных на эталонной аппаратуре государственного первичного эталона ГЭТ 154-2019.*

*В результате исследований установлено, что наиболее перспективными и широко используемыми являются динамические методы, основанные на применении тепловых регуляторов массового расхода, термодиффузионный метод с использованием источников микропотоков газа и метод насыщения.*

**Ключевые слова:** динамические методы, генераторы газовых смесей, массовая концентрация, тепловые регуляторы расхода, источники микропотоков

Метрологическое обеспечение газоаналитических средств измерений осуществляется путем передачи единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов от государственного первичного эталона единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019 (далее – ГЭТ 154-2019) с помощью вторичных и рабочих эталонов средствам измерения содержания компонентов в газовых средах [1].

Для передачи единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов используются газовые смеси с установленными метрологическими характеристиками, которые могут быть приготовлены двумя методами:

- статическим (стандартные образцы состава газовых смесей в баллонах под давлением);
- динамическим (использование различного рода динамических систем – генераторов газовых смесей, позволяющих получать на выходе струю газовой смеси с известными метрологическими характеристиками).

Динамические генераторы газовых смесей согласно государственным поверочным схемам (Приказ Росстандарта от 31.12.2020 № 2315, Приказ Росстандарта от 30.12.2019 № 3452) являются рабочими эталонами 1 или 2 разряда.

При реализации динамического метода приготовления газовых смесей наибольшее распространение получили следующие способы дозирования компонентов смеси:

- с использованием тепловых регуляторов массового расхода газа (генераторы газовых смесей разбавительного типа) [2];
- термодиффузионный метод с использованием источников микропотоков (термодиффузионные генераторы) [3];
- метод насыщения (динамические установки с использованием метода насыщения) [4];

В научно-исследовательском отделе госэталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» были проведены исследования метрологических характеристик динамических установок – генераторов, основанных на указанных способах дозирования компонентов.

Генераторы разбавительного типа позволяют получать газовые смеси в диапазоне молярной (объемной) доли от  $1 \cdot 10^{-6} \%$  до  $99,5 \%$  с границами доверительной относительной погрешности при  $P=0,95$  от  $5 \%$  до  $0,1 \%$ .

Термодиффузионные генераторы позволяют получать газовые смеси в диапазоне массовой концентрации от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $100 \text{ мг/м}^3$  с границами доверительной относительной погрешности при  $P=0,95$  от  $7 \%$  до  $3 \%$ .

Динамические установки с использованием метода насыщения, в том числе генераторы газовых смесей паров этанола позволяют получать газовые смеси в диапазоне молярной (объемной) доли от  $0,002 \%$  до  $3 \%$  с границами доверительной относительной погрешности при  $P=0,95$ : от  $10 \%$  до  $5 \%$ .

Применение генераторов разбавительного типа позволяет воспроизводить требуемые концентрации газовых компонентов в широком диапазоне и за счет этого значительно сократить количество необходимых для проведения поверки и калибровки стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением, упростить и ускорить процесс проведения поверки, исключив процедуры замены стандартных образцов состава газовых смесей в баллонах под давлением при переходе с одной концентрации на другую, поскольку для этого требуется только изменение режима работы генератора.

Термодиффузионные генераторы позволяют воспроизводить газовые смеси, содержащие компоненты, которые не могут быть приготовлены в баллонах под давлением.

Динамические методы являются единственно возможными для приготовления газовых смесей в диапазоне макроконцентраций с парами жидкостей, имеющих низкое давление насыщенных паров, и парогазовых смесей компонентов.

Рассмотрим данные типы генераторов газовых смесей более подробно.

#### 1. Генераторы газовых смесей разбавительного типа

Генераторы газовых смесей разбавительного типа предназначены для приготовления бинарных газовых смесей методом динамического разбавления исходного газа газом-разбавителем. Они нашли основное применение для приготовления газовых смесей с химически активными и взрывоопасными компонентами.

Принцип работы генераторов газовых смесей разбавительного типа основан на смешении потоков исходных газов, каждый из которых измеряется и регулируется тепловыми регуляторами массового расхода газа. Гомогенизация приготавливаемой смеси происходит в смесительной камере.

Молярная доля целевого компонента на выходе генераторов разбавительного типа рассчитывается по формуле:

$$X_B = \frac{Q_{Ц}(X_B)_{Ц} + Q_P(X_B)_P}{Q_{Ц} + Q_P}, \quad (1)$$

где:  $X_B$  - молярной доли целевого компонента (компонента В) на выходе генератора, %;  $Q_P$ ,  $Q_{Ц}$  - расход газа по каналу газа-разбавителя и каналу исходного целевого газа, соответственно,  $\text{см}^3/\text{мин}$ ;  $(X_B)_{Ц}$  - содержание целевого компонента (компонента В) в исходной смеси, молярная доля, %;  $(X_B)_P$  - содержание целевого компонента (компонента В) в газе-разбавителе, молярная доля, %.

В настоящее время в РФ выпускаются следующие генераторы газовых смесей утвержденного типа: генераторы газовых смесей ГГС-Р, генераторы газовых смесей ГГС-УР, генераторы ЕТ-950, установки динамические Микрогаз-ФМ, Микрогаз-Ф, установки газосмесительные ЗК.

#### 2. Термодиффузионные генераторы

Термодиффузионные генераторы предназначены для приготовления газовых смесей с использованием источников микропотоков газов и паров (ИМ) - меры, хранящей и воспроизводящей единицу массовой концентрации компонента в газовых смесях, которая подлежит утверждению типа средств измерений и поверке. ИМ представляет собой закрытую ампулу, заполненную чистым веществом (жидкостью или сжиженным газом), при этом вся поверхность ампулы или ее часть является проницаемой для паров вещества [5]. ИМ характеризуется величиной производительности, которая показывает, с какой скоростью вещество диффундирует через стенку ампулы при рабочей температуре. Производительность ИМ зависит от типа вещества, температуры и параметров проницаемой части ампулы. Поток целевого вещества из ИМ, находящегося в термостате с контролируемой температурой, смешивается с потоком газа-разбавителя, измеряемого с помощью теплового регулятора массового расхода газа.

Массовая концентрация целевого компонента на выходе генератора определяется по формуле:

$$\rho_B = \frac{G}{Q}, \quad (2)$$

где:  $\rho_B$  - массовая концентрация целевого компонента "В" в смеси на выходе генератора (приведенная к температуре 20 °С и давлению 101,3 кПа), мг/м<sup>3</sup>;  $G_0$  - производительность ИМ при температуре  $T_0$ , мг/мин (принимается согласно паспорту на ИМ);  $Q$  – расход газа-разбавителя, дм<sup>3</sup>/мин.

Термодиффузионные генераторы позволяют готовить газы смеси с широкой номенклатурой целевых компонентов (более 100 веществ) в диапазоне малых и микроконцентраций и легко и быстро производить изменение концентрации на выходе за счет изменения расхода газа-разбавителя.

В настоящее время в РФ выпускаются следующие термодиффузионные генераторы утвержденного типа: генераторы газовых смесей ГГС-Т, генераторы газовых смесей ГГС-УТ, генераторы ЕТ-950, установки динамические Микрогаз-ФМ, Микрогаз-Ф, генераторы ГДП-102.

### 3. Генераторы комбинированного типа

Наряду с описанными выше генераторами на практике используются также комбинированные генераторы, реализующие различные сочетания методов (в основном – разбавительного и термодиффузионного).

В настоящее время в РФ выпускаются следующие комбинированные генераторы утвержденного типа: генераторы газовых смесей ГГС-К, генераторы газовых смесей ГГС-У, генераторы ЕТ-950, установки динамические Микрогаз-ФМ, Микрогаз-Ф.

### 4. Динамические установки с использованием метода насыщения:

Динамические установки с использованием метода насыщения предназначены для приготовления газовых смесей с парами жидкостей в диапазоне макро- и микроконцентраций. Принцип работы таких установок заключается в смешении двух потоков – чистого газа-разбавителя и газа разбавителя, насыщенного парами целевого вещества (жидкости) до парциального давления, соответствующего давлению насыщенных паров при рабочей температуре насытителя.

Объемная доля целевого вещества на выходе установки определяется по формуле:

$$X_B = \frac{(P_B^{н.н.}) \times Q_B \cdot (X_B)_ч}{Q_P + Q_B \cdot \left(1 + \frac{(P_B^{н.н.})}{P_P}\right)}, \quad (3)$$

где:  $Q_P$ ,  $Q_B$  – значения расходов чистого газа-разбавителя и газа-разбавителя, подаваемого в насытитель, см<sup>3</sup>/мин;  $P_P$  – абсолютное давление в газовой системе установки, кПа;  $(X_B)_ч$  – содержание определяемого компонента в целевом веществе, %;  $(P_B^{н.н.})$  - давление насыщенных паров жидкого целевого компонента при температуре насытителя, кПа.

Данный принцип приготовления реализован в генераторах влажного газа, комплексах для приготовления парогазовых смесей горючих жидкостей, генераторах газовых смесей паров этанола.

В настоящее время в РФ выпускаются следующие динамические установки с использованием метода насыщения утвержденных типов: комплекс динамический газосмесительный ДГК-В, ГГП-1, а также применяются генераторы газовых смесей паров этанола ГСВС-МЕТА-02, GUTH модель 12V500, ALCOSIM, Динго-С34 и др.

### Заключение

В настоящее время динамическими генераторами газовых смесей оснащены практически все государственные региональные центры метрологии и научные метрологические институты и более 200 организаций, выполняющих поверку и техническое обслуживание газоаналитических средств измерений, а так же промышленные предприятия газовой, химической и нефтехимической промышленности. Общее количество эксплуатируемых на территории РФ динамических генераторов газовых смесей превышает 2000 шт.

Следует отметить, что в следствии появления новых измерительных задач и средств измерений для их решения номенклатура разрабатываемых и применяемых генераторов постоянно расширяется.

### Литература

1. Колобова А.В., Конопелько Л.А., Попов О.Г. Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах ГЭТ 154-2019. Эталоны. Стандартные образцы. 2020;16(3):23-35.

2. ISO 6145-1:2019 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 1: General aspects.

3. Billy Boyle. Generating Calibration Gas Standards with OVG-4 and Permeation Tubes. Owlstone Whitepaper. Текст электронный. [https://www.gasdetection.com/wp-content/uploads/Whitepaper\\_-\\_Generating\\_Calibration\\_Gas\\_Standards\\_with\\_OVG-4\\_and\\_Permeation\\_Tubes.pdf](https://www.gasdetection.com/wp-content/uploads/Whitepaper_-_Generating_Calibration_Gas_Standards_with_OVG-4_and_Permeation_Tubes.pdf).

4. ГЭТ 154-2019 Государственный первичный эталон единиц молярной доли, массовой доли и массовой концентрации компонентов в газовых и газоконденсатных средах/ институт хранитель ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Текст электронный / Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Официальный сайт. 2024. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/1365155>.

5. Billy Boyle. The Complete Guide to Testing Chemical Sensors, Owlstone Whitepaper. Текст электронный. [https://info.owlstonemedical.com/rs/052-UKG-319/images/The-Complete-Guide-to-Testing-Chemical-Sensors.pdf?version=0&mkt\\_tok=MDUyLVVLRy0zMTkAAAGSbDdWYEnmKpF1xOiRPG1WCBzVOig1yJSFTuXO2WZjewHe6v-HywASTPpjF10KPO8-JGR7Yh\\_OJQ1r-VsxjzI0PnKqRbclQnmV8BFZl6XjcMn2rg](https://info.owlstonemedical.com/rs/052-UKG-319/images/The-Complete-Guide-to-Testing-Chemical-Sensors.pdf?version=0&mkt_tok=MDUyLVVLRy0zMTkAAAGSbDdWYEnmKpF1xOiRPG1WCBzVOig1yJSFTuXO2WZjewHe6v-HywASTPpjF10KPO8-JGR7Yh_OJQ1r-VsxjzI0PnKqRbclQnmV8BFZl6XjcMn2rg).

# ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Г.С. Лукин

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Солнечногорск, р. п. Менделеево, Российская Федерация  
ORCID 0000-0003-2912-9484, lukin@vniiftri.ru

## **Аннотация**

*Обычная водопроводная вода не подходит для ультразвуковых измерений из-за примесей, которые могут вызвать образование пузырьков воздуха, точечных отражателей и увеличить вероятность кавитации. Проводимость воды может увеличиться, а на поверхности оборудования образуются отложения. Биологическая активность в баке с неподготовленной водой вредит здоровью человека и ухудшает условия окружающей среды. Чтобы минимизировать эти эффекты, необходимо провести специальную подготовку воды.*

**Ключевые слова:** подготовка воды, ультразвуковые измерения

Для проведения гидроакустических измерений на ультразвуковых частотах необходимо использовать подготовленную воду, так как примеси могут повлиять на результат измерений и привести к повреждению оборудования. Растворённые газы вызывают кавитацию, которая создаёт ложные акустические сигналы и может повредить поверхность чувствительного элемента гидрофона. Ионы повышают электропроводность воды, что влияет на чувствительность мембранных гидрофонов. При длительном нахождении гидрофонов в «жесткой» воде на чувствительном элементе возможно отложение солей, что снижает его чувствительность. Биологические примеси и взвешенные частицы рассеивают ультразвук и могут снизить чувствительность гидрофона и повлиять на здоровье оператора [1, 2].

При измерении мощности ультразвука методом уравнивания радиационной силы важную роль играют растворенные в воде газы. Они могут вызывать образование пузырьков воздуха на поверхности излучателя или мишени, а также в толще воды, что приводит к дополнительным отражениям и искажению результатов измерений. Поскольку для измерения мощности ультразвука обычно используется небольшой объем воды (как правило, не более литра), наиболее простым способом удаления газов является кипячение воды. Кипятить воду нужно не менее 5 минут, после чего ее следует охладить в герметично закрытой таре, не содержащей воздуха. Переливать воду в измерительный бак необходимо через трубку, избегая разбрызгивания и перемешивания. Измерения рекомендуется проводить в течение ближайших двух часов после дегазации.

При измерениях, требующих использования гидрофона, предъявляются повышенные требования к качеству воды. Чувствительный элемент высокочастотного гидрофона обычно изготавливается из пьезоплёнки, механическая очистка которой может привести к её повреждению. Для предотвращения кавитации перед проведением измерений необходимо провести дегазацию воды. Объёмом резервуаров для измерений обычно составляет от 50 до 300 литров. Перед попаданием в бак из воды удаляются ионы, для этого эффективно применение установок обратного осмоса с последующим использованием ионообменного фильтра. При нахождении в баке вода проходит непрерывную очистку. Дегазация проводится с помощью мембранного фильтра, через который обеспечивается непрерывная циркуляция воды. Затем вода проходит антибактериальную обработку ультрафиолетовым (УФ) излучением и механическую очистку.

В ФГУП «ВНИИФТРИ» была разработана установка для подготовки воды для измерений с применением гидрофона. Для открытого бака ёмкостью 150 л поддерживается уровень содержания кислорода менее 3 мг/л, содержание растворённых ионов менее 5 мкС/см, обеззараживание воды обеспечивается УФ излучением, удаление механических примесей фильтром с размером ячеек 1 мкм. Фильтры скомпонованы таким образом, чтобы предотвратить повторное возникновение биологической активности.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 8.897—2015/IEC/TR 62781:2012 Методы подготовки воды для ультразвуковых измерений: национальный стандарт: дата введения 2016-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 22 с.
2. Еняков, А. М. Гидроакустические измерения на мегагерцовых частотах. Состояние, проблемы и перспективы развития / А. М. Еняков // Альманах современной метрологии. – 2019. – № 1(17). – С. 159-180. – EDN ZACVZZ.

# ПОДТВЕРЖДЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОШОКОВЫХ УСТРОЙСТВ

П.О. Маракулин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр  
стандартизации, метрологии и испытаний в Кировской области»  
(ФБУ «Кировский ЦСМ»),  
Киров, Российская Федерация,  
qs@mail.ru

## **Аннотация**

*Электрошоковые устройства – сложные технические изделия. Важно знать и контролировать их метрологические характеристики. В данной работе приводится их определение при помощи нагрузки, делителя напряжения, запоминающего осциллографа и средств обработки информации.*

**Ключевые слова:** электрошоковое устройство, шокер, высокое электрическое напряжение; электрическое напряжение, метрология, метрологическая характеристика, высоковольтный делитель, высоковольтный пробник, напряжение холостого хода, энергия высоковольтного импульса, мощность высоковольтного импульса, ГОСТ Р 50940-96, медико-биологическое испытание

Электрошоковые устройства – специальное средство защиты, применяемые для защиты от правонарушителей, а также отпугивания животных и защиты от их нападения. Электрошоковые устройства, согласно Минздравмедпрома РФ, должны быть безопасными для жизни и здоровья объекта воздействия. Их использование не должно вызвать летального исхода и необратимых патологических изменений в организме объекта воздействия. Поэтому важно знать и контролировать метрологические характеристики электрошока не только сотрудникам правоохранительных служб, но и гражданским лицам при его использовании.

ГОСТ Р 50940-96 подразделяет электрошоковые устройства по выходному напряжению холостого хода на три группы: до 35 кВ (3 группа); 35-50 кВ (2 группа) и 50-65кВ (1 группа).

Для определения напряжения импульса в качестве делителя напряжения используем киловольтметр спектральный цифровой КВЦ – 120 и пробник высоковольтный Tektronix P6015A. В качестве показывающего устройства применим осциллографом цифровым Tektronix DPO3032. Подключив последовательно устройство к делителю, а его к осциллографу измеряем напряжение холостого хода и форму сигнала.

Также ГОСТ Р 50940-96 подразделяет электрошоковые устройства по мощности воздействия на три типа: 0,3-0,6 Вт (3 группа); 0,6-1,5 Вт (2 группа); 1,5 – 3Вт (1 группа).

Для определения мощности импульса воспользуемся теми же метрологическими средствами, подключив электрошоковое устройство на группу резисторов общим сопротивлением 1 кОм. Осциллограф переводим в режим однократной записи и сохранения формы кривой. Рассчитываем мощность  $P=U^2/R$ , где  $P$  - мощность устройства,  $U$  – среднеквадратичное значение напряжения на нагрузке,  $R$ - электрическое сопротивление нагрузки. С помощью этого метода также определяется несущая частота и модуляция сигнала импульса.

По результатам проведенных исследований все сертифицированные приборы подтвердили метрологические характеристики. Стоит отметить, что наряду с ними были и недорогие аналоги, которые не выдавали мощность на нагрузке (работали только на холостом ходе) и могли быть лишь средством шумового отпугивания.

Таким образом, не прибегая к специальному медико-биологическому испытанию эффективности и безопасности электрошоковых устройств удалось определить их метрологические характеристики.

## **Литература**

1. ГОСТ Р 50940-96 «Устройства электрошоковые. Общие технические условия».
2. «Киловольтметр спектральный цифровой КВЦ – 120. Руководство по эксплуатации».
3. «Осциллограф цифровой DPO3012, DPO3014, DPO3032, DPO3034, DPO3052, DPO3054. Руководство по эксплуатации».
4. «Пробник высоковольтный P6015A. Руководство по эксплуатации».



5. Запись в ФИФ «Киловольтметры спектральные цифровые КВЦ-120»  
<https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/351361>.
6. Запись в ФИФ «Осциллографы цифровые. ДРО3012, ДРО3014, ДРО3032, ДРО3034, ДРО3052, ДРО3054» <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/1389471>.
7. Запись в ФИФ «Пробники высоковольтные. Р6015А»  
<https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/36863>.
8. <https://global.wildberries.ru/catalog?search=электрошокер>

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАЗМЕТКИ КОНТУРА РАЗМЕРНОГО ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИ СЛОЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ПРИ ПОМОЩИ СТАЦИОНАРНОЙ КИМ

Г.А. Мацур, Н. С. Теряев, А.В. Вепрук

Акционерное общество «Красноярский машиностроительный завод»

(АО «Красмаш»)

Красноярск, Российская Федерация

<https://orcid.org/0000-0002-5482-9717>, [matsur.german@yandex.ru](mailto:matsur.german@yandex.ru)

## **Аннотация**

*Привычные методы мониторинга – шаблоны, измерительные приборы и инструменты – уступают место координатно-измерительным машинам, которые способны решить множество разно профилейных задач. В статье предлагается решение по модернизации и автоматизации процесса разметки контура химического травления, являющееся продолжением процесса усовершенствования измерительных и разметочных процессов в производстве машиностроения.*

**Ключевые слова:** автоматизация, контур, разметка, размерное химическое травление, координата, производство

Большинство деталей сборочных единиц (ДСЕ) современных летательных аппаратов (ЛА) представляет собой тонкостенные конструкции с различными толщинами. Такая особенность конструкции делает невозможным обработку элементов традиционным методом механического фрезерования.

Для решения указанных проблем при изготовлении в отрасли разработан и успешно применяется метод размерного химического травления (РХТ) известный так же под названием «химическое фрезерование» [1-2].

Целью работы является разработка технологии автоматизированной разметки контура размерного химического травления деталей с геометрически сложными поверхностями при помощи стационарной координатно-измерительной машины (КИМ). Представленная тема является актуальной, так как до настоящего момента разметка корпусных деталей изделий была трудоёмкой и менее точной, ввиду того что она выполнялась вручную при помощи разметочных шаблонов и приспособлений.

Алгоритм работы автоматизированной технологии разметки контура РХТ. Для успешного проведения разметки контура РХТ был спроектирован и разработан «щуп-маркер», позволяющий наносить слой красящего вещества на размечаемую деталь. «Щуп-маркер» изготовлен из облегченного высокотехнологичного сплава в соответствии со всеми точностными характеристиками, которые предполагает собой оснастка, используемая для работы на КИМ. Технически, с точки зрения соприкосновения с поверхностью и получения измеренных значений, разработка аналогична стандартному измерительному щупу [3]. Разработанное устройство является многоразовым (бак заправляется чернилами) и полностью адаптировано к калибровке и последующей корректной работе на КИМ.

В основе предложенной технологии лежит координатно-определяющий принцип размерного контроля [4]. Это значит, что принцип работы стационарный КИМ заключается в автоматизированном последовательном нахождении координат точек, предварительно заданных специалистом или интегрированной программой [5].

До начала операции разметки контура РХТ заготовка перемещается в рабочую зону КИМ и устанавливается на измерительный комплекс, который жестко фиксирует ДСЕ и обеспечивает номинальную геометрическую форму размечаемой детали [6].

Следующим этапом является совмещение (припасовка) систем координат САД модели и размечаемой детали по базовым элементам в программном обеспечении КИМ, в ходе которого измерительная машина идентифицирует «щуп-маркер» как измерительный щуп [7-8].

Непосредственно разметка происходит триггерным методом по заранее заложенным в измерительной программе координатам в автоматическом режиме, оставляя за собой нанесенный контур последующего химического фрезерования.

## **Заключение**

В данной работе приведены экспериментальные и практические процессы. Применение стационарной КИМ совместно со спроектированным и изготовленным «щупом-маркер» позволило разработать вышеуказанную технологию, способную сократить трудозатраты на выполнение разметочных работ (примерно в 2 раза) и значительно повысить точность выполняемых операций.

## **Литература**

1. Мирзоев Р.А. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов: учебное пособие / Р.А. Мирзоев, А. Д. Давыдов. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. – 382 с.
2. Гимадеев М. Р. Обеспечение качества поверхности при механообработке сложнопрофильных деталей / М. Р. Гимадеев, В. М. Давыдов // Технология машиностроения. – 2018. - №11. – С. 9-16.
3. Пекарш А.И., Феоктистов С.И., Колыхалов Д.Г., Шпорт В.И. Координатно-измерительные машины и комплексы // CALS-технологии № 3, 2011 г. – стр. 36-48.
4. Кулева Н.И., Степанов А.С., Старостин А.В. Определение области эффективного применения координатно-измерительной машины / Сборник материалов Международной научно-практической конференции. // Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2017 г. – стр. 336-339.
5. Саркенов Б. Б, Калиева А. А. Пути повышения функциональных возможностей промышленных измерительных роботов в производстве / вестник «Автоматика. Информатика» Карагандинского технического университета №2, 2018 г. – стр. 84-88.
6. Некрасов Р.Ю., Темпель Ю.А. Концептуальная модель управления геометрической точностью деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. 2019. Т. 21, №3. С. 6-16.
7. Оголь И.И. Создание и управление управляющих программ с помощью САД – систем: издательство Томского политехнического университета №3, 2014 г.
8. Некрасов Р.Ю., Темпель Ю.А. Автоматизированная коррекция управляющих программ для станков с ЧПУ по трансформируемой САД-модели маложесткой заготовки в рамках технической подготовки производства // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2021 №1 (56). С.33-38.

# КАЛИБРОВКА ДАТЧИКОВ СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Н.В. Минчев, А.В. Минчева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,  
ORCID: 0000-0002-9825-8178, minivik@mail.ru

## Аннотация

В докладе рассмотрен вопрос выбора параметров для разработки блока калибровки датчиков стационарных газоанализаторов контроля технологических процессов. В ходе проведенного исследования были рассмотрены различные схемы калибровки и определены конструктивные решения для возможности реализации блока калибровки.

**Ключевые слова:** газовый анализ, газоанализатор, датчик, калибровка, средство измерения, техническое обслуживание

В рамках проводимого исследования была поставлена цель выбора параметров для разработки блока калибровки датчиков стационарных газоанализаторов контроля технологических процессов. Для достижения поставленной цели решались две задачи: выбор схемы калибровки и выбор конструктивных решений.

Газоанализаторы получили широкое распространение в автоматизированных и автоматических информационно-измерительных и управляющих системах топливосжигающих установок. Как и любому оборудованию, газоанализатору требуется техническое обслуживание (ТО) [1-3].

ТО позволяет поддерживать оборудование в работоспособном состоянии. Одной из важных частей ТО является подстройка, которая дает возможность сохранять технические и метрологические характеристики на требуемом уровне [1-3].

Так как газоанализаторы являются средствами измерений (СИ), то в качестве подстройки выступает калибровка датчиков, которые непосредственно взаимодействуют с измеряемой средой. Согласно рекомендации производителей в среднем время между калибровками должно быть около 3 месяцев, однако, в зависимости от агрессивности и запыленности среды, оно может быть изменено (таблица 1) [3-5].

Таблица 1 – Частота калибровок

Агрессивность среды	Запыленность среды	Частота проведения калибровок
Неагрессивная или малоагрессивная (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> и т.п. →min)	Содержание пыли 0...5 г/м <sup>3</sup>	Не менее 1 раза в 6 месяцев
Неагрессивная или малоагрессивная (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> и т.п. →min)	Содержание пыли 5...50 г/м <sup>3</sup>	Не менее 1 раза в 3 месяцев
Агрессивная или весьма агрессивная (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> и т.п. достаточно для коррозии со скоростью образования от 0,1 мм/год)	Содержание пыли 5...50 г/м <sup>3</sup>	Не менее 1 раза в 1 месяц

В результате проведенного исследования было выявлено, что все схемы калибровки условно можно разделить по двум направлениям:

– в зависимости от типа пневматического подключения к газоанализатору:

1. один к одному, т.е. комплект баллонов с разной концентрацией поверочной газовой смеси (ПГС) подключаются без дополнительного оборудования;

2. много к одному, т.е. комплект баллонов ПГС подключается через коммутирующее устройство;

– в зависимости от типа управления:

1. ручное;

2. автоматизированное;

3. автоматическое;

Исходя из вышесказанного и практического опыта, было определено, что схема калибровки должна иметь тип подключения «много к одному» и тип управления – автоматизированный или автоматический. Так как одним из основных условий для работы в автоматическом режиме является нахождение вентиля на баллоне в открытом состоянии, то вследствие негерметичности при длительной эксплуатации (более 2 недель) возникает повышенный расход газовой смеси. Также вследствие высокой стоимости некоторых компонентов автоматических схем калибровки (более 50 тыс.руб.), данные схемы калибровки далее не рассматривались. [6-8]

Так же было определено, что на конструкцию блока влияют следующие параметры:

– место хранения баллонов ПГС, в зависимости от этого блок может быть реализован:

1. раздельно от шкафа хранения;
2. совместно со шкафом хранения;

– тип ротаметра, который может быть:

1. цифровым;
2. аналоговым.

– количество ротаметров в схеме:

1. один на блок;
2. один на канал.

В результате рассмотрения параметров было определено, что:

– с точки зрения эксплуатации более удобным является блок, совмещенный со шкафом хранения;

– на основании критерия минимальной погрешности оптимальным вариантом является один цифровой ротаметр на канал.

#### **Литература**

1. Классификация газоанализаторов. URL: <https://gazoanalizators.ru/articles/klassifikatsiya-gazoanalizatorov/> (дата обращения 16.03.2024).

2. Новиков О.Н., Окатьев А.Н., Крыжова Н.С. Приборы контроля эффективности и качества промышленного сжигания топлива // Юбилейные чтения, посвященные научной школе измерительных информационных технологий. Сборник научных трудов. Политех-пресс, Санкт-Петербург, 2020, С. 117-131.

3. Новиков О.Н., Окатьев А.Н. Анализаторы дымовых газов комбинированные КАДГ. Руководство по эксплуатации. АО «НПФ «УРАН-СПб», 2011, 90 с.

4. Flue gas analyser GA-40. Madur Electronics, 60 с.

5. Портативный газоанализатор Delta 2000CD-IV. Инструкция по эксплуатации. MRU GmbH, 30 с.

6. Белан Б.Д., Аршинов М.Ю., Давыдов Д.К., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Фофонов А.В. Способ и автоматическая система калибровки газоанализаторов с применением эталонных газовых смесей // Патент на изобретение RU 2610947 C1, 17.02.2017. Заявка № 2015140775 от 24.09.2015. 12 с.

7. Белан Б.Д., Аршинов М.Ю., Давыдов Д.К., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Фофонов А.В., Складнева Т.К. Способ и автоматическая система калибровки газоанализаторов с применением источников микропотока // Патент на изобретение RU 2722475 C1, 01.06.2020. Заявка № 2019139920 от 06.12.2019. 11 с.

8. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Способ калибровки газоанализаторов // Патент на изобретение RU 2775793 C1, 11.07.2022. Заявка № 2021138596 от 24.12.2021. 10 с.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ШТРИХА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ПОВЕРКЕ И КАЛИБРОВКЕ ШТРИХОВЫХ МЕР ДЛИНЫ 1 РАЗРЯДА

В.В. Милорадов <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»), г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, стр. 2а

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет» (ФГАОУ ВО «УРФУ»), Екатеринбург, Российская Федерация  
geo@uraltest.ru

## **Аннотация**

*Разработка алгоритма и программного обеспечения для определения центра штриха, с целью применения на разрабатываемом вторичном эталоне единицы длины для поверки, калибровки и аттестации штриховых мер длины.*

**Ключевые слова:** *штриховые меры, машинное зрение, автоматизация, компаратор длины, определение центра*

В последние годы наблюдается взрывной рост спроса на видеоизмерительные системы (цифровые микроскопы, анализаторы фрагментов микроструктуры твердых тел и другие средства измерений с использованием цифровых видеокамер). Как следствие, это привело к росту спроса на услуги поверки штриховых мер длины (стеклянные шкалы и объект-микрометры), которые используются в качестве основных эталонов при поверке и калибровке видеоизмерительных систем. В настоящее время, на территории Российской Федерации, для средств измерений длины в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-9}$  до 100 м действует государственная поверочная схема (далее по тексту – ГПС), утвержденная приказом Росстандарта № 2840 от 29.12.2018. В соответствии с указанной ГПС, меры длины штриховые высших разрядов, 1-ого и 2-ого поверяются методом прямых измерений на вторичном эталоне и методом сличений на компараторе соответственно. По состоянию на текущий момент, сложилась ситуация, при которой в Российской Федерации отсутствуют вторичные эталоны, предусмотренные действующей ГПС, что в свою очередь увеличило нагрузку на Государственный первичный эталон и привело к существенному увеличению сроков оказания услуг по поверке и калибровке штриховых мер длины. Надо признать, в сложившейся ситуации метод непосредственного сличения, который используется при поверке и калибровке штриховых мер длины 2-ого разряда, имеет ряд недостатков и самый значительный из них это время оказания услуг. Нет сомнений в том, что в последующие годы старые оптико-механические приборы будут планомерно заменяться новыми водоизмерительными системами, что несомненно будет только увеличивать спрос на поверку и калибровку штриховых мер длины. Очевидно, что действующая Государственная поверочная схема требует изменений и необходимо активное внедрение автоматических цифровых методов измерений, используемых во вторичных эталонах и эталонах высших разрядов, где основным средством измерений будут служить лазерные интерферометры, а основная единица длины – метр будет передаваться через фундаментальную константу – скорость света.

Перед авторами работы стоит цель по повышению производительности и точности при проведении работ по поверке, калибровке и аттестации штриховых мер длины.

В рамках поставленной цели, авторы самостоятельно разработали проект алгоритма по определению центра штриха на мерах и занимаются его исследованием.

Разработанное программное обеспечение не является измерительным, принцип работы алгоритма заключается только в фиксировании наведения установки на центр штриха при выполнении конкретного условия.

На рисунке 1 представлен пример работы алгоритма при обработке одной строки пикселей из состава изображения штриха на мере.

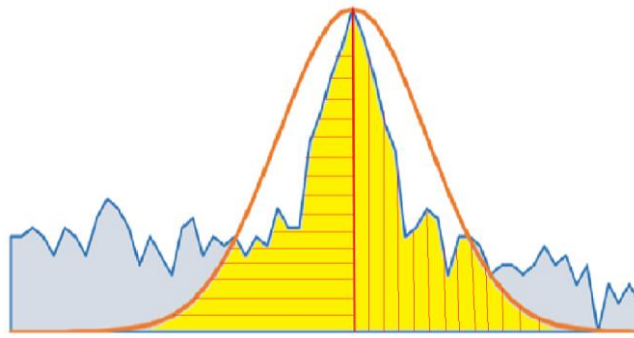


Рис. 1 – Пример обработки одной строки пикселей

На рисунке 1 синим цветом обозначен график интенсивности пикселей строки, оранжевым цветом обозначен график функции Гаусса нормального распределения.

Основной принцип алгоритма заключается в том, чтобы определить положение при котором отношение площадей фигур расположенных слева и справа от вершины функции Гаусса было равно единице. Функция Гаусса определяется формулой:

$$f(g) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где  $m$  – среднее значение случайно величины;  $\sigma$  среднее квадратическое отклонение случайной величины.

Алгоритм включает в себя несколько основных этапов:

- обработка исходного изображения маской Гаусса 5x5;
- определение максимальной интенсивности пикселя в строке;
- построение функции Гаусса по полученным данным интенсивности пикселей в строке;
- сплайновая интерполяция исходных данных интенсивности пикселей методом кубических полиномов;
- определение середины штриха изображения методом последовательного перебора при котором будет выполняться условие

$$\frac{S_1}{S_2} \approx 1, \quad (2)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площади фигур под графиком интенсивности пикселей на рисунке 1, расположенных слева и справа от вершины функции Гаусса.

Также в работе авторами представлены результаты предварительного исследования предлагаемого алгоритма, проведены экспериментальные измерения штриховой меры длины 1 разряда.

### Литература

1. В. Р. Ахметьянов, О. А. Мишина Обработка данных ветрового когерентного доплеровского лидара на основе метода Гауссовой аппроксимации // Изв. Вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, №1
2. Ана Уаман. Smoothing Images [Электронный ресурс] // URL: [https://docs.opencv.org/4.x/dc/dd3/tutorial\\_gaussian\\_median\\_blur\\_bilateral\\_filter.html](https://docs.opencv.org/4.x/dc/dd3/tutorial_gaussian_median_blur_bilateral_filter.html). 22.04.24.
3. А. А. Самарский. Введение в численные методы. М.: Наука, 1982. С.65-66.
4. Замятин В. В. Алгоритмы контроля координат источника излучения на фоточувствительной поверхности матрицы. Ползуновский вестник №3. 2008. С. 350-355.
5. Оптические цифровые измерительные системы ОППРОТЕХ // Исследование точности позиционирования на CCD-камере. [Электронный ресурс] // URL: <https://optrotech.ru/issl10.php>
6. И. О. Дроздовский. Фотометрия звезд в тесных полях // URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1169703/stphoto.html#ref>
7. О. А. Баранов, А. В. Саган, А. А. Калмыков. Повышение точности определения линии на изображении для оптического измерителя. Екатеринбург: Урфу, 2013: С. 31-34.
8. В. А. Сойфер, В. В. Сергеев, С. Б. Попов, В. В. Мясников, А. В. Чернов. Введение в цифровую обработку сигналов и изображений: Критерии качества изображений и погрешности их дискретного представления. Ред. СГАУ, 2006.
9. Б.Л. Васин, С.В. Малькова, М.В. Осипов, В.Н. Пузырёв, А.Т. Саакян, А.Н. Стародуб, С.И. Федотов, А.А. Фроня. Методика измерений спектральной чувствительности ПЗС-матрицы. Москва: Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 2007.
10. О. А. Мишина. Мат. межвуз. науч.-технич. конф. студ., аспирант. и мол. ученых. // Метод гауссовской аппроксимации доплеровского спектра лидарного сигнала. СПб: БГТУ, 2009. С. 38—39.

# ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ КАПИЛЛЯРНЫМИ ВИСКОЗИМЕТРАМИ ЛЮБОГО ТИПА

А.В. Миргородская, С.Д. Пономарев, А.А. Луценко

Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева"

(ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"),

Санкт-Петербург, Российская Федерация

<https://orcid.org/0000-0003-1468-934X>, [a.v.mirgorodskaya@vniim.ru](mailto:a.v.mirgorodskaya@vniim.ru)

## **Аннотация**

*В работе рассмотрен капиллярный метод как самый точный способ измерения кинематической вязкости жидкостей. Описаны процессы измерения времени истечения исследуемого образца между двумя метками на рабочей трубке измерительного резервуара вискозиметра, автоматизации измерения вязкости и использовании видеокамер для предварительной обработки изображений.*

**Ключевые слова:** *капиллярный метод, кинематическая вязкость, вискозиметр стеклянный капиллярный, предварительная обработка изображений, преобразование изображения, машинное зрение*

Капиллярный метод зарекомендовал себя как самый точный способ измерения кинематической вязкости жидкостей. С его помощью было получено наиболее точное значение вязкости дистиллированной воды при 20 °С и атмосферном давлении 101325 Па, равное  $1,0034 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с [1], что считается эталонным значением для капиллярных вискозиметров. Поэтому в состав первичных эталонов многих стран в качестве основных средств измерений входят вискозиметры стеклянные капиллярные эталонные с капиллярами различных диаметров [2].

Капиллярный метод основан на измерении времени истечения исследуемого образца, заключенного между двумя метками, нанесенными на поверхности рабочей трубки измерительного резервуара [3]. Но в XXI веке, несмотря на повсеместную цифровизацию и автоматизацию процессов, определение кинематической вязкости жидкости капиллярным методом выполняется человеком на всех этапах, включая установку моментов пересечения исследуемой среды и запуск или остановку таймера. И стоит напомнить, что человеческий фактор остаётся одним из источников неопределённости в измерении кинематической вязкости жидкости. К примеру, сравнительный анализ результатов измерений [4] кинематической вязкости жидкостей в лабораториях девяти различных организаций, владеющих рабочими эталонами первого разряда, показал существенные различия между результатами одной из лабораторий.

Автоматизация процесса измерения кинематической вязкости становится всё более актуальной задачей. За рубежом уже существуют автоматизированные системы измерения вязкости, такие как PVS LAUDA (регистрационный номер в госреестре 33885-07 [5]), АКВ (регистрационный номер в госреестре 37803-08 [6]) и НVM 472 (регистрационный номер в госреестре 30086-05 [7]). В России также разрабатываются лабораторные капиллярные вискозиметры с фотоэлектрической индикацией мениска [8] и автоматизированные устройства для измерения вязкости методом Пуазейля [9]. Однако эти системы требуют длительной и сложной калибровки, что не всегда удобно для исследовательских и измерительных задач. Один из возможных подходов к решению вышеописанной проблемы — установка видеосистемы с машинным зрением на внешних стенках термостата. Камера из состава системы должна оснащаться оптикой с достаточно широким углом обзора, матрицей с высоким разрешением и плотностью точек для последующей корректной реализации обработки изображений с использованием методов математической морфологии, контурного анализа и выделения особых точек для сопоставления объектов и отслеживания их движения.

Принцип машинного зрения основывается на применении алгоритмов предварительной обработки изображений, для его преобразования в функцию. Многие методы предварительной обработки изображений имеют конкретные области применения и доступную программную реализацию, сформированную многолетним опытом [10]. Математическая морфология используется для перехода от фильтрации к логике, позволяя удалять шум и изменять размеры элементов.



Контурный анализ рассматривает контуры как уникальные характеристики объектов и использует математический аппарат для идентификации объектов.

Выделение особых точек помогает сопоставлять объекты с аналогичными классами. Существуют методы для выделения точек в соседних кадрах, при изменении освещения и вращении объекта. Стабильные точки используются для отслеживания объектов и классификации типов объектов, в данном случае под объектом следует понимать мениск исследуемой жидкости. Методы SURF и SIFT обеспечивают стабильность и возможность нахождения точек при повороте изображения.

Сейчас в лаборатории продолжается работа по поиску оптимального решения поставленной задачи – частичной автоматизации процесса измерений кинематической вязкости жидкости капиллярным методом.

### Литература

1. ISO/TR 3666:1998. Viscosity of water.
2. Цурко. А. А. Государственный первичный эталон единицы вязкости жидкостей. / А. А. Демьянов, А. А. Цурко // Материалы 27 симпозиума по реологии, Реологическое общество им. Г.В. Виноградова, ФГБУН Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова. Тверь, 2014. – с. 72–73.
3. Воларович М. П. Работы Пуазейля о течении жидкости в трубах. Известия АН СССР. 1947. № 1. С. 3–21.
4. 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). С. 103–114. <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2022-3-103-114>
5. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/342616> (дата обращения: 29.04.2024).
6. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/347427> (дата обращения: 29.04.2024).
7. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/337666> (дата обращения: 29.04.2024).
8. Лабораторный капиллярный вискозиметр: [сайт]. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/SU221389A1\\_19681211](https://yandex.ru/patents/doc/SU221389A1_19681211) (дата обращения: 29.04.2024).
9. Чупаев А. В. Модернизация капиллярного метода измерения вязкости // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 1-2. С. 137–140. <https://www.elibrary.ru/lpcnхр>
10. Пару слов о распознавании образов [Электронный ресурс] – Дата обращения 27.04.2024, режим открытого доступа: <https://habr.com/ru/post/208090/>, свободный.

# АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПИВОВАРЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ЦЕЛЯХ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ

К.А. Моренова

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области»  
(ФБУ «Самарский ЦСМ»),  
Самара, Российская Федерация  
foodlab@samaragost.ru

## **Аннотация**

*Цель: выявление актуальных проблем, где присутствуют пробелы в наименованиях исследуемой продукции, при микробиологических испытаниях пивоваренной продукции в целях подтверждения соответствия продукции в аккредитованной лаборатории.*

*Ключевые слова: подтверждение соответствия, аккредитованное лицо, декларация, сертификация, технический регламент, нормативная документация*

При проведении микробиологических испытаний в целях подтверждения соответствия пивоваренной продукции требованиям безопасности действующего технического регламента (ТР ТС 021/2011) выявляются значительные пробелы в наименованиях исследуемой продукции, в частности, вызывает сложность определение норм для такой продукции как нефильтованное пиво в банках, стеклянных и полимерных бутылках.

Существует не вступивший в силу Технический регламент Евразийского экономического союза 047/2018 "О безопасности алкогольной продукции", который начнет действовать с 01.07.2024. В данном нормативном документе есть отдельная глава, в которой приведены микробиологические нормы для пивоваренной продукции. Здесь представлено более четкое и конкретное разделение типов продукции и микробиологических норм для них, однако полностью отсутствует такое понятие как фильтрованное/нефильтрованное пиво, что, по-видимому, перестает иметь значение при исследовании данных типов продукции.

В ТР ТС 021/2011 присутствует такое понятие как «Напитки брожения слабоалкогольные фильтрованные пастеризованные», под которое попадают фильтрованные пастеризованные пивные напитки. Этот вид продукции имеет иные нормы, нежели «Пиво пастеризованное и обеспеченное». В новом ТР ЕАЭС 047/2018 такого показателя нет, а пивные напитки объединены с пивом и нормируются идентично, что приводит к ужесточению у них норм в отношении параметра «дрожжи и плесени» и смягчение норм для «количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов». Наглядное представление об особенностях и различиях нормирования пивоваренной продукции по ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 047/2018 можно получить из таблицы 1.

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) свидетельствует о санитарно-гигиеническом состоянии продукта. Так как пиво – это продукт брожения, КМАФАнМ нормируется только в пастеризованных и обеспеченных напитках. Ужесточение норм по показателю «дрожжи и плесени», вероятно, связано с тем, что из пивных напитков в процессе фильтрации и пастеризации происходит удаление живых дрожжей, поэтому обнаружение их в готовом напитке говорит о недостаточном качестве фильтрации и пастеризации или о загрязнении продукта дикими штаммами дрожжей или спорами плесеней. Некоторые дикие дрожжи вытесняют культурные, и в этом случае брожение, либо дображивание, в потребительской таре идет некорректно. Особенно опасны в готовой продукции споры плесени. Многие виды грибов делают продукт несъедобным, а их споры зачастую выживают после пастеризации.

Таблица 1 – Различия между ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 047/2018 в наименовании и нормировании пивоваренной продукции

ТР ТС 021/2011	ТР ЕАЭС 047/2018	Нормы
<b>Бактерии группы кишечных палочек (БГКП)</b>		
Напитки брожения слабоалкогольные фильтрованные; Пиво <u>непастеризованное</u> , пастеризованное и обеспложненное.	Пиво, пивные напитки пастеризованные и обеспложненные Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> в бутылках, банках	не допускается в 10 г/см <sup>3</sup>
Напитки брожения слабоалкогольные нефильтрованные, фильтрованные <u>непастеризованные</u> разливные; Пиво разливное	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> разливные	не допускается в 1 г/см <sup>3</sup>
Напитки брожения слабоалкогольные нефильтрованные, фильтрованные, <u>непастеризованные</u> в кегах; Пиво <u>непастеризованное</u> в кегах	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> в кегах	не допускается в 3 г/см <sup>3</sup>
<b>Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов</b>		
Пиво пастеризованное и обеспложненное	Пиво, пивные напитки пастеризованные и обеспложненные	не более 500 КОЕ/см <sup>3</sup>
	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> в бутылках, банках	не нормируется
	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> разливные	не нормируется
	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> в кегах	не нормируется
Напитки брожения слабоалкогольные фильтрованные пастеризованные		не более 10 КОЕ/100см <sup>3</sup>
<b>Дрожжи и плесени (в сумме)</b>		
Пиво пастеризованное и обеспложненное	Пиво, пивные напитки пастеризованные и обеспложненные	не более 40 КОЕ/см <sup>3</sup>
	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> в бутылках, банках	не нормируется
	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> разливные	не нормируется
	Пиво, пивные напитки <u>непастеризованные</u> в кегах	не нормируется
Напитки брожения слабоалкогольные фильтрованные пастеризованные		не более 100 КОЕ/см <sup>3</sup>

При такой неоднозначности наименования пивоваренной продукции в ТР ТС 021/2011 оценка некоторых видов образцов в целях подтверждения соответствия затруднительна. Данная ситуация часто встречается и при выполнении иных исследований, направленных на подтверждение соответствия различных пищевых продуктов.

#### Литература

1. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Принят Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880.
2. Технический регламент Евразийского экономического союза 047/2018 «О безопасности алкогольной продукции». Принят решением Комиссии Таможенного союза от 5 декабря 2018 года N 98.
3. Федеральный закон "О техническом регулировании" от 27.12.2002 N 184-ФЗ (последняя редакция) // СПС КонсультантПлюс.

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Д.В. Москаленко, А.А. Неклюдова

Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева"  
(ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
ORCID: 0009-0003-0944-277X, dariamoskalencko@mail.ru  
ORCID: 0009-0005-0472-6962, A.A.Tsurko@vniim.ru

## Аннотация

В работе сформулированы основные потребности современного парка средств измерений высоковязких жидкостей в метрологическом обеспечении. Показаны пути организации метрологического обеспечения в виде создания и утверждения локальной поверочной схемы, разработки и производства стандартных образцов вязкости жидкости и нормативной документации.

**Ключевые слова:** вискозиметры, вязкость, метрологическое обеспечение, средства измерений, стандартные образцы, эталоны

На сегодняшний день в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений [1] содержатся сведения более чем о 90 типах средств измерений (далее – СИ) динамической вязкости жидкости. Около 34 % от общего числа типов таких СИ имеют утвержденный диапазон измерений динамической вязкости до 100 Па·с и диапазон показаний – свыше 100 Па·с (рис. 1). Однако, в настоящее время диапазон измерений свыше 100 Па·с метрологически не обеспечен.

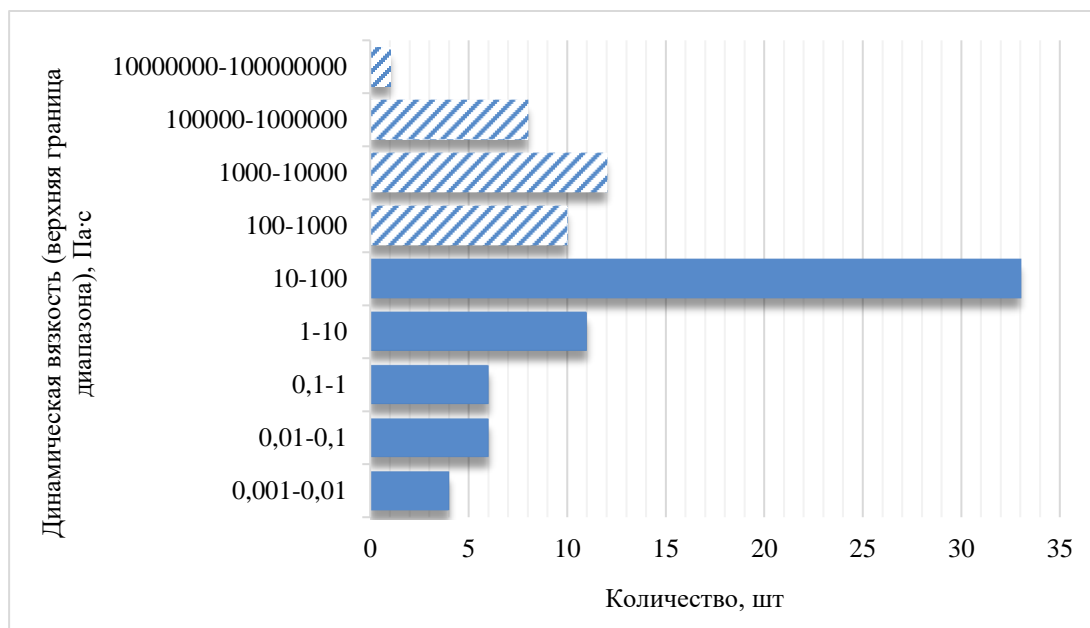


Рис. 3 Гистограмма утвержденных типов средств измерений динамической вязкости жидкости, распределенных по верхней границе диапазона показаний динамической вязкости, по сведениям, содержащимся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений

В соответствии с [2, 3] предусмотрено применение высоковязких средств измерений в различных областях промышленности, таких как нефтеперерабатывающая, фармацевтическая, химическая и др. ввиду критической важности обеспечения высокой точности измерений высоковязких образцов для развития технологических процессов и разработки новых материалов.

Для решения задачи метрологического обеспечения высоковязких средств измерений в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» ведется ряд работ, направленных на создание и утверждение

локальной поверочной схемы, разработку и производство стандартных образцов вязкости жидкости и нормативной документации.

В ранее опубликованной работе [4] представлены полученные результаты исследования реологических параметров полидиметилсилоксановых смазок, рассматриваемых в качестве перспективного материала для разработки и производства высоковязких стандартных образцов вязкости. Полидиметилсилоксаны являются простейшими представителями линейных диорганосилоксановых полимеров [5]. Данный полимер проявил себя как стабильный во времени и однородный материал, пригодный для производства стандартных образцов.

#### **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: 05.03.2024).
2. ГОСТ 33137-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения динамической вязкости ротационным вискозиметром. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 8 с.
3. ГОСТ 25276-82 Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига. — Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. — 7с.
4. Москаленко, Д.В. Исследование стабильности реологических свойств высоковязких систем под воздействием различных факторов / Москаленко, Д.В., Подшивалов А.В., Неклюдова А.А // 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. — С. 285-287.
5. Соболевский М. В., Скороходов И. И., Гриневич К. П. и др. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение. — Москва: Химия, 1985. — 264 с.

# АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ФАЛЬСИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**К.Ф. Муравьева**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Тверской области» (ФБУ «Тверской ЦСМ»),  
Тверь, Российская Федерация  
karina.zabirova2011@yandex.ru, <https://tverstandart.ru/>

## **Аннотация**

*Фальсифицированные и контрафактные средства измерений представляют опасность, так как подтверждение того, что данные измерительные приборы соответствуют утвержденной для них нормативной и технической документации, как правило, отсутствует. Помимо проверки подлинности документа, владельцам средств измерений необходимо убедиться, что результаты проверок занесены во ФГИС «АРШИН», который находится в Интернет-ресурсе [9] в соответствии с требованиями ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ [1]. Целью данного исследования является анализ актуальных проблем фальсификации средств измерений и пути их решения.*

**Ключевые слова:** измерительное оборудование, контрафакт, качество, метрология, методика, метрологическое обеспечение, средство измерений (СИ), стандартизация, свидетельство, сертификат, оборудование, прибор, фальсификация

Проблема фальсификации и контрафактных средств измерений на рынке не нова для развитых стран, международное сообщество разработало и продолжает совершенствовать механизмы противодействия их распространению.

Согласно ГОСТ Р 57881-2023 [8], фальсифицированная продукция – это продукция, имеющая скрытые свойства или умышленно измененные (поддельные) свойства, сопровождаемая заведомо неполной или недостоверной (ложной) информацией о ее составе и (или) потребительских свойствах, предоставление которой установлено законодательством РФ. ГОСТ Р 58634-2019 [6] устанавливает требования к методам приобретения материалов [2]. Для решения проблем фальсификации СИ можно применить четыре способа:

1. Внедрение эффективных методов идентификации измерительного оборудования.
2. Привлечение квалифицированного персонала к закупкам и приемке измерительного оборудования.
3. Проверка поставщиков измерительного оборудования, оценка их деловой репутации.
4. Внедрение эффективных методов приемочного контроля, тестирования.

Рассмотрим первый метод – идентификацию измерительного оборудования. Согласно ГОСТ Р 51293-2022 [7] идентификация продукции – это установление соответствия конкретного продукта образцу и (или) его описанию.

Система обозначений промышленной продукции, обеспечивающая глобальную уникальность присвоенных обозначений, определяется стандартами серии ГОСТ ISO/IEC 15459 [10].

Нормы ответственности за совершение действий с измерительными приборами определены в статье 171.1 УК РФ [5].

Частным случаем фальсификации является выпуск контрафактного измерительного оборудования. Согласно 4 части статьи 1251 ГК РФ [3], контрафактное измерительное оборудование относится к изделиям, использование, изготовление, продажа, транспортировка или хранение которых приводит к нарушению исключительного права на результат интеллектуальной деятельности или на средство индивидуализации признано в установленном порядке недобросовестной конкуренцией.

## **Литература**

1. Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об обеспечении единства измерений» (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021). Дата обращения: 18.04.2024.
2. Федеральный закон от 18.07.2011 N 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц». Дата обращения: 18.04.2024.

3. «Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая)» от 18.12.2006 N 230-ФЗ (ред. от 30.01.2024). Дата обращения: 18.04.2024.
4. «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 06.04.2024). Дата обращения: 18.04.2024.
5. «Уголовный кодекс Российской Федерации» от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 06.04.2024). Дата обращения: 18.04.2024.
6. ГОСТ Р 58634-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Аутентичные материалы. Методы приобретения (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 30.10.2019 N 1201-ст). Дата обращения: 18.04.2024.
7. ГОСТ Р 51293-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Оценка соответствия. Общие правила идентификации продукции для целей подтверждения соответствия. (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 06.05.2022 N 276-ст). Дата обращения: 18.04.2024.
8. ГОСТ Р 57881-2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Противодействие незаконному обороту промышленной продукции. Термины и определения"(утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 10.03.2023 N 121-ст). Дата обращения: 18.04.2024.
9. Электронный ресурс: ФГИС «АРИШИН». URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/>. Дата обращения: 18.04.2024.
10. Электронный ресурс: Справочно-правовая система «Консультант Плюс». URL: <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 18.04.2024.

# ПРОБЛЕМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА ПРОЦЕДУРЫ ПОВЕРКИ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ И СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

**В.П. Невзорова, С.В. Никитин**

АО «ЦС «Звёздочка»,  
Северодвинск, Российская Федерация

АО «ЦС «Звёздочка» осуществляет деятельность в области использования атомной энергии в оборонных целях, охраны окружающей среды. Измерения радиационных характеристик ионизирующих излучений, при осуществлении указанных видов деятельности, в АО «ЦС «Звёздочка» проводит отдел ядерной и радиационной безопасности, аккредитованный в соответствии с требованиями [1-5] в Национальной системе аккредитации в качестве испытательной лаборатории. В соответствии с положениями [6] измерения радиационных характеристик ионизирующих излучений относятся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, с установленными обязательными метрологическими требованиями: применяются средства измерений (далее – СИ) утвержденного типа, поверяемые в аккредитованных в соответствии с законодательством Российской Федерации организациях, в том числе в метрологической службе АО «ЦС «Звёздочка». В соответствии с [7] аккредитованная лаборатория должна осуществлять мониторинг условий окружающей среды, управление ими и регистрацию. В соответствии с [8] помещения для проведения поверки СИ должны соответствовать требованиям документов на методы и средства поверки, в том числе должны соблюдаться нормативы к таким характеристикам окружающей среды как относительная влажность воздуха и температура воздуха.

В таблице 1 приведена сравнительная информация, содержащая требования к температуре и относительной влажности окружающего воздуха (на основе данных, указанных в технической документации на СИ, в методиках измерений и в методиках поверки) для некоторых типов СИ, поверяемых специалистами метрологической службы АО «ЦС «Звёздочка» и используемых в радиометрической лаборатории отдела ядерной и радиационной безопасности.

*Таблица 1*

Наименование и обозначение типа СИ, регистрационный номер типа СИ в ФИФ ОЕИ	Условия эксплуатации СИ ([9-12]: техническая документация на СИ: паспорт, руководства по эксплуатации)		Условия проведения измерений ([13-19]: применяемые в АО «ЦС «Звёздочка» методики измерений)		Условия проведения поверки ([9-11, 20]: методики поверки)	
	Температура окружающего воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Температура окружающего воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Температура окружающего воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
Радиометр альфа-бета-излучения <b>ЛВ-770</b> , № 18294-06	0 – 50	Не указано, СИ относится к IP-20	15 – 25	-	15 – 25	<b>45 – 75</b>
Радиометр альфа- и бета-излучения <b>УДИС-03П</b> , № 8150-81	10 – 35	80 (при T=25 °С)	15 – 25	не более 80 (при T = 25 °С)	15 – 25	<b>50 – 80</b>
Спектрометр энергии гамма-излучения полупроводнико	10 – 35	до 75 (при T=30 °С)	10 – 35	30 – 90	15 – 35	не более 80



вый Гамма-1П, № 18392-08; № 18392-99						
Спектрометр гамма- излучения <b>МКС-АТ6101С</b> , № 32791-14	-20 – 50 (рабочие условия)	95 (при Т=35 °С) (рабочие условия)	-10 – 40	30 – 90	15 – 25	30 – 80
	15-25 (нормальн ые условия)	30-80 (нормальны е условия)				

По результатам предварительного анализа были выделены два типа радиометрических СИ, для которых в методиках поверки указаны высокие значения нижней границы относительной влажности воздуха: радиометр альфа-бета-излучения ЛВ-770 и радиометр альфа- и бета- излучения УДИС-03П. Данные СИ стационарные, высокоточные измерения с использованием данных СИ не проводятся. (Относительная неопределенность результатов измерений достигает 75 %).

При этом нормы влажности воздуха при проведении измерений данными СИ либо не установлены, либо не установлено значение нижней границы относительной влажности воздуха. Для данных типов СИ выборочно были проведены соответствующие экспериментальные работы по установлению метрологических характеристик данных СИ в полном объеме и в соответствии с методиками поверки, но в условиях пониженной влажности воздуха в помещениях. Полученные экспериментальные данные приведены в докладе.

В результате проведенных экспериментальных работ было установлено, что метрологические характеристики СИ соответствуют нормам, установленным при утверждении данных типов СИ. Из полученных данных можно сделать вывод, что влияние низкой относительной влажности окружающего воздуха не оказывает значительного воздействия на метрологические характеристики вышеупомянутых СИ. Следовательно, нижнюю границу нормы влажности окружающего воздуха при проведении поверки данных СИ следует пересмотреть.

В условиях Крайнего Севера в отапливаемых помещениях, если не принимать специальных мер, относительная влажность воздуха, как правило, ниже 30 %. Специальные меры по повышению влажности воздуха в помещениях радиометрической лаборатории отдела ядерной и радиационной безопасности (к примеру, указанные эксперименты проводились в помещениях 1 класса работ в соответствии с таблицей 3.8.1 ОСПОРБ-99), предполагают довольно трудоёмкие, энергозатратные мероприятия. Поэтому обоснованное смягчение нормативов влажности воздуха оказало бы положительный экономический эффект для предприятий-владельцев СИ.

### 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. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
7. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 "Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий".
8. Приказ Минэкономразвития от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».
9. Спектрометр МКС-АТ6101С. Руководство по эксплуатации.
10. Спектрометр энергии гамма-излучения полупроводниковый ГАММА-1П. Паспорт. Руководство по эксплуатации
11. ЖШ 1.287.931. Устройство детектирования УДИС-03П. Паспорт.

12. Betriebsanleitung. Operating Manual. PC-Controlled 10-channel  $\alpha$ - $\beta$  Countar LB 770Win-PC
13. Активность радионуклидов в счетных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine».
14. Методика измерений суммарной удельной (объемной) активности бета-излучающих радионуклидов в водных средах с применением газоразрядного счетчика проточного типа.
15. ЦВ 1.10.36-2009. Методика выполнения измерений суммарной объемной (удельной) активности альфа-излучающих радионуклидов в питьевой воде, воде водоисточника, природных и технических водах на альфа-бета- радиометре LB-770.
16. ЦВ 1.10.37-2009. Методика выполнения измерений суммарной объемной (удельной) активности бета-излучающих радионуклидов в питьевой воде, воде водоисточника, природных и технических водах на альфа-бета- радиометра LB-770.
17. ЦВ 5.10.03-2012. Методика измерений суммарной удельной активности альфа-излучающих радионуклидов в сыпучих материалах на альфа-бета-радиометре LB-770.
18. ЦВ 5.10.04-2012. Методика измерений суммарной удельной активности,tnf-излучающих радионуклидов в сыпучих материалах на альфа-бета-радиометре LB-770.
19. Методика измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в контейнерах с отходами с помощью гамма-спектрического комплекса с ПО «JCPM-Spectra Line и EffMaker».
20. МП 242-1148-2011 Радиометры альфа-бета-излучения с высокочувствительным 10-ти канальным счетчиком LB 770.

# АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ СТАНКОВ НА ТОЧНОСТЬ

А.И. Нигматуллина, Э.В. Сафин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ),  
Уфа, Российская Федерация,  
nigmatullina.ayguzel@mail.ru

## **Аннотация**

*Важнейшим фактором, обеспечивающим высокий уровень качества выпускаемых станков, является их точность. В данной работе рассматривается вопрос создания испытательной лаборатории в Республике Башкортостан, а также изучены основные задачи реализации метрологического обеспечения испытаний, проводимых в этих лабораториях.*

**Ключевые слова:** *станкостроение, точность, метрологическое обеспечение, методы испытаний, средства измерений, испытательная лаборатория, национальные стандарты, международные стандарты*

Станкостроение является базовой отраслью машиностроения, занимающейся производством различного вида оборудования [1]. Одной из ключевых задач станкостроения является достижение высокого уровня качества выпускаемых станков. Важнейшим параметром, характеризующим качество и техническое совершенство станков, является их точность.

Точность формы и размеров изготавливаемых на станке изделий зависит во многом от точности самого технологического оборудования. Поэтому точность станка должна соответствовать нормам стандартов [2-3], и в первую очередь требованиям, установленным ГОСТ 8-82.

При испытании станков на точность чаще всего применяются простые средства измерений, которые не требуют специальных указаний по применению, а также малопроизводительные и требующие высокой квалификации оператора высокоточные средства измерений с ручным управлением. Использование таких приборов существенно повышает трудозатраты и затраты времени на испытания, поэтому эффективным является использование современных автоматизированных и автоматических средств измерений (таких, например, как измерительная система QC20-W ballbar).

Освоение современных средств измерений, внедрение усовершенствованных методик выполнения испытаний, обновление нормативной базы являются важными факторами, необходимыми при создании современных испытательных лабораторий.

В Республике Башкортостан создание испытательной лаборатории станков планируется на базе формируемого станкостроительного кластера.

При создании лабораторий руководствуются РМГ 128-2013 [4], а организация метрологического обеспечения измерений установлена ГОСТ Р 8.820-2013 [5].

В настоящее время в рамках реализации программ национальной стандартизации техническим комитетом 070 «Станки» пересматриваются стандарты в области испытаний станков на точность, например, ГОСТ 18097-2024 «Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности» [6], ГОСТ 25889.3 «Станки металлорежущие. Методы проверки перпендикулярности двух плоских поверхностей образца-изделия» [7] и др.

На международном уровне методы испытаний станков на точность установлены стандартами ISO серии 230, определяющим общие условия и методы испытаний металлорежущих станков по основным параметрам, включающих в себя проверку геометрической точности, испытания на шум и др [8].

В международных стандартах в отличие от национальных более полно описаны нормы и правила испытаний станков, приведены новые методы испытаний с использованием современных средств измерений, также введены соответствующие подразделы, касающиеся оценки погрешности (неопределенности) измерений.

Таким образом, эффективная оценка точности станков требует использования современных методов испытаний с внедрением автоматизированных и автоматических средств измерений. В целях обновления нормативной базы ТК 070 «Станки» занимается актуализацией и разработкой стандартов в области испытаний станков на точность, основываясь на положениях стандартов ISO 230.

#### **Литература**

1. Схиртладзе А.Г., В.Ю. Новиков Технологическое оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001 – 407 с.
2. ГОСТ 8-82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность.
3. ГОСТ 7599-82. Станки металлообрабатывающие. Общие технические условия.
4. РМГ 128-2013. ГСИ. Требования к созданию лабораторий, осуществляющих испытания и измерения.
5. ГОСТ Р 8.820-2013. ГСИ. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
6. ГОСТ 18097-2024. Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности.
7. ГОСТ 25889.3. Станки металлорежущие. Методы проверки перпендикулярности двух плоских поверхностей образца-изделия.
8. ISO 230 (1-12) части. Нормы и правила испытаний станков.

# ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЧАСТИ НАЛИЧИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТРЕБУЕМОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**А.А. Никандрова**

Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные технологии» (ПАО «Интелтех»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация,  
metrolog@inteltech.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрены проблемы метрологического обеспечения аттестации климатических камер и вибростендов. Проведен анализ наличия средств измерений отечественного производства на соответствие требованиям действующей нормативной документации (далее – НД) по аттестации испытательного оборудования. Сделан вывод о необходимости разработки средств измерений, полностью отвечающих требованиям НД. Полученные результаты могут быть использованы организациями-разработчиками измерительного оборудования для выбора направления развития.*

**Ключевые слова:** аттестация испытательного оборудования, метрологические характеристики, относительная влажность воздуха, датчик влажности, виброускорение, вибропреобразователь, средства измерений отечественного производства, обеспечение условий испытаний изделий

В соответствии с реализацией Плана мероприятий по импортозамещению измерительного, в том числе метрологического, оборудования на период до 2024 года, был рассмотрен вопрос метрологического обеспечения средствами измерений (далее – СИ) отечественного производства при аттестации испытательного оборудования для проведения испытаний на стойкость к климатическим и механическим внешним воздействующим факторам, в частности, относительной влажности воздуха (далее — RH) и вибрации.

По результатам анализа специализированной НД и данных Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (далее — ФИФ ОЕИ), было определено, что:

1. По требованиям ГОСТ Р 53616 при аттестации климатических камер «неопределенность системы измерений влажности для датчиков не должна превышать  $\pm 3\%$  RH».

В соответствии с ГОСТ 30630.0.0 отклонения значений RH, воспроизводимой климатической камерой не должны превышать  $\pm 3\%$ . Чтобы обеспечить коэффициент точности не менее 3 при аттестации должны быть выбраны СИ с пределами допускаемой погрешности  $\pm 1\%$ .

В примере, приведенном в ГОСТ Р 54082, при расчете неопределенности измерений при аттестации рассматривается климатическая камера с допуском на воспроизведение  $RH \pm 5\%$ .

Организации, проводящие аттестацию климатических камер, вынужденно применяют СИ с пределами допускаемой погрешности  $\pm 1\%$  иностранного производителя, который ушел с российского рынка.

По данным ФИФ ОЕИ:

– утвержден ряд типов СИ RH отечественного производства с цифровым выходом, которые обладают требуемыми метрологическими характеристиками (далее — MX) только в ограниченном диапазоне температуры и RH;

– утвержден единственный тип СИ RH отечественного производства с компенсацией температурного дрейфа.

2. Согласно требованиям ГОСТ 25051.3 должны быть выбраны средства аттестации со следующими MX: виброметры ускорения и перемещения с пределами допускаемой основной относительной погрешности 6%. По данным ФИФ ОЕИ отмечен рост количества утвержденных типов вибропреобразователей отечественного производства (в том числе, трехосевых), но их MX

соответствуют требуемым только в ограниченном диапазоне.

Одновременно, по данным протоколов поверки, было отмечено, что фактически вибропреобразователи ряда отечественных производителей зачастую обладают лучшими МХ, чем это заявлено в их описании типа. В качестве решения можно предложить присвоение вибропреобразователям классов точности согласно ГОСТ 8.401-80 в процессе их производства, что позволит потребителю выбрать датчик нужного диапазона и нужной точности.

Вывод: в настоящий момент наблюдается тенденция роста количества отечественных первичных преобразователей, прошедших процедуру утверждения типа, и улучшение их МХ, но все еще существует дефицит СИ RH и вибропреобразователей с требуемыми НД МХ для проведения аттестации испытательного оборудования, что дает организациям-разработчикам измерительного оборудования направление развития деятельности.

#### **Литература**

1. ГОСТ Р 53616-2009 (МЭК 60068-3-6:2001) 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 влажности.

2. ГОСТ Р 54082-2010 (МЭК 60068-3-11:2007) Требования к характеристикам камер для испытаний технических изделий на стойкость к внешним воздействующим факторам. Методы обработки результатов аттестации камер.

3. ГОСТ 25051.3-83 Межгосударственный стандарт. Установки испытательные вибрационные. Методика аттестации.

4. ГОСТ 30630.0.0-99 Межгосударственный стандарт. Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования.

5. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств. Измерений. Общие требования.

6. Об утверждении плана мероприятий по импортозамещению измерительного, в том числе метрологического, оборудования на период до 2024 года: Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 1 апреля 2022 г. № 1189 // Главный форму метрологов : [сайт] — [2022] — URL: [https://info.metrologu.ru/npa/prikazy/prikazy\\_219.html](https://info.metrologu.ru/npa/prikazy/prikazy_219.html) (дата обращения: 18.04.2024).

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ

И.В. Новикова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Солнечногорск, р. п. Менделеево, Российская Федерация

## Аннотация

В работе проведено исследование зависимости значений температуры от расположения термодатчиков в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Оценено влияние полученных данных на показатель преломления лазерного луча и на результаты измерения длины.

**Ключевые слова:** погрешность измерения длины, точность измерения, температура окружающего воздуха

Средства измерений (СИ) длины до ввода и в процессе эксплуатации подлежат оценке их метрологических характеристик [1-2]. Изменения параметров среды, в которой проводятся измерения, влияют на показатель преломления воздуха и на длину пути лазерного луча СИ длины [3], что вносит погрешность в результаты измерений. Для уменьшения погрешности измерения длины учитывается влияние изменения температуры, давления и влажности (далее - метеопараметры) [4-5]. Точность определения температуры зависит от погрешности СИ температуры и расположения температурных датчиков (далее – датчики) относительно места прохождения лазерного луча СИ длины [6]. Для уменьшения погрешности измерений длины необходимо исследовать влияние расположения датчиков по вертикали и горизонтали относительно места прохождения лазерного луча СИ длины.

Для исследования выбрано 29 датчиков размещенных на шести металлических стойках (далее – стойки). На каждой стойке закреплено по пять датчиков на расстоянии 10 см друг от друга по горизонтали и вертикали (рисунок 1). Во время проведения измерений в лаборатории поддерживались следующие климатические условия: температура воздуха 23,65 – 23,83 °С, влажность воздуха 39,3 – 39,7 % и давление 743,8 – 743,9 мм рт.ст.

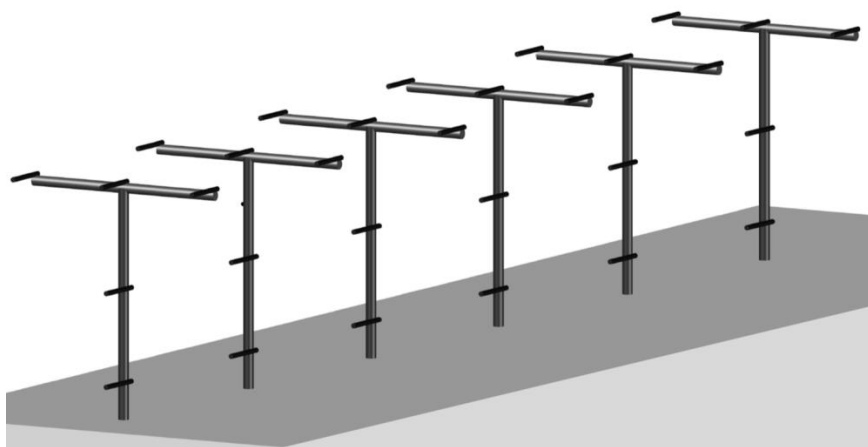


Рис. 1 – Модель расположения датчиков на стойках

В результате измерений получено наибольшее отклонение по температуре 0,14 °С между датчиками размещенными по вертикали стоек и 0,02 °С между датчиками расположенными по горизонтали стоек (рисунок 2).

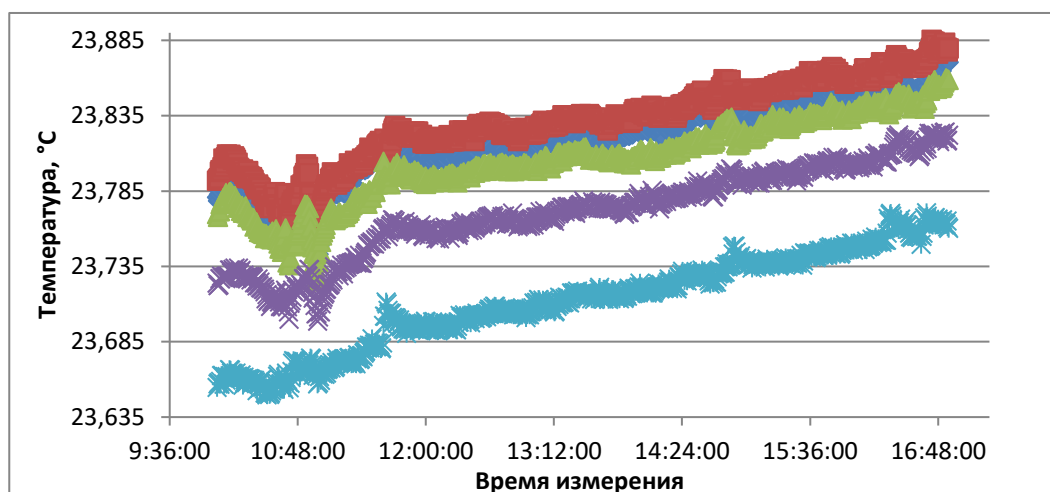


Рис. 2 – Значения температуры на всех стойках: синяя линия – левые верхние датчики; красная линия – центральные верхние датчики; зеленая линия – правые верхние датчики; фиолетовая линия – центральные средние датчики; голубая линия – центральные нижние датчики

Для оценки влияния отклонения температуры на 0,14 и 0,02 °С на погрешность измерения длины представлены значения расчетов для дистанции 2,5 м и 60 м в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета погрешности измерения длины

Отклонение температуры, °С	Погрешность измерения длины, мкм	
	на 2,5 м	на 60 м
0,02	0,04	1,1
0,14	0,3	7,7

По результатам исследования температурного поля получена максимальная разность температур при размещении датчиков в горизонтальной плоскости – 0,02 °С, и вертикальной плоскости – 0,15 °С. При расчете влияния отклонения температуры на погрешность измерения длины получена погрешность 0,04 мкм при отклонении температуры на 0,02 °С и 0,3 мкм при отклонении температуры на 0,15 °С для дистанции 2,5 м. Для 60 м при изменении температуры на 0,02 °С получено значение погрешности 1,1 мкм, при изменении температуры на 0,15 °С – 7,7 мкм. Смещение температурных датчиков по вертикали, относительно хода лазерного луча, оказывает большее влияние на погрешность измерения длины, чем при смещении датчиков в горизонтальной плоскости. Использование результатов исследования позволит уменьшить погрешность измерения длины на 7,7 мкм на дистанции 60 м при установке температурных датчиков на высоте не более 20 см от хода лазерного луча СИ длины.

#### Литература

1. Дойников А.С. Лекции по метрологии. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ». – 2021. – С. 143.
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. Лавров Е.А. Двухволновый дисперсионный метод в прецизионном транспортируемом лазерном интерферометре // Метрология в XXI веке. Материалы научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и специалистов". – 2014. – с. 64-71.
4. Большаков В.Д., Деймлих Ф., Голубев А.Н., Васильев В.П. Радиогодезические и электрооптические измерения: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. –с. 71.
5. Могильницкий Б.С. Прецизионные измерения больших длин: современное состояние и новые возможности // Мир измерений. – 2020. – № 1. – С. 20-26.
6. Doğan Can Samuk, Oğuzhan Çakır New Circuit Design and Implementation for Temperature Measurement based on PT100 Sensor // 3rd International Congress on Scientific Advances. – 2023.



# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ С ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ (ИНДИВИДУАЛЬНОЙ) СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

**И.В. Носов, В.Н. Логинов, Д.С. Резанов**

Акционерное общество  
«Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И. И. Африкантова»  
(АО «ОКБМ Африкантов»),  
Нижний Новгород, Российская Федерация  
ivnosov@okbm.nnov.ru

## **Аннотация**

*В докладе рассматриваются преобразователи термоэлектрические с действительной (индивидуальной) статической характеристикой, изготавливаемые в АО "ОКБМ Африкантов". Приведены причины появления потребности в изготовлении термопреобразователей повышенной точности утвержденного типа. Показан ход проведения испытаний в целях утверждения типа и их результат. Даны конструктивные и метрологические характеристики термопреобразователей. Показана их отличительная особенность.*

**Ключевые слова:** Преобразователь термоэлектрический, действительная статическая характеристика, термопара, утверждённый тип, индивидуальная градуировка, расширенная неопределенность

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 июля 2023 года № 1472 утверждён тип средств измерений «Преобразователи термоэлектрические ТМПК», изготавливаемых по техническим условиям КЛАБ.405221.010ТУ. Регистрационный номер в государственном реестре средств измерений – 89519-23.

Отличительной особенностью данных преобразователей термоэлектрических от прочих кабельных является возможность поставки их с действительной статической характеристикой преобразования (определённой посредством градуировки), сохраняющейся в течение 1000 часов наработки с пределом допускаемых отклонений, не превышающим  $\pm 0,25$  °С, в диапазоне от 0 °С до 650 °С (диапазон градуировки ограничен диапазоном измерений). Межповерочный интервал преобразователей с ДСХ – 1000 ч. По истечении 1000 часов наработки возможно дальнейшее использование преобразователей термоэлектрических по прямому назначению по классу допуска 2 ГОСТ 6616. Межповерочный интервал преобразователей термоэлектрических ТМПК класса допуска 2 – 2 года.

## **Литература**

1. ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия.
2. Описание типа средства измерения. Регистрационный номер № 89519-23. Преобразователи термоэлектрические ТМПК.

# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНОГО ОБРАЗЦА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИОКСИДА ТИТАНА

Н.О. Обухова, Е.П. Собина, 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  
<https://orcid.org/0009-0004-9809-4822>, [ObuhovaNO@uniim.ru](mailto:ObuhovaNO@uniim.ru)

## Аннотация

Представлены результаты работ по созданию СО сорбционных свойств диоксида титана, метрологические характеристики которого установлены с помощью эталонной установки из состава ГЭТ 210. Применение ГСО 12390-2023 при проведении испытаний в целях утверждения типа, поверках, калибровках средств измерений сорбционных свойств, используемых для контроля характеристик диоксида титана на различных этапах производства, позволит повысить качество выпускаемой продукции.

**Ключевые слова:** диоксид титана, стандартный образец, адсорбция, государственный первичный эталон, удельная поверхность, удельный объем пор, средний диаметр пор

Одной из важных задач при выпуске материалов, предназначенных для применения в процессах очистки воды или в качестве катализаторов химических реакций, из производства является контроль их сорбционных характеристик, а именно: удельной поверхности, удельного объема пор и среднего диаметра пор. Одним из таких материалов является диоксид титана, физические и химические свойства которого обуславливают его широкое применение [1, 2]. Сорбционные свойства диоксида титана определяют поглотительную способность адсорбентов, эффективность твёрдых катализаторов и свойства фильтрующих материалов [3, 4]. Поэтому создание стандартного образца близкого по составу, физическим и химическим свойствам к продукции, выпускаемой на предприятиях, позволит повысить ее качество.

Для предварительного исследования представленных материалов были выбраны следующие методы: сканирующая электронная микроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ, динамическое рассеяния света, рентгенофазовый анализ, термогравиметрический метод и дифференциально-сканирующая калориметрия, сопряженная с масс-спектрометрическим детектированием выделяющихся газов, по результатам которых был выбран материал с наименьшим содержанием примесей и размером частиц, а также режим подготовки образца к газоадсорбционному анализу [5-8].

Изотерма сорбции, полученная по результатам газоадсорбционного анализа, соответствует IV типу и характерна для мезопористых веществ (рис. 1).

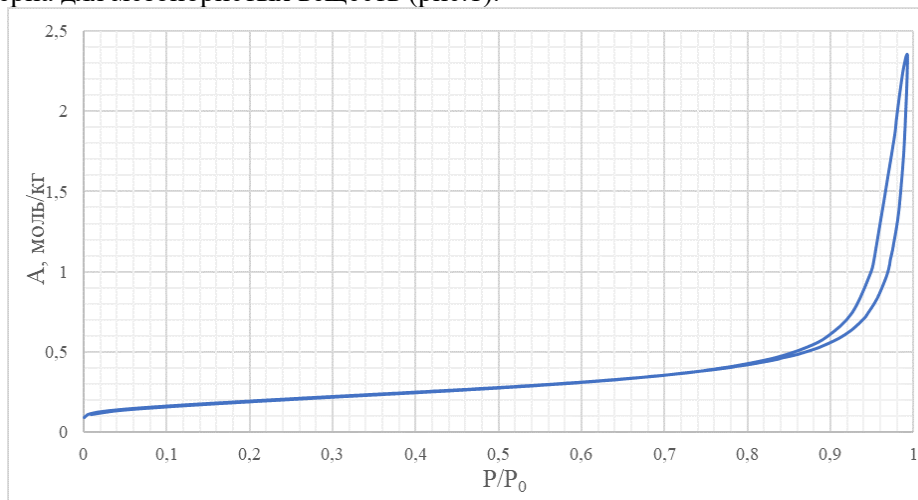


Рис. 1. Изотерма сорбции азота диоксидом титана

Аттестованное значение каждой характеристики  $\bar{A}$  рассчитывали по формуле

$$\bar{A} = \sum_{n=1}^i \frac{X_i}{n}, \quad (1)$$

где  $X_i$  –  $i$ -ый результат измерения характеристики;  $n$  – число измерений.

Расширенную неопределенность аттестованного значения оценивали как

$$U = 2\sqrt{u_A^2 + u_B^2 + u_h^2 + u_s^2}, \quad (2)$$

где  $u_A$  – стандартная неопределенность типа  $A$ , оцениваемая по экспериментальным данным согласно [9];  $u_B$  – стандартная неопределенность типа  $B$  в соответствии с паспортом на ГЭТ 210;  $u_h$  – стандартная неопределенность, обусловленная неоднородностью СО;  $u_s$  – стандартная неопределенность, обусловленная нестабильностью СО.

Установлено, что наибольший вклад в бюджет неопределенности аттестованного значения для каждой характеристики составляет стандартная неопределенность от нестабильности материала СО.

Метрологические характеристики ГСО 12390-2023 представлены на рисунке 2.

Аттестованная характеристика	Аттестованные значения СО	Расширенная неопределенность при $k=2$	Границы абсолютной погрешности при $P=0,95$
Удельная поверхность $S$ , м <sup>2</sup> /г	15,5	0,32	± 0,32
Удельный объем пор $V$ , см <sup>3</sup> /г	0,070	0,002	± 0,002
Средний диаметр пор $(4V/S)$ , нм	18,2	0,53	± 0,53

Рис. 2 – Метрологические характеристики ГСО 12390-2023

### Заключение

В результате проведенных исследований разработан стандартный образец сорбционных свойств (TiO<sub>2</sub> СО УНИИМ), на основе реальной матрицы диоксида титана. В соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений удельной адсорбции газов, удельной поверхности, удельного объема пор, открытой пористости и коэффициента газопроницаемости твердых веществ и материалов ГСО 12390-2023 соответствует рабочему эталону 1-го разряда.

По своим метрологическим характеристикам ГСО 12390-2023 не уступает зарубежным стандартным образцам SRM 1898 и NMIJ RM 5711-а, производимых в ведущих метрологических институтах NIST (США) и NMIJ (Японии).

### Литература

1. Аляхнович Н.С., Новиков Д.К. Распространенность, применение и патологические эффекты диоксида титана // Вестник ВГМУ. 2016. Т. 15. № 2. С. 7–14. <https://elibrary.ru/vurgih>.
2. Shapovalova M. V., Khalyavka T. A., Khyzhun O. Y. et. al. The influence of titanium dioxide modification by sulfur and carbon on physico-chemical and photocatalytic properties // Хімія, фізика та технологія поверхні. – 2019. – V. 10, № 4. – P. 377–388.
3. Грег, С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость: монография / Под ред. А.П. Карнаухова. М.: Мир, 1984. 310 с. <https://elibrary.ru/ztyaxd>.
4. Смирнова В. В. Разработка технологии получения функциональных сорбентов на основе TiO<sub>2</sub>: дис... канд. тех. наук. – Томск, 2014. – 195 с.
5. Lavados A.K., Katsoulidis A.P., Iosifidis A., Triantafyllidis K.S., Pinnavaia T.J., Pomonis P.J. The BET equation, the inflection points of N<sub>2</sub> adsorption isotherms and the estimation of specific surface area of porous solids // Microporous and Mesoporous Materials. 2012, vol. 151, pp. 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.11.005>
6. Lapham D.P., Lapham J.L. BET surface area measurement of commercial magnesium stearate by krypton. adsorption in preference to nitrogen adsorption // International journal of Pharmaceutics, 2019, vol. 568, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118522>.
7. ISO 15901-2:2006 Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption – Part 2: Analysis of mesopores and macropores by gas adsorption. – Geneva : ISO Copyright office, 2006. – 38 p.
8. ISO 9277:2010 Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption – BET method. – Geneva : ISO Copyright office, 2010. – 24 p.
9. ГОСТ 34100.3–2017 /ISO/IEC Guide 98–3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ, 2018. 112 с.

# РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИНДИКАЦИИ ТЕКУЩЕГО ВРЕМЕНИ

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»),  
Тюмень, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-8471-577X, pazdnikovov@csm72.ru

## Аннотация

Рассмотрена необходимость устройства индикации текущего времени для выполнения работ по поверке средств измерений. Описан принцип действия разрабатываемого прибора. Произведено исследование метрологических характеристик полученного опытного образца.

**Ключевые слова:** индикация текущего времени, устройство синхронизации времени, приемник ГНСС, NTP сервер, разработка средств измерений

В настоящее время, достаточно широкое распространение получили устройства синхронизации времени [1]. Часть устройств синхронизации времени имеет выход импульсного сигнала шкалы времени pulse per second (PPS), благодаря которому, в том числе осуществляется поверка данных устройств [2].

Однако, некоторые устройства синхронизации времени не имеют такого выхода. Примером могут служить комплексы фотофиксации нарушений ПДД, где каждому снимку, с зафиксированным нарушением, комплекс присваивает точное время [3]. Для выполнения поверки данных систем требуются устройства синхронизации текущего времени с визуальным отображением текущего времени на табло. Причем, ввиду наличия комплексов фотофиксации с погрешностью синхронизации шкалы  $\pm 1$  мс [4], эталонное устройство визуализации должно иметь дискретность отсчета не менее 100 мкс, и погрешностью синхронизации времени, не более  $\pm 100$  мкс. Данный факт, значительно сокращает перечень эталонов доступных для применения. Применение устройств синхронизации времени с отображением информации на дисплее персонального компьютера или применение NTP сервера, так же невозможен ввиду большой задержки в отображении информации о текущем времени [5].

Ввиду вышеописанных обстоятельств, было принято решение самостоятельно разработать устройство индикации текущего времени, с требуемой дискретностью и точностью.

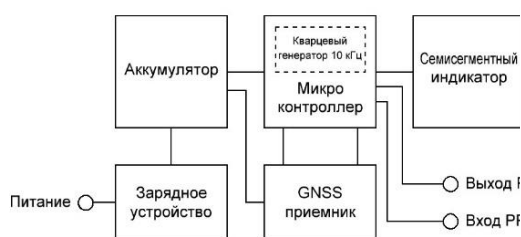


Рис. 1. Блок-схема устройства индикации времени

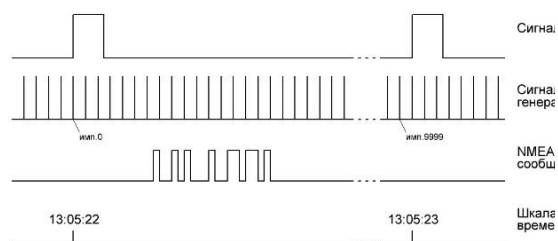


Рис. 2. Временная диаграмма

В ходе работы было разработано устройство (рис. 1), основой которого является 8-разрядный микроконтроллер (МК) [6]. Источником сигнала текущего времени является приемник глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Приемник выдает один раз в секунду пакет данных (NMEA протокол), в том числе содержащий информацию о текущем времени, так же приемник формирует импульсный сигнал PPS [7]. Аппаратный таймер МК, на основе кварцевого генератора (КГ), формирует сигнал с периодом 100 мкс, используемый для обновления информации на дисплее. Каждый нулевой импульс, сформированный таймером, синхронизирован с сигналом PPS от

навигационного приемника (рис. 2). На каждый импульс таймера, МК формирует на семисегментном светодиодном индикаторе новое показание текущего времени [8].

В ходе исследования была обнаружена задержка между сигналом PPS навигационного приемника и обновлением информации на дисплее устройства. Данная задержка связана с необходимостью МК обработать информацию, полученную от навигационного приемника, сформировать цифровой код управления индикатором, и физически переключить все порты вывода. Оптимизацией программного кода удалось минимизировать данную задержку до величины, приблизительно 30 мкс, что соответствует необходимым требованиям.

В результате работы получено устройство, удовлетворяющее поставленной задаче. В настоящее время принимается решение о целесообразности испытаний в целях утверждения типа данного средства измерений.

#### **Литература**

1. Сергеев А.Г., Терегеря В.В. Метрология стандартизация и сертификация. Учебник. М.: Юрайт, 2014. 838 с.
2. Источники первичные точного времени «УКУС-ПИ 02ДМ». Описание типа средства измерений № 60738-15.
3. Измерители текущих значений времени и локальных координат с видеофиксацией «КОРДОН-В». Описание типа средства измерений № 80531-20.
4. Комплексы аппаратно-программные «Вокорд Трафик М». Описание типа средства измерений № 81370-21.
5. Родерик В. Сетевые средства Linux. М.: Вильямс, 2003. - 672 с.
6. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. Справочное издание. М.: Додэка-XXI, 2007. – 592 с.
7. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. Справочное издание. М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 272 с.
8. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. М.: Вильямс, 2004. - 992 с.

# ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕВОГО РЕЙТИНГА ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ<sup>1</sup>

О.И. Перекрест

Институт проблем региональной экономики РАН,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
perekrest.oleg@mail.ru

## **Аннотация**

*Для общей технологии экономико-математического моделирования Арктической зоны РФ как пространственной экономической системы рассматривается ключевой прикладной аспект в форме двумерного сетевого рейтинга – разработанного для двух сформированных систем индикаторов «масштабности» и «структурной значимости». Разработанный подход нелинейной типологизации временных состояний исследуемых региональных объектов представлен в формате системы картирования для сформированных локальных (сетевых) типологических пространств.*

**Ключевые слова:** *экономико-математическое моделирование, пространственная экономическая система, нелинейный типологический анализ, Арктическая зона РФ, линейный рейтинг, сетевой рейтинг, сетевое картирование*

Исследование Арктической зоны России проводилось в рамках общей концепции экономико-математического моделирования регионов РФ как пространственной экономической системы [1–3]. Ключевой прикладной особенностью проведенного анализа было систематическое использование двух систем первичных индикаторов «масштабности» и «структурной значимости». С учетом выбора целевого объекта исследования основная его цель – создание математико-статистического инструментария для анализа процессов социально-экономического развития регионов Арктической зоны РФ (АЗРФ).

Задачи исследования:

- создание базы исследования по источникам первичных данных;
- тематическая группировка статистических показателей первичной базы данных;
- отбор показателей, которые отражают общий контекст рассматриваемой АЗРФ;
- построение системы двух групп индикаторов – масштабных (отражающих значимость субъектов Российской Федерации с общесистемных позиций) и удельных (значимость субъектов с региональных позиций);
- тематическая кластеризация и построение системы локально-линейных моделей для ее классов;
- построение сетевой системы линейных рейтингов с представлением траекторий движения для отдельных объектов статистического наблюдения (ОСН).

В докладе представлена разработанная система двухуровневого картирования результатов сетевого рейтинга для сквозного модельного примера (АЗРФ).

Существенными метрологическими элементами формирования информационной базы проведенного анализа являются:

- использование в качестве первичной информационной базы исследования данных официальной статистической информации для объектов административно-контекстного расширения АЗРФ – районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей [5-6];
- проведение комплексной верификации первичной базы данных и разработка ее модификации, позволяющей увеличить значение введенного показателя панельной валидности, что позволило применить для анализа данных исследования «продвинутые» методы прикладной статистики – анализа данных [7-10; 2];

---

<sup>1</sup> <sup>1</sup>В публикации представлены результаты, полученные в рамках темы НИР «Информационно-аналитические технологии экономико-математического моделирования пространственных экономических систем в парадигме цифровизации экономики и государственного управления» (FMGS-2022-0005), № 122020500026–2 Государственного задания ИПРЭ РАН

- рассмотрение в рамках индикативного подхода двух системы индикаторов: масштабности и структурной значимости [1-2].

В результате выделены следующие возможности применения сетевого рейтинга как математико-статистического инструмента: количественная оценка изменения состояния при перемещении в рамках одного типа и индикация качественного изменения состояния региона при переходе из одного типа в другой; оценка «межтипового» перемещения и определение положения региона в новом локальном рейтинге.

Представлены результаты разработанной в рамках классического метода главных компонент классификационно-типологической модели для АЗРФ и приведены результаты, подтверждающие ее существенную нелинейность локально-линейного характера.

Приведены результаты решения задачи по разработке двумерного сетевого рейтинга для построенной классификационно-типологической модели АЗРФ с использованием локально-линейной системы интегральных индикаторов масштабности и структурной значимости.

### Литература

1. Экономико-математическое моделирование сферы занятости и единого рынка труда как пространственной экономической системы / В. А. Курзенев, В. Т. Перекрест, И. В. Перекрест [и др.] // Междисциплинарное исследование процессов трансформации социально-экономического пространства и территориального развития регионов России / под науч. ред. акад. РАН В. В. Окрепилова, проф. С. В. Кузнецова. СПб.: ГУАП, 2021. С. 389–465.

2. Экономико-математическое моделирование пространственных экономических систем в парадигме цифровизации экономики и государственного управления / Д. Е. Воронина, В. А. Курзенев, В. Т. Перекрест, И. В. Перекрест // Социально-экономическое развитие регионов / под ред. акад. РАН В. В. Окрепилова; Ин-т проблем регион. экономики РАН. М.: Наука, 2024. С. 362–456.

3. Курзенев В. А., Перекрест В. Т. Контекстный нелинейный типологический анализ как инструмент формирования и реализации региональной экономической политики // Управленческое консультирование. 2024. № 1. –С. 96–108.

4. Перекрест О.И. Технологии сетевого рейтинга для экономико-математических моделей Арктической зоны РФ // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2024. № 2(77).

5. Экономические и социальные показатели районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в 2000–2020 годах. М.: 2021. 193 с.

6 Экономические и социальные показатели районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в 2000–2021 годах. М.: 2022. 196 с.

7. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин; под ред. С. А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика. 1989. 608 с.

8. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 1998. 1022 с.

9. Зиновьев А. Ю. Визуализация многомерных данных // Нелинейный метод главных компонент. URL: <http://pca.narod.ru/ZINANN.htm> (дата обращения: ноябрь 202).

10. Principal Manifolds for Data Visualization and Dimension Reduction / A. N. Gorban, B. Kegl, D. Wunsch, A. Y. Zinovyev (eds.). Berlin; Heidelberg; N. Y., 2008. 340 p. (Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering, Vol. 58).

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ

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  
<https://orcid.org/0000-0003-2016-9607>, [a.a.pimenova@vniim.ru](mailto:a.a.pimenova@vniim.ru)

## **Аннотация**

*Разработка методики определения интервалов между поверками (далее – МПИ) с учетом различных организационных и экономических факторов, с проведением исследований метрологических характеристик средств измерений (далее – СИ), проводилась в рамках НИР «Надежность», в результате которого разработана методика по определению продолжительности МПИ СИ.*

*Методика может применяться в рамках испытаний СИ серийного и единичного производства в части определения МПИ:*

- *подвергаемых испытаниям в целях утверждения типа;*
- *утвержденных типов (в период действия утверждения их типа);*
- *срок действия утвержденного типа которых завершен;*
- *предварительных испытаний.*

*Разработаны общие требования к содержанию методик определения МПИ СИ, алгоритм и процедуры определения продолжительности МПИ, а также критерии их оценивания, требования по оформлению результатов исследований. Проведена апробация предложенных методик определения МПИ СИ.*

**Ключевые слова:** *средство измерений, интервал между поверками, исследования, метрологические характеристики*

При определении, установлении и изменении МПИ СИ требуется учет и соблюдение баланса интересов государства, производителей СИ, хозяйствующих субъектов, потребителей СИ и результатов их измерений в части повышения показателей экономической эффективности и снижения рисков получения недостоверных результатов измерений. Создания равных конкурентных условий для производителей и потребителей СИ, с учетом затрат на метрологическое обеспечение СИ, обусловленных продолжительностью МПИ СИ.

Целью работы была разработка методики определения продолжительности МПИ с учетом различных организационных и экономических факторов, разработка алгоритма определения МПИ и общих подходов к исследованиям нормированных метрологических характеристик (НМХ) СИ в целях осуществления единого организационно-методического подхода к определению МПИ СИ, к подготовке, оформлению и рассмотрению результатов определения продолжительности МПИ СИ.

Совокупность процедур с проведением исследований НМХ СИ, в соответствии с положениями, установленными в нормативных правовых актах в области обеспечения единства измерений Российской Федерации, в части касающейся порядка определения, установления и изменения МПИ СИ, обеспечит получение обоснованных результатов определения МПИ СИ.

МПИ СИ является показателем стабильности нормируемых метрологических характеристик (НМХ) СИ в процессе его применения в заданных условиях измерений. При определении МПИ СИ производится оценивание значения МПИ СИ в виде прогнозируемого значения изменений НМХ СИ во времени, зависящего от большого числа факторов различной природы. Оценка погрешности такого прогнозируемого значения требует значительных (иногда экономически нецелесообразных) временных и материальных затрат на проведение соответствующих исследований.

Результат определения продолжительности МПИ СИ – значение рекомендуемого МПИ СИ. Обоснование такого значения требует, помимо использования результатов определения МПИ СИ, дополнительного учета различных организационных и экономических факторов, связанных с выполнением работ по поверке СИ.



Поэтому для осуществления единого подхода к подготовке, оформлению и рассмотрению результатов определения МПИ СИ был установлен ряд случаев назначения МПИ, учитывающих необходимость назначения выборочной поверки, проверку соответствия МПИ СИ рекомендованному предельному значению, утвержденному Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502, а также случаи если метрологическое обеспечение СИ в виде периодической поверки затруднено, так называемые неизвлекаемые СИ.

Для систематизации подходов был разработан необходимый и достаточный набор процедур определения МПИ:

- анализ конструкции СИ;
- анализ информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ;
- определение номенклатуры декларируемых показателей надежности СИ;
- анализ производства;
- анализ гарантийных обязательств предприятия-изготовителя;
- анализ условий эксплуатации СИ;
- анализ области применения СИ;
- анализ сведений о результатах поверок;
- проведение теоретических и экспериментальных исследований поведения нормируемых метрологических характеристик СИ.

Затем для каждого случая была разработана своя номенклатура процедур определения МПИ. Для этого были проанализированы наиболее влияющие факторы на МПИ СИ и разработаны критерии их оценки. Это позволило ввести систему коэффициентов и разработать формулу определения продолжительности МПИ с их учетом.

Для этого были проанализированы требования к производству (производственным процессам). Для подтверждения наличия у изготовителя необходимых условий для обеспечения постоянного (непрерывного) производства серийно выпускаемой продукции, разработан анализ производства, в соответствии с программой анализа производства или анализ сертифицированной системы менеджмента качества предприятия, а также критерии оценивания уровня производства.

Кроме того, впервые выделена необходимость оценки гарантийных обязательств предприятия-изготовителя, так как производитель готов брать на себя долгосрочные гарантийные обязательства, превышающие МПИ только в случае, если готов гарантировать надежность СИ. Для учета соотношения срока гарантии и МПИ введен корректирующий коэффициент гарантийного срока, рассчитываемый по формуле.

Отмечена значимость сведений о результатах поверок СИ. Если тип СИ был утвержден ранее, анализ результатов поверок позволяет оценить статистику отказов, так как если анализ показывает большой процент отказов, МПИ данного типа СИ не подлежит увеличению, а возможно даже уменьшению.

Для учета особенностей места эксплуатации СИ была обособлена группа СИ, метрологическое обеспечение которых затруднено. Предложены варианты их метрологического обеспечения. Для СИ применяющиеся в нефтедобывающих скважинах, может нормироваться прогрессирующая погрешность. В этом случае проводятся исследования для подтверждения заявленной прогрессирующей погрешности, что позволяет обеспечить метрологическую достоверность измерений на протяжении всего срока службы СИ.

В части проведения теоретических и экспериментальных исследований поведения НМХ СИ работа велась в направлении определения показателей наиболее критичных для метрологической надежности СИ, а именно тех, по которым может приниматься решение о непригодности СИ, а также установления критериев прекращения исследований.

По итогам работы разработаны и опробованы алгоритмы и общие подходы по определению продолжительности МПИ, методы исследований НМХ СИ.

По результатам работ была разработана, утверждена МИ 3676-2023 «ГСИ. Рекомендации по определению интервалов между поверками средств измерений. Основные положения», согласованная Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), исх. № ЕЛ-15647/05 от 28.11.2023.

После утверждения МИ 3676-2023 и по результатам НИР «Надежность» разработаны, утверждены и согласованы Росстандартом, исх. № ЕЛ-17632/05 от 27.12.2023, типовые методики определения МПИ для различных групп СИ, таких как: датчики давления; датчики скорости воздушного потока (ветра) механические; термогигрометры; термопреобразователи сопротивления с унифицированным выходным сигналом и др.

В соответствии с разработанным алгоритмом проведено опробование типовой методики определения продолжительности МПИ датчиков давления с применением высокоточных эталонов единиц величин (первичных и вторичных эталонов). Результаты опробования доказали применимость разработанных подходов для определения продолжительности МПИ СИ.

#### **Литература**

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
3. Приказ Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 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. Приказ Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 2907 «Об утверждении порядка установления и изменения интервалов между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методиками поверки средств измерений».
5. Приказ Росстандарта от 02 июля 2019 г. № 1502 (с изменением от 24.10.2022) «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками средств измерений».
6. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
7. МИ 3650-2022 (с изм. №1) 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.
8. ГОСТ Р 54293-2020 Анализ состояния производства при подтверждении соответствия.

# ПОВЕРКА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И РАДАРНЫХ УРОВНЕМЕРОВ. МОДЕЛЬ СТЕНДА: СОСТАВ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

**И.С. Позмогов**

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"),  
Стерлитамак, Российская Федерация  
pozmogov\_igor@mail.ru

## **Аннотация**

*В результате проделанной работы был собран стенд для поверки ультразвуковых и радарных уровнемеров с визуализацией измеренного значения на цифровом индикаторе*

**Ключевые слова:** *ультразвуковые и радарные уровнемеры, поверка, стенд с щитом отражателем*

Развитие предприятий и запуск новых производственных мощностей приводит к росту количества поверяемых средств измерения. В частности, это так же относится к ультразвуковым и радарным уровнемерам.

После анализа используемых на предприятиях уровнемеров, был сделан вывод, что очень много методик поверки, помимо использования уровнемерной установки, позволяют использовать металлический диск, экран или ровную поверхность стены. Исходя из вышесказанного, было принято решение собрать стенд для поверки ультразвуковых и радарных уровнемеров.

В большинстве случаев, уровнемеры имеют абсолютную погрешность от 2 мм и более, а значит мы можем определить требования, предъявляемые к разрабатываемому стенду. Согласно приказу № 3459 от 30 декабря 2019 года «Государственная поверочная схема для средств измерений уровня жидкости и сыпучих материалов», при передаче единицы уровня средствам измерений погрешность рабочих эталонов, от которых осуществляется передача единицы, должна быть как минимум в три раза меньше, чем погрешность средств измерений, а значит стенд должен соответствовать указанным характеристикам.

Необходимость такого стенда продиктована увеличивающимся объемом проводимых работ по поверке и калибровке уровнемеров и тем, что для качественного и своевременного выполнения своей работы, поверителю необходимы дополнительные инструменты и способы для ускорения проведения работ.

## **Литература**

1. Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об обеспечении единства измерений" (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021).
2. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 N 2510 "Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке".
3. Государственная поверочная схема для средств измерений уровня жидкости и сыпучих материалов (ПРИКАЗ №3459 ОТ 30.12.2019).

## ПЕРСПЕКТИВА РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТА НА СХЕМЫ СЕРТИФИКАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.Н. Пономарева, М.М. Шайхулова

«Научно-учебный центр «Контроль и диагностика»  
(«НУЦ «Контроль и диагностика»),  
Москва, Российская Федерация  
margarita.shaikhulowa@yandex.ru

### **Аннотация**

*Определена перспектива разработки стандарта, включающего требования к схеме оценки и сертификации сварочного производства. В нормативно-технической базе РФ отсутствует единый стандарт, который позволил бы унифицировать порядок и схему проведения сертификации сварочных процессов. Выявлена необходимость разработки и внедрения стандарта на схемы сертификации сварочного производства, что обеспечит достоверную оценку соответствия сварочного производства и безопасность выпуска продукции. Применение разработанного стандарта будет содействовать социально-экономическому развитию Евразийского экономического союза, повышению качества оказания услуг.*

**Ключевые слова:** *система качества, сертификация процессов и услуг, оценка соответствия, схема сертификации, разработка стандарта, сварочное производство, сварочные процессы*

Целью данного исследования является определение перспективы разработки стандарта, включающего требования к схеме оценки и сертификации сварочного производства. Данный стандарт позволит обеспечить единство технической политики в области стандартизации и оценки соответствия, повысить конкурентоспособность предприятий и оборудования, обеспечить безопасность работ и услуг.

Первостепенными задачами данной работы являются: изучение состояния оценки качества сварочного производства, а также изучение и сопоставление международной, межгосударственной и национальной нормативной документации в части требований к системам качества при выполнении сварки.

Относящиеся к сварке плавлением технологические процессы широко применяются при производстве многочисленных изделий. Такие процессы оказывают существенное влияние на издержки производства и качество изделия, поэтому очень важно обеспечивать условия, при которых применение этих сварочных технологий было бы наиболее эффективным. Чтобы в производстве и последующей эксплуатации изделия не возникало серьезных проблем, необходимо обеспечивать управление производством от стадии проектирования, выбора материалов до изготовления и последующего контроля.

Производители различных отраслей промышленности полагаются, в частности, на требования ISO 3834:2021 с целью обеспечения и демонстрации лучших методов сварки и для управления рисками.

Сертификация сварочного производства проводится путем оценки соответствия сварочного производства требованиям к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Разработанная схема сертификации поможет в определении критериев выбора соответствующего уровня требований к качеству выполнения сварки, требований к отдельным составляющим сварочного производства, области сертификации в соответствии с требованиями соответствующей части ISO 3834 и ISO 9001:2015.

Оценка соответствия сварочного производства требованиям к качеству выполнения сварки плавлением должна осуществляться Органом по сертификации (ОС), который, в свою очередь, должен соответствовать требованиям стандарта ISO/IEC 17065:2012 или ISO/IEC 17021-1:2015.

Вопрос состояния оценки качества сварочного производства с различным технологическим циклом подробно изучен авторами в исследовании, опубликованном в сборнике Конференции «Роль технического регулирования и стандартизации в условиях цифровой экономики». Было выявлено, что данный вопрос недостаточно раскрыт в области стандартизации.

В нормативно-технической базе РФ отсутствует единый стандарт, который позволил бы унифицировать порядок и схему проведения сертификации сварочного производства.

Статистика анализа сварочного производства показывает, что для сварочного производства, как для специального процесса, требуется применение дополнительных требований к качеству.

Разработка схемы сертификации позволит унифицировать основные требования, предъявляемые к сертификации сварочных процедур, условия проведения испытаний и область сертификации сварочных процедур с соблюдением требований к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов.

По итогам данного исследования выявлена необходимость разработки и внедрения схемы сертификации сварочного производства, что обеспечит достоверную оценку соответствия сварочного производства и безопасность выпуска продукции, в изготовлении которой используется сварка.

Применение разработанного стандарта будет содействовать социально-экономическому развитию Евразийского экономического союза, повышению качества оказания услуг.

#### **Литература**

1. ISO 3834 Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов (ГОСТ Р ИСО 3834, ИДТ).
2. ISO 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования (ГОСТ Р ИСО 9001–2015, ИДТ).
3. ISO 9000:2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (ГОСТ Р ИСО 9000–2015, ИДТ).
4. ISO/IEC 17065:2012 Оценка соответствия. Требования к органам по сертификации продукции, процессов и услуг (ГОСТ Р ИСО/МЭК 17065–2012, ИДТ).
5. ISO/IEC 17021-1:2015 Оценка соответствия. Требования к органам, проводящим аудит и сертификацию систем менеджмента. Часть 1. Требования (ГОСТ Р ИСО/МЭК 17021-1–2017, ИДТ).
6. ГОСТ Р 54293–2020 «Анализ состояния производства при подтверждении соответствия».
7. ГОСТ Р 53603–2020 Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации.
8. Шайхулова М.М., Пономарева И.Н. Состояние оценки качества сварочного производства в различных отраслях промышленности // Роль технического регулирования и стандартизации в условиях цифровой экономики. – 2023. –С. 245-249.

# МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ РАДИОИЗОТОПНОГО И РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ РАДИОНУКЛИДА КРИПТОН-85

Н.В. Посохова, А.Ю. Ворошилов, Е.Л. Мурашова, Д.В. Афанасенко, С.И. Ромадова

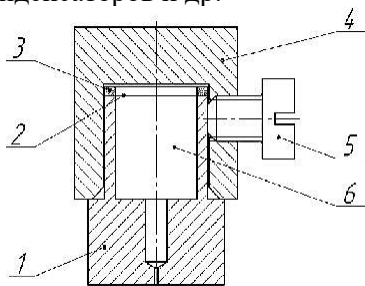
Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Производственное объединение «Маяк»,  
Озерск, Российская Федерация,  
cpl@po-mayak.ru

## Аннотация

В работе представлены результаты исследования метрологических характеристик (МХ) методик измерений (МИ) активности закрытых источников в капсулах М85К01, М85К02, М85К03 на основе радионуклида криптон-85 по алгоритмам нормативных документов в области использования атомной энергии [1], [2]. Доверительные границы относительной суммарной погрешности измерений активности составили не более  $\pm 10\%$ , что обеспечивает соответствие погрешности измерений нормам точности, установленным в технической документации предприятия [3], [4].

**Ключевые слова:** контроль качества выпускаемой продукции, криптон-85, аттестованные объекты

ФГУП «ПО «Маяк» производит закрытые источники (далее ЗИ) с радионуклидом криптон-85 в капсулах М85К01, М85К02, М85К03 (рис.1) [5], [6], позволяющих применять их для непрерывного контроля качества продукции в целлюлозно-бумажной промышленности, контроля толщины лакокрасочных покрытий, качества конденсаторов и др.



1 – корпус; 2 – рабочее окно (фольга); 3 – кольцо; 4 – колпачок; 5 – винт  
6 – активная часть

Рис. 1. Источники в капсулах М85К01, М85К02, М85К03

Одной из значимых составляющих обеспечения качества продукции (ЗИ) является метрологическое обеспечение оценки ее соответствия, как в процессе производства, так и при передаче потенциальному заказчику.

Для реализации задачи метрологического обеспечения выпускаемой продукции на ФГУП «ПО «Маяк» были изготовлены аттестованные объекты (АО) [7], выполняющие функции стандартных образцов, а также разработаны и аттестованы МИ активности радионуклида криптон-85 в ЗИ.

Исходным материалом АО являлись сдувные газы, получаемые при переработке отработанного ядерного топлива на радиохимическом производстве ФГУП «ПО «Маяк». Очистку нарабатываемого материала для АО проводили методом низкотемпературной ректификации. Качество нарабатываемого материала подтверждалось проведением технологического контроля производственного процесса на соответствие чистоты выделения газообразной смеси по нормам [8].

МХ МИ активности радионуклида криптон-85 на радиометре «Curiementor 4» [9], а также на радиометрической установке РХБ-01М [10] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики методик измерений

Средство измерений	Диапазон активности, Бк (мКи)	Характеристика сходимости $\sigma_{сх}$	Характеристика неисключенной систематической погрешности $\Theta_A$	Характеристика правильности $\Theta_{с,}$	Доверительные границы относительной суммарной погрешности $\delta_A$
РХБ-01М	От $3,33 \cdot 10^9$ до $7,40 \cdot 10^{10}$ (от 90 до 2000)	0,075 %	$\pm 8,9$ %	$\pm 7,3$ %	$\pm 8,9$ %
«Curiementor 4»		2,4 %	$\pm 8,9$ %	$\pm 3,8$ %	$\pm 10$ %

#### Литература

- ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Текст]. – Введ. 2013-01-01.-М.: Стандартинформ, 2013.
- ГОСТ Р 8.997-2021 Государственная система обеспечения единства измерений. Алгоритмы оценки метрологических характеристик при аттестации методик измерений в области использования атомной энергии [Текст]. – Введ. 2021-10-01.
- Технические условия. Криптон с радионуклидом криптон-85 ТУ 95 1594-87.
- Криптон-85 газообразный. Технические условия ГОСТ 25057-81 (СТ СЭВ 2714-80).
- Спецификация на источники на основе радионуклида криптон-85 закрытые для промышленных измерительных систем СП-45-Т-М85К01-2016, Озерск, 2016.
- Спецификация на источники на основе радионуклида криптон-85 закрытые для промышленных измерительных систем СП-45-Т-М85К02/03-2021, Озерск, 2021.
- ГОСТ Р 8.1003-2021 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестованные объекты в области использования атомной энергии [Текст]. – Введ. 2021-11-09.
- ГОСТ 10218-17 Криптон и криптоно-ксеноновая смесь. Технические условия.
- Кюриментор 3/4 Т12002 и Т12004. Руководство пользователя № 839553.
- Измерительная установка РХБ-01М. Руководство по эксплуатации РЭ 45.П.6118-2006.

# ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕОДНОРОДНОГО СТАЦИОНАРНОГО ПОЛЯ ИСТОЧНИКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

М.Д. Пышкина<sup>1</sup>, А.В. Васильев<sup>1</sup>, А.А. Екидин<sup>1</sup>,  
Е.И. Назаров<sup>1</sup>, Л.А. Мищенко<sup>2</sup>, О.И. Фуртикова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт промышленной экологии УрО РАН,  
Екатеринбург, Российская Федерация  
<sup>2</sup> ФБУ «Уралтест»,  
Екатеринбург, Российская Федерация  
<sup>3</sup> ООО «АЭБ «Альфа-Х91»,  
Екатеринбург, Российская Федерация  
mdpyshkina@gmail.com

## **Аннотация**

*В данной работе представлены результаты исследования стационарного поля нейтронного излучения поверочной установки УКПН-1М в нормальных условиях эксплуатации. Показано влияние отражающих и поглощающих поверхностей, материалов конструкций, оборудования и оснастки на модерацию спектра энергий нейтронов. Сделан вывод о возможности использования дозиметров-радиометров ДКС-96 с БДМН-96 и БДКН-96, МКС-АТ1117М с БДКН-06 в различных энергетических диапазонах нейтронного излучения.*

**Ключевые слова:** нейтронное излучение, спектры, модерация, мощность дозы, средства измерений, метрология

Устойчивое развитие Российской Федерации, реализация национальных проектов во многом опирается на применение и развитие радиационных и ядерных технологий [1]. Расширение масштаба применения атомной энергии в мирных и оборонных целях приводит к росту реальных и потенциальных источников радиационного воздействия на человека и окружающую среду. Результаты измерений, используемые в целях защиты жизни и здоровья персонала, должны отвечать требованиям объективности, достоверности и воспроизводимости, а показатели точности измерений – не выходить за установленные границы.

Изучение полей нейтронного излучения помещения поверочной установки УКПН-1М проводилось в несколько этапов. На первом этапе помещение поверочной установки было разделено на квадраты со сторонами 1 м таким образом, что поверочная установка находилась в одном из узлов сетки. В работе использовался <sup>238</sup>PuBe-источник ИБН-8-7.

Второй этап состоял из измерения амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения переносными приборами в узлах упорядоченной сетки. Каждым прибором проводилось от 3 до 5 замеров в каждой точке с целью снижения статистической составляющей погрешности. Для измерения амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения применялись три прибора: дозиметр-радиометр ДКС-96 с блоками детектирования БДКН-96 и БДМН-96 [4], а также дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 [5]. Принципиальное отличие применяемых дозиметров-радиометров заключалось в используемом детекторе и геометрии замедлителя.

Третий этап работы включал измерение спектров нейтронного излучения в узлах той же упорядоченной сетки. Измерения нейтронных спектров проводились с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 и набором полиэтиленовых сфер-замедлителей по аттестованной методике, номер в реестре № ФР.1.38.2020.37361.

Проведены исследования полей нейтронного излучения, формируемые вокруг поверочной установки УКПН-1М. В помещении поверочной установки выделены 37 точек, в 33 из которых проведены измерения МАЭД и энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения. Наглядно результаты представлены на рис. 1.



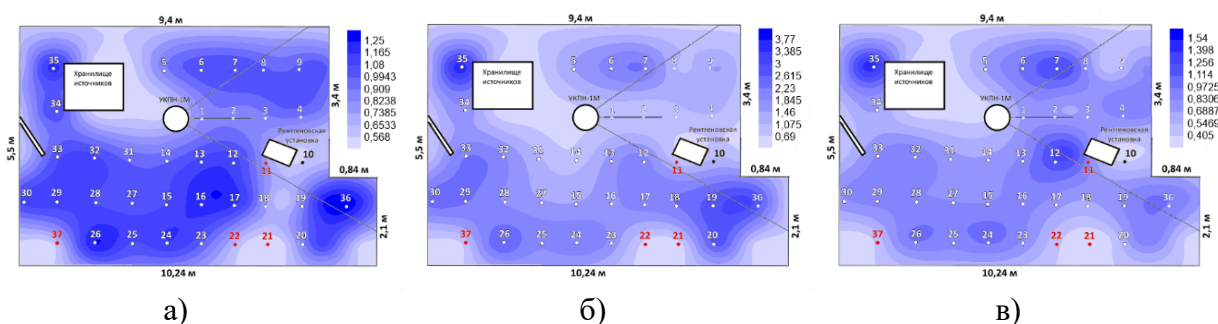


Рис. 1. Отношения результатов измерений МАЭД дозиметрами-радиометрами к истинному значению МАЭД: а) МКС-АТ1117М с БДКН-06; б) ДКС-96 с БДКН-96; в) ДКС-96 с БДМН-96

Установлено, что только 20 % результатов измерений, полученных с помощью ДКС-96 с БДКН-96, соответствуют истинным значениям; тот же показатель для ДКС-96 с БДМН-96 и МКС-АТ1117М с БДКН-06 составляет 80 % и 87 % соответственно. Дозиметры-радиометры ДКС-96 с БДМН-96 и МКС-АТ1117М с БДКН-06 могут применяться для измерения дозиметрических величин в широком энергетическом диапазоне нейтронного излучения, от тепловых до быстрых. Дозиметр-радиометр ДКС-96 с БДКН-96 может применяться только в полях прямого пучка источника быстрых нейтронов. Результаты измерений дозиметрами-радиометрами ДКС-96 с БДМН-96 и МКС-АТ1117М с БДКН-06 согласуются между собой на 97 %.

В поле прямого излучения Pu-Be источника нейтронов вклад быстрых нейтронов в формирование МАЭД составляет не менее 90 %. Пользователям средств измерений МАЭД и плотности потока нейтронного излучения целесообразно обращать внимание на данные о вкладе быстрых, промежуточных и медленных нейтронов при метрологической поверке. В случае существенного отличия распределения вклада нейтронов указанных энергетических групп в плотность потока и МАЭД на обследуемых рабочих местах от условий проведения метрологической поверки требуется введение поправочных коэффициентов.

Однотипные стационарные источники нейтронов в различных внешних условиях (геометрия помещения, наполнение конструкциями и оборудованием) будут создавать поля нейтронного излучения с различными характеристиками энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения в пространстве, что может потребовать применение различных поправочных коэффициентов к результатам прямых измерений МАЭД на производственных объектах и/или для индивидуальных дозиметров.

### Литература

1. Горин, Н. В. Атомная энергетика в национальных проектах России / Н. В. Горин, А. А. Екидин, О. С. Головихина // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2021. – № 1. – С. 5-15. – DOI 10.26583/npe.2021.1.01. – EDN ХРЕЕОК.
2. Общие принципы радиационной защиты персонала. Публикация 75 МКРЗ. Екатеринбург. УРАЛРЭСЦЕНТР, 1999 г.
3. Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSR часть 3, МАГАТЭ, Вена, 2015 г.
4. Приложение к свидетельству № 43717 об утверждении типа средства измерения Дозиметры-радиометры ДКС-96.
5. АТ1117М Radiation Monitor. URL: [https://atomtex.com/sites/default/files/datasheets/at1117m\\_all\\_options\\_0.pdf](https://atomtex.com/sites/default/files/datasheets/at1117m_all_options_0.pdf).

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ РЕГИСТРАЦИИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Г.А. Расшивалин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ивановской области»,  
Иваново, Российская Федерация  
post@ivcsm.ru

## **Аннотация**

*В настоящей работе рассматривается предложение об обязательной цифровой маркировке средств измерений (далее — СИ) утверждённого типа, а также — регистрации СИ, использующихся в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, и интеграции предлагаемой системы с другими федеральными государственными информационными системами.*

**Ключевые слова:** цифровизация, маркировка, идентификация СИ, регистрация СИ

Отсутствие эффективных унифицированных механизмов однозначной, уникальной маркировки СИ создает условия для производства, импорта и распространения контрафактных СИ. Аккредитованные лица сталкиваются с затруднениями при отнесении представленного в поверку СИ к тому или иному утверждённому типу СИ. Надзорные органы сталкиваются с трудностями в части идентификации СИ при инспектировании предприятий из-за отсутствия единого законодательно установленного механизма идентификации СИ.

Начиная с 2017 года в РФ законодательно внедряется система маркировки и прослеживаемости товаров. Федеральным законом от 25 декабря 2018 года №488-ФЗ предусмотрено создание государственной информационной системы мониторинга за оборотом товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации, и установление требований к ней.

Федеральным законом от 22.05.2003 №54-ФЗ "О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации" предусмотрено обязательное присвоение регистрационного номера контрольно-кассовой техники (далее — ККТ), что позволило обеспечить идентификацию ККТ и прозрачный учет эксплуатирующейся ККТ с указанием её места эксплуатации, области применения.

## **Предложения:**

- расширение перечня отдельных товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.04.2018 №792-р). Предлагается включить в перечень СИ утверждённого типа и их автономные блоки;

- расширить перечень сведений о товарах, подлежащих обязательной маркировке (касательно СИ): включить информацию о производителе, типе СИ, модели, дате выпуска (ввоза), заводском номере;

- предусмотреть обязательную процедуру регистрации и присвоения регистрационного номера СИ (как и для отдельных автономных блоков из состава СИ), применяемым для осуществления измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Предлагается формировать реестр сведений об эксплуатируемых в указанных выше целях СИ как дополнительный раздел Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений;

- в состав сведений указанного выше раздела Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений предлагается включить: регистрационный номер СИ, информацию о производителе, тип, модель, дату выпуска, заводской номер, адрес места осуществления измерений (адрес места установки или хранения СИ), вид измерений;

- обязанность по регистрации указанных выше СИ возложить на осуществляющих указанные измерения юридические лица и индивидуальных предпринимателей. Обеспечить возможность регистрации предлагается посредством привлечения ФБУ ЦСМ, а в дальнейшем — через портал Госуслуг;

- в составе сведений о поверке в ФИФ ОЕИ предусмотреть возможность указания регистрационных номеров СИ и их автономных блоков. Разрешить использовать для осуществления измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений,

только СИ, зарегистрированные в предложенном выше порядке, и сведения о поверке которых содержат регистрационный номер СИ;

- для СИ, выпущенных ранее, регистрацию сделать обязательной по истечению межповерочного интервала.

Предлагается интегрировать описанный выше раздел ФИФ ОЕИ с различными ФГИС: ФГИС "Госуслуги. Дом", ФГИС ЖКХ, ФГИС ФСА.

Реализация данных инициатив обеспечит следующие возможности:

- упрощение доступа к информации о СИ (по регистрационному номеру и с использованием средств идентификации);

- повышение эффективности федерального государственного метрологического контроля (надзора): выявление рисков, связанные с применением зарегистрированных СИ, срок поверки которых истёк. В случае ужесточения обязательных метрологических требований к измерениям, относящимся к сфере ГРОЕИ, будет возможно выявление зарегистрированных СИ, метрологические характеристики которых более не удовлетворяют указанных требованиям;

- возможность долгосрочного планирования: планирование расширения области аккредитации для поверки тех или иных СИ на этапе их регистрации, а не к моменту возникновения потребности в их поверке;

- своевременное получение ресурсоснабжающими организациями информации о прекращении эксплуатации (прекращении регистрации), либо об истечении срока поверки СИ, используемого на узлах учёта (по регистрационному номеру СИ), минимизация периодов безучётного потребления и их экономических последствий;

Цифровизация механизмов регистрации и идентификации средств измерений позволит повысить эффективность федерального государственного метрологического контроля (надзора). Данная инициатива будет способствовать единству измерений и повышению качества измерений в различных отраслях экономики.

#### **Литература**

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. 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".
3. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. №1847 "Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений".
4. Федеральный закон «О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации» от 22.05.2003 N 54-ФЗ.
5. Федеральный закон "О внесении изменений в Федеральный закон "Об основах государственного регулирования торговой деятельности в Российской Федерации" и статьи 4.4 и 4.5 Федерального закона "О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации" от 25.12.2018 N 488-ФЗ.
6. Федеральный закон "Об основах государственного регулирования торговой деятельности в Российской Федерации" от 28.12.2009 N 381-ФЗ.
7. Приказ Минэкономразвития России от 26.10.2020 №707 (ред. от 23.01.2023) "Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации".
8. Распоряжение Правительства РФ от 28 апреля 2018 №792-р "Перечень отдельных товаров, подлежащих обязательной маркировке средствами идентификации".
9. Постановление Правительства РФ № 515 от 26 апреля 2019 г. "О системе маркировки товаров средствами идентификации и прослеживаемости движения товаров".

# РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ

Д.А. Рудь, Р.Б. Асташкин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. Б.А. Дубовикова в Саратовской области»  
(ФБУ «Саратовский ЦСМ им. Б.А. Дубовикова»),  
Саратов, Российская Федерация  
scsm@gosmera.ru

## **Аннотация**

*В проекте озвучены предпосылки для создания автоматизированных рабочих мест (далее - АРМ) по поверке средств измерений, а также варианты автоматизации поверочных работ. Рассмотрено положительное влияние от внедрения АРМ на повышение эффективности и оперативности проведения поверки средств измерений.*

**Ключевые слова:** метрология, программное обеспечение, автоматизация, поверка средств измерений, машинное зрение

Одним из важнейших направлений развития в рамках национального проекта «Цифровая экономика» является автоматизация измерений в сфере метрологии [1].

Для реализации задачи автоматизации процедур, выполняемых при проведении поверки средств измерений, в ФБУ «Саратовский ЦСМ им. Б.А. Дубовикова» было решено разработать программное обеспечение, позволяющее перейти к полноценному созданию автоматизированных рабочих мест по поверке средств электрических и радиотехнических измерений, для которых характерно большое количество получаемой и обрабатываемой измерительной информации [2].

Основными целями внедрения АРМ являются:

- ускорение проведения процедур поверки средств измерений;
- обработка результатов измерений в автоматическом режиме и автоматическое формирование протокола поверки;
- хранение результатов поверки упорядоченным способом и обеспечение быстрого доступа к информации и её надежной защиты.

На первом этапе разработки сформулированы ключевые требования к функционалу программного обеспечения:

- удаленное управление эталонами, средствами поверки и поверяемыми средствами измерений;
- координация действий поверителя;
- определение момента стабилизации показаний средств измерений;
- возможность конфигурирования объема поверки при необходимости проведения сокращенной поверки;
- обработка результатов измерений в соответствии с методикой поверки;
- определение соответствия (несоответствия) результатов измерений в каждой контрольной точке согласно требованиям методики поверки;
- формирование протокола поверки в необходимом формате.

В рамках выполнения поставленной задачи было разработано программное обеспечение, позволившее организовать автоматизированные рабочие места для поверки средств измерений, среди которых наиболее эффективными являются:

- АРМ для поверки цифровых осциллографов в автоматическом режиме;
- АРМ для поверки генераторов сложной специальной формы в автоматическом режиме;
- АРМ для поверки цифровых мультиметров [3], токовых клещей с применением технологии машинного зрения [4];
- АРМ для поверки цифровых высокоточных мультиметров в автоматическом и полуавтоматическом режимах;
- АРМ для поверки генераторов импульсов в полуавтоматическом режиме.

Разработанное программного обеспечения может быть также использовано для обучения специалистов, поскольку на протяжении всего процесса поверки программное обеспечение сопровождает поверителя подробными визуальными комментариями и руководствами к действию. Данный подход ощутимо сокращает сроки адаптации сотрудников на новом рабочем месте, что в будущем позволит прийти к полной взаимозаменяемости поверителей.

Реализация проекта позволила получить следующие практические результаты:

- существенное снижение временных затрат на проведение поверки средств измерений;
- упрощение анализа большого объема данных, получаемых в процессе проведения поверки;
- снижение времени на подготовку специалистов при работе на АРМ, возможность управления несколькими АРМ одним специалистом.

#### **Литература**

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

2. Официальный сайт Федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им. Б.А. Дубовикова в Саратовской области» (ФБУ «Саратовский ЦСМ им. Б.А. Дубовикова»). [Электронный ресурс] URL: [https://gosmera.ru/content/o\\_centre.html](https://gosmera.ru/content/o_centre.html) (дата обращения 04.04.2024).

3. Юрченко А.Л. Применение автоматизированных систем для поверки мультиметров. [Электронный ресурс] URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_48629614\\_69604623.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_48629614_69604623.pdf) (дата обращения 04.04.2024).

4. Ситников В.В., Люминарский В.В., Коробейников А.В. Обзор методов распознавания объектов, используемых в системах машинного зрения. [Электронный ресурс] URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_36785056\\_77745492.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36785056_77745492.pdf) (дата обращения 04.04.2024).

# ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ

В.А. Семенова

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром СПГ Портовая»  
(ООО Газпром СПГ Портовая),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация,  
victorysem7@mail.ru

## Аннотация

В данной работе представлены расчеты и сводная информация, демонстрирующие значимые расхождения в применении разных подходов к определению влагосодержания газа. В результате проведенных исследований и систематизации информации, полученной из различных источников, выявлены факторы, искажающие результаты определения водяных паров в газовых средах, приведены способы их устранения.

**Ключевые слова:** гигрометрия, определение водяных паров, качество СПГ, температура точки росы, сорбционный гигрометр, метрологические характеристики гигрометра, погрешность измерения влагосодержания газа

Согласно технологическому регламенту [1] производств сжиженного природного газа (СПГ) содержание влаги в газе после отделения осушки не должно превышать 0,1 ppmv (температура точки росы по воде (ТТРв) минус 90 °С).

Метрологические характеристики методик определения ВС в природном газе приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики методик определения влаги

Характеристика	ASTM D 5454-11 [2]	ГОСТ 20060-2021 [3]	ГОСТ Р 53673-2009 [4]	ГОСТ 34807-2021 [5]	ГОСТ 35033-2023 [6]
Определяемый показатель	Содержание водяных паров	ТТРв	ТТРв	ТТРв, массовая концентрация водяных паров	Содержание водяных паров
Диапазон измерения	от 0,1 до 50 lb/MMSCF	от – 79,9 °С до 30, 0 °С включ.	от – 70,0 °С до 30,0 °С включ.	от – 50 °С до 50 °С	от 0,0002 % мол. до 0,1 % мол.
Пересчет измеренных значений	Отсутствует	Отсутствует	мг/м <sup>3</sup>	мг/м <sup>3</sup> ; % мол.	% об. мг/м <sup>3</sup>
Границы допускаемой погрешности процедуры пересчета	Отсутствуют	Отсутствуют	Установлены в диапазоне от – 15,0 °С до 5,0 °С	Установлены	Отсутствуют

Рассмотренные методы имеют ограниченный диапазон измерения и не подходят для корректных расчетов низких значений ВС.

ООО Газпром СПГ Портовая применяет поточные анализаторы Ametek серии 3050. Диапазон измерений этой серии анализаторов от (0,01 ± 0,01) ppmv [7]. Для периодического контроля применяется переносной гигрометр Shaw SDHmini с диапазоном измерений ТТРв от минус (100 ± 2) °С [8]. Гигрометр имеет встроенное программное обеспечение, позволяющее пересчитывать измеренное значение ТТРв в ppmv, при этом погрешность пересчета не установлена. Отклонения определенных гигрометром значений ВС в ppmv можно оценить, опираясь на измеренную ТТРв. Используем для наглядности опорные значения ТТРв при атмосферном давлении: для СПГ - минус 90 °С, для сырьевого газа минус 59 °С. Расчет произведен с помощью калькулятора [9], данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Отклонения результатов измерений

Характеристики	Товарный СПГ		Сырьевой газ	
	минимум	максимум	минимум	максимум
Диапазон истинного значения ТТРв, °С	минус 92	минус 88	минус 61	минус 57
Расчетное значение, ррmv	0,06	0,14	9,3	16,0
Разность значений, ррmv	0,08		6,7	
Отклонение максимального значения от минимального, %	133,3		72,0	

В настоящее время переносные гигрометры с диапазоном измерений, удовлетворяющим потребность в аналитическом контроле газа после осушки, отсутствуют в продаже на территории Российской Федерации. Измерение ВС газа происходит согласно руководству по эксплуатации применяемого средства измерения, а алгоритмы расчета программного обеспечения отличаются расчетным подходом и зависят от производителя. Отсутствие единого стандарта измерения влаги или расчета содержания влаги из измеренной ТТРв приводит к неизбежным разногласиям в оценке данного показателя. Возможные варианты решения:

1. изменить единицу измерения ВС в газе с ррmv на ТТРв в нормах аналитического контроля;
2. осуществлять определение ВС в газе только поточными анализаторами;
3. ввести в описание типа применяемых гигрометров дополнительную единицу измерения – ррmv с установленной погрешностью.

#### Литература

1. Технологический регламент. Комплекс по производству, хранению и отгрузке сжиженного природного газа в районе КС «Портовая». ТР-18468241-001-2023. - Введ.2023-03-01.— 343 с.
2. ASTM D 5454-11 Standard Test Method for Water Vapor Content of Gaseous Fuels Using Electronic Moisture Analyzers (Reapproved 2020) [Электронный ресурс].
3. ГОСТ 20060-2021 Газ природный. Определение температуры точки росы по воде. - Введ.2023-01-01.— М.: Стандартинформ, 2021.— 16 с.
4. ГОСТ Р 53763-2009 Газ природный. Определение температуры точки росы по воде. - Введ.2011-01-01.— М.: Стандартинформ, 2019.— 37 с.
5. ГОСТ 34807-2021 Газ природный. Методы расчета температуры точки росы по воде и массовой концентрации водяных паров. - Введ.2023-01-01.— М.: Российский институт стандартизации, 2022.— 72 с.
6. ГОСТ 35033-2023 Газ природный. Определение содержания водяных паров сорбционными методами. - Введ.2024-03-01.— М.: Российский институт стандартизации, 2023.— 11 с.
7. D.R. Potter. Analytical Devices for the Measurement of Water Vapor and Hydrocarbon Dew-Point in Natural Gas. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ametekpi.com>.
8. SDHmini Instruction Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shawmeters.com>.
9. Shaw Dew Point Calculator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shawmeters.com>.

# ПЕРВИЧНАЯ ПОВЕРКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА ЖИДКОСТИ ТУРБИННЫХ HELIFLU TZN ФИРМА "FAURE HERMAN SAS", ФРАНЦИЯ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СОСТАВЕ СИКН

А.С. Сергеев

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр  
стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области»  
(ФБУ «Самарский ЦСМ»),  
Самара, Российская Федерация  
neft@samaragost.ru

## **Аннотация**

*Турбинные преобразователи расхода нефти и нефтепродуктов с широким диапазоном измерений параметров расхода и вязкости являются важными устройствами в нефтяной промышленности. Они используются для измерения расхода нефти и нефтепродуктов с различной вязкостью. Эти преобразователи имеют специальные датчики, которые могут адаптироваться к изменениям вязкости жидкости и обеспечивают точные измерения. Важно проводить испытания турбинных преобразователей, чтобы гарантировать их надежную работу и точность измерений.*

*Такие испытания могут включать в себя исследование влияния различных вязкостей на точность измерений, а также оценку долговечности устройства при различных условиях эксплуатации. Результаты испытаний помогают оптимизировать процессы добычи и транспортировки нефти, что в свою очередь способствует повышению эффективности работы нефтяных предприятий.*

*Контроль метрологических характеристик преобразователей расхода нефти и нефтепродуктов включает в себя проверку точности измерений, проверку влияния изменений вязкости на результаты измерений, и оценку долговечности устройства. Этот контроль обеспечивает надежность работы устройства и точность измерений. Регулярная проверка метрологических характеристик помогает предотвратить ошибки измерений и обеспечивает эффективную работу предприятий нефтяной отрасли.*

**Ключевые слова:** турбинные преобразователи расхода, нефть, КМХ, мультвязкостные, СИКН

Рассмотрим проблему, которую выявила организация при реконструкциях системы измерения и показателей качества нефти для расширения мощностей перекачки сырья.

Организацией был заключен договор на покупку турбинных преобразователей HELIFLU TZN № 46057-14 под определённый расход нефти и ее вязкость, которая была определена проектом.

Преобразователи расхода жидкости турбинные моделей HELIFLU TZN, HELIFLU TZN CUS предназначены для измерений объемного расхода и объема жидкостей и преобразования измеренных значений в числоимпульсные сигналы. Принцип действия преобразователей расхода жидкости турбинных моделей HELIFLU TZN, HELIFLU TZN CUS основан на преобразовании поступательного движения жидкости в проточной части преобразователя расхода во вращательное движение его ротора, скорость вращения которого пропорциональна объемному расходу, а число оборотов пропорционально объему протекающей жидкости через преобразователь расхода. При вращении ротора и прохождении постоянных магнитов, размещенных на лопастях ротора, возле магнитоиндукционного датчика, в чувствительном элементе магнитоиндукционного датчика наводится электродвижущая сила, преобразуемая магнитоиндукционным датчиком в последовательность электрических импульсов, количество которых может быть измерено и преобразовано в значение объема жидкости устройством обработки информации, применяемого совместно с преобразователем расхода. Частота следования импульсов пропорциональна объемному расходу жидкости, количество импульсов пропорционально объему жидкости. В состав преобразователей расхода жидкости турбинных моделей HELIFLU TZN, HELIFLU TZN CUS входят следующие основные части: корпус, измерительная камера (съёмная), ротор и магнитоиндукционные датчики. Преобразователи расхода жидкости турбинные моделей HELIFLU TZN, HELIFLU TZN CUS имеют взрывозащищенное исполнение со следующей маркировкой взрывозащиты: 1ExdIICT6...T1, 0ExiaIICT6...T1, 1ExibIICT6...T1, 1ExdIICT6...T3, 0ExiaIICT6...T3, 0ExiaIICT6...T5. Минимальная



длина прямолинейного участка до преобразователя расхода не менее 7 DN, после преобразователя расхода не менее 5 DN.

Преобразователи расхода прибыли в сборе с прямыми участками. После установки на место эксплуатации расходомеров, приступили к пусконаладочным процедурам и дальнейшим процессам для утверждения типа СИКН. Для утверждения типа нужно получить протоколы с определением метрологических характеристик ТПР на месте эксплуатации под проектную документацию согласно поставленным задачам. Ознакомившись с описанием типа на HELIFLU TZN и сертификатами о калибровке, полученными на заводе - изготовителе при выпуске из производства, мы приступили к определению метрологических характеристик. Согласно описанию типа СИ можно использовать при кинематической вязкости от 0,1 до 350 сСт и в случае нашего исполнения с расходом от 200 до 2000 м<sup>3</sup>/ч. На момент определения метрологических характеристик в составе СИКН вязкость нефти была от 54,3 до 56,3 и расход 208,1 м<sup>3</sup>/ч, что являлось нижней точкой расхода в нужном нам диапазоне поверки. При получении коэффициента, сравнив его с таблицей калибровки производителя (калибровку производитель проводил на продукте с вязкостью 5.0 сСт), было уже понятно, что ТПР не укладывается в допустимую погрешность. Хочу сделать акцент на разницу в вязкости при калибровке HELIFLU TZN и определении метрологических характеристик на месте эксплуатации. Разница велика, между описанием типа, охватывающим весь наш диапазон вязкости при калибровке на заводе - изготовителе и метрологическими характеристиками, определенными нами. Мы провели несколько попыток измерений в данной точке, что привело к одному и тому же результату.

Согласно методике поверки и личному опыту для исключения физических и механических факторов, мы обследовали всю собранную схему «руками», исключив варианты неисправностей автоматического контроля протечек, не - полного закрытия задвижек, протечки крана ТПУ, была проделана большая работа. Когда мы подтвердили ожидаемый результат, и все находится в должном состоянии (перед определением МХ, поверки: **ОБЯЗАТЕЛЬНО** проводим мероприятия согласно методике по подготовке к поверке) запускаем процедуру определения метрологических характеристик повторно. В завершении мы получили вновь отрицательный результат. Было принято решение увеличить расход в первой точке до 337,4 м<sup>3</sup>/ч, что дало нам положительный результат - погрешность была 0,142 (при допустимой 0,15). Для исключения брака, механических повреждений первой линии были произведены измерения на 2-х других линиях в точке расход 208,1 м<sup>3</sup>/ч, что привело к идентичному отрицательному результату. В процессе определения метрологических характеристик на 3-х линиях СИКН нам так и не удалось добиться желаемого результата и приблизиться к расходу 208 м<sup>3</sup>/ч в нижней точке расхода. Сократив диапазон расхода до 337,4 м<sup>3</sup>/ч, получили положительный результат при определении метрологических характеристик, но и тут «Мультивязкостные» преобразователи расхода не прекратили нас «радовать». На следующий день после определения метрологических характеристик была проведена процедура их подтверждения, что привело к отрицательному результату, причиной тому стало изменение вязкости на 34 сСт. Хочу напомнить, что в описании типа диапазон измерения вязкости ТПР от 0,1 до 350 сСт. На основании полученного результата контроля метрологических характеристик был сделан вывод что ТПР не соответствует заявленным показателям измерения при изменении вязкости нефти. Таким образом, организация получила в комплектацию системы измерения количества и качества показателей нефти нестабильные турбинные преобразователи расхода, что определенно скажется на финансовых затратах на частую внеочередную поверку данных преобразователей. Возможно, при перекачке нефти при более низкой вязкости, при, поверке после утверждения типа системы измерения показателей количества и качества нефти, получится расширить диапазон перекачки продукта, опять же, на сколько это будет возможно и получится ли в дальнейшем подтвердить метрологические характеристики при проведения очередного КМХ по графику объекта.

Хотелось обратить внимание организаций, занимающихся транспортировкой нефтепродуктов, добычей нефти на необходимость создания производства и испытаний расходомеров. В данной ситуации предложение очень актуально, так как позволяет учитывать специфику работы с нефтью, нефтепродуктами в нашей стране и развивать отечественное производство оборудования для этой сферы. Это поможет снизить зависимость от импорта и улучшить эффективность работы предприятий.

Однако стоит отметить, что создание и развитие новых технологий и продуктов требует значительных инвестиций и времени. Поэтому важно поддерживать и стимулировать такие инициативы на государственном уровне, включая предоставление налоговых льгот и субсидий для производителей.

# АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Н.А. Синельникова, Н.В. Иванникова, М.В. Беднова, А.В. Стрельников

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 0009-0002-5369-8839, n.a.sinelnikova@vniim.ru

## **Аннотация**

*Рассмотрено современное состояние метрологического обеспечения кондуктометрических измерений при гидрологических исследованиях в РФ. Проведен анализ методов и средств передачи единиц удельной электрической проводимости, относительной электрической проводимости и солёности в соответствии с действующей государственной поверочной схемой для средств измерений удельной электрической проводимости жидкостей. Предложены пути решения для корректировки методов и средств передачи единиц.*

**Ключевые слова:** гидрология, удельная электрическая проводимость, морская вода, солёность, стандартный образец

Основной характеристикой при изучении физико-химических параметров Мирового океана является солёность морской воды. От значения солёности, в частности, зависит развитие одноклеточных водорослей — пищи для беспозвоночных животных, а они служат пищей для рыб. Как следствие, от солёности зависит биологическая продуктивность морей и океанов. Актуальность темы подтверждается многочисленными исследованиями и публикациями о влиянии солёности на гидробионтов, в частности [1], [2]. Для контроля солёности вод Мирового океана используются гидрологические зонды, имеющие в своем составе кондуктометрические датчики. Использование такого вида оборудования нуждается в качественном метрологическом обеспечении.

Прослеживаемость при измерении относительной электрической проводимости (далее – ОЭП) и практической солёности морской воды осуществляется в соответствии с государственной поверочной схемой [3] от государственного первичного эталона единицы удельной электрической проводимости (далее – УЭП) жидкости ГЭТ 132-2018. Расчет относительной электрической проводимости и солёности осуществляется в соответствии с [4].

В настоящее время государственная поверочная схема (далее – ГПС) нуждается в уточнении порядка и методов передачи единицы УЭП жидкостей средствам измерений. В ГПС отсутствуют средства измерений утвержденного типа, получающие единицу УЭП жидкости непосредственно от государственного первичного эталона ГЭТ 132-2018 в соответствии с утверждённой методикой поверки, используются внесистемные единицы (практические единицы солёности – ПЕС), что противоречит государственным стандартам [5], а метод передачи единицы СО ОЭП морской воды, соответствующий рабочему эталону 1-го разряда, сличением при помощи компаратора не корректен.

После совершенствования эталона, прошедшего в 2018 году [6], которое было направлено на улучшение метрологических характеристик в части передачи единиц ОЭП и практической солёности, в государственную поверочную схему были введены стандартные образцы (далее – СО) ОЭП морской воды в диапазоне от 0,99980 до 1,00025, (в диапазоне солёности от 34,99 до 35,01 практических единиц солёности) в поле рабочих эталонов 1-го разряда. Анализ современного состояния базы стандартных образцов утверждённого типа Российской Федерации показал, что такие СО не выпускаются отечественными предприятиями и метрологическими институтами. Для решения этой задачи в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» проводится опытно-конструкторская работа, которую планируется закончить в 2025 году, и предполагающая в результате выпуск СО УЭП морской воды, обеспечивающих передачу единицы рабочим эталонам 2-го разряда, и прослеживаемость аттестованных значений к ГЭТ 132-2018. Также на данный момент разрабатывается проект государственной поверочной схемы, который должен внести уточнение в порядок и методы передачи

единицы УЭП и учесть современное состояние метрологического обеспечения гидрологических исследований.

#### **Литература**

1. Кузнецова И.Д., Федоров Ю.А. Влияние солености и водного стока на распространенность черноморско-азовской проходной сельди в Азовском море // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2018. №4 (200). <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-solenosti-i-vodnogo-stoka-na-rasprostranennost-chernomorsko-azovskoy-prohodnoy-seldi-v-azovskom-more> (дата обращения: 18.04.2024).

2. А.А. Гайсина 1, М.К. Алиев 2, З.С. Салманлы Влияние солености на развитие осетра на ранних этапах онтогенеза // Azerbaijan Journal of Physiology, Vol. 37, № 2, 2022, pp. 33-40. <https://doi.org/10.59883/ajp.36> (дата обращения: 18.04.2024).

3. Приказ № 2771 от 27.12.2018 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений удельной электрической проводимости жидкостей».

4. ГСССД 77-84. Таблицы стандартных справочных данных. Морская вода. Шкала практической солености. 1978 г.. М.. Издательство стандартов, 1986.

5. ГОСТ 8.061-80 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Поверочные схемы. Содержание и построение.

6. Смирнов А.М., Суворов В.И., Черников И.Г. «Совершенствование Государственного первичного эталона единицы удельной электрической проводимости жидкостей ГЭТ 132-99». Измерительная техника, 2018, 9й выпуск, с. 13-16.

# АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ПЕРЕХОДОВ ДЖОЗЕФСОНА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАЛОНА ВОЛЬТА

И.А. Сладовский

Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева"  
(ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0009-0001-5448-910X>, [i.a.sladovskiy@vniim.ru](mailto:i.a.sladovskiy@vniim.ru)

## Аннотация

*Проанализировано текущее состояние реализации эталона единицы электрического напряжения и электродвижущей силы с помощью переходов Джозефсона. Выявлены ключевые особенности и основные характеристики Джозефсоновских микросхем различных видов. Были выявлены тенденции развития эталона вольта и представлены наиболее перспективные варианты реализации переходов Джозефсона.*

**Ключевые слова:** *вольт, эффект Джозефсона, переход Джозефсона, сверхпроводник*

Современная реализация эталона единицы электрического напряжения основана на применении эффекта Джозефсона, открытого в 1962 г. Данный эффект позволяет связать частоту облучения  $f$  и постоянное напряжение  $U$  с фундаментальными константами зарядом электрона  $e$  и постоянной Планка  $h$  с помощью соотношения (1) [2]:

$$U = f \frac{h}{2e} \quad (1)$$

Реализуется данный метод при помощи переходов Джозефсона, представляющих собой слабую связь двух сверхпроводников. Массив таких контактов образует сверхпроводящую интегральную схему (СПИС) – основу эталонной меры.

Наиболее простым типом СПИС являются микросхемы, основанные на SIS-переходе (S – сверхпроводник, I – диэлектрик). В качестве диэлектрической прослойки чаще всего используется  $Al_2O_3$ , в качестве сверхпроводника – Nb [2]. Главным преимуществом такой системы является возможность воспроизводить напряжение при нулевом критическом токе. Однако воспроизводимое напряжение довольно нестабильно, так как ВАХ выходного сигнала имеет гистерезисный характер, что делает затруднительным установление напряжения на одном уровне длительное время [7]. Микросхемы SIS-типа обычно состоят из 10000 или 20000 переходов и используются для воспроизведения напряжения до 10 В.

Следующим поколением в технологии СПИС можно считать микросхемы на SNS-переходе (S – сверхпроводник, N – нормальный металл). В SNS-переходе в качестве диэлектрика чаще всего выступает легированный Nb кремний [2], [6]. Также существуют исследования по применению Al [1] или  $\alpha$ -Si, легированного W [4]. Данные контакты воспроизводят напряжение с помощью первой ступеньки Шапиро при ненулевом критическом токе. Значения напряжения одного перехода (около 140 мкВ при частоте облучения 70 ГГц) более стабильные. Однако на данном типе микросхем влияние на форму ступени могут оказывать шумы [7], [8]. В микросхемах, использующих SINIS-переход, количество переходов может варьироваться в диапазоне 65000 - 100000 и, соответственно воспроизводить напряжения до 10 В.

SNS и SINIS микросхемы применяются в новой технологии воспроизведения электрического напряжения – программируемых эталонах вольта (PJVS) и Джозефсоновских синтезаторах сигнала произвольной формы (JAWS) [3]. Программируемый стандарт вольта использует двоично-разделенные массивы Джозефсоновских переходов для синтеза любого напряжения в доступном диапазоне [2], [5]. С помощью опорного напряжения можно управлять массивом переходов и подбирать необходимое значение напряжения. Эта система, например, применяется в эталонной установке ГЭТ 13–2023 [10], находящейся во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Важным преимуществом является возможность получения переменного напряжения с помощью цифро-аналогового преобразователя и аппроксимации таким образом синусоидального сигнала [9], [11].

На данный момент приведенные методы воспроизведения единицы электрического напряжения являются наиболее актуальными и точными. Перспективы развития направлены на увеличение

количества переходов в микросхемах, что позволит увеличить максимальные значения воспроизводимого напряжения. Также стоит отметить существенное развитие технологии синтеза переменного напряжения. Последние исследования показывают возможность воспроизведения напряжения на все больших частотах. Существующая тенденция указывает на то, что в будущем все большее предпочтение будет отдано в пользу программируемых стандартов напряжения, что заложит основу метрологии переменного тока.

#### Литература

1. Lacquardini V., Maggi S., Polcari A., Steni R., Andreone D., Fabrication and characterization of SNS Josephson junctions with an aluminum barrier., IEEE Transactions on applied superconductivity, vol.11, NO 1, march 2001. Pp. 1130-1133.
2. Johannes Kohlmann and Ralf Behr, Development of Josephson voltage standards., Superconductivity – theory and applications., July 2011. Pp. 239-260.
3. T. Scheller, F. Mueller, R. Wendisch, O. Kieler, U. Springborn, K. Stoerr, B. Egeling, T. Weimann, L. Palafox, R. Behr and J. Kohlmann., SNS junctions for AC Josephson voltage standards., Physics procedia, vol. 26, 2012. Pp. 48-52.
4. Гудков А. Л., Куприянов М. Ю., Самусь А. Н. Свойства планарных Джозефсоновских переходов Nb/ $\alpha$ -Si/Nb с различной степенью легирования  $\alpha$ -Si-прослойки // ЖЭТФ. Том 141, 2012. С. 939-952.
5. Гудков А. Л., Козлов А. И., Самусь А. Н., Краснополин И. Я. Проектирование СПИС преобразователя частота-напряжение для программируемого эталона Вольта // МЭС-2012. 2012.
6. Гудков А. И. Джозефсоновские переходы: электрофизические свойства, области применения и перспективы развития // Электроника, Спецвыпуск. 2014. С. 65-80.
7. Катков А. С., Ловцюс В. Э., Быков А. И., Шевцов В. И., Новодережкин Г. В. Воспроизведение вольта на основе переходов Джозефсона СИС- и СНС-типа // Измерительная техника №6. 2017. С. 45-48.
8. Alain Rufenacht, Nathan E. Flowers-Jacobs and Samuel P. Benz. Impact of the latest generation of Josephson voltage standards in ac and dc electric metrology. Metrologia, № 55, 2018. Pp. 152-173.
9. Катков А. С., Петровская А. Н., Гублер Г. Б., Шевцов В. И. Перспективы применения квантовых мер напряжения на эффекте Джозефсона для совершенствования эталонов вольта // Измерительная техника, №7, 2022. С. 30-35.
10. Катков А. С., Шевцов В. И., Громова Ю. А. Государственный первичный эталон вольта четвертого поколения // Измерительная техника, №7, 2023. С. 4-8.
11. S. Bauer, R. Behr, J. Herick, O. Kieler, M. Kraus, H. Tian, Y. Pimsut and L. Palafox. Josephson voltage standards as toolkit for precision metrological applications at PTB. Measurement science and technology, vol.34, 2023. Pp. 1-22.

# ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЯ ПОПРАВОК НА НЕСТАБИЛЬНОСТЬ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОРРЕКТИРОВКЕ МЕЖКАЛИБРОВОЧНОГО ИНТЕРВАЛА

Д.В Спутнова

Федеральное бюджетное учреждение "Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Пензенской области"  
(ФБУ "Пензенский ЦСМ"),  
Пенза, Российская Федерация  
d.bublejj91@mail.ru

## **Аннотация**

*В работе проанализированы методы установления и корректировки интервалов между калибровками средств измерений, а также пригодность математических моделей в виде скользящего среднего для описания нестабильности средств измерений.*

**Ключевые слова:** калибровка, математические модели, нестабильность средств измерений, интервал между калибровками средств измерений

На современном этапе развития промышленности внимание специалистов и руководителей метрологических служб направленно на оптимизацию временных и материальных затрат при эксплуатации средств измерений (СИ).

Одной из задач, решаемых в таком случае, является обеспечение прослеживаемости результатов измерений, применяя калибровку СИ и введение различных поправок к их показаниям, в том числе поправок на нестабильность. Как известно, существенное влияние на оценку нестабильности оказывают многочисленные случайные эффекты – случайные погрешности калибруемого средства измерений и эталона, а также изменение условий, в которых проводилась калибровка в разные моменты времени и др.

Учитывая, что оценка нестабильности представляет собой достаточно сложную двухэтапную задачу: в течение первого достаточно продолжительного этапа, связанного с экспериментальными исследованиями, оценивают нестабильность СИ, а на втором – подбирают модель, адекватно описывающую нестабильность СИ, в соответствии с которой могут быть оценены значения поправки для конкретного экземпляра СИ. Несмотря на множество предложений и публикаций, посвященных данному вопросу, в том числе при участии автора [2-3, 7], и на существующую нормативную базу [1-7], к сожалению, пока не выработан приемлемый подход к определению значения поправки к показаниям СИ на нестабильность.

Вопросом назначения межкалибровочного интервала (далее – МКИ) средств измерений (СИ) посвящено множество статей и публикаций [8-20], но как верно отмечено в [20] не существует оптимального способа определения МКИ для всех типов СИ.

Это вызвано следующими причинами:

- противоречие и несовершенство в расчете МКИ в нормативно-правовых документах;
- процедура назначения МКИ для «сложных» СИ и «простых» (например, однозначных мер) должны отличаться;
- процедура назначения МКИ при утверждении типа СИ и корректировки МКИ в процессе эксплуатации должна различаться.

В результате анализа были получены следующие выводы:

1. На основе методов математического моделирования предложено использование математических моделей в виде скользящего среднего для описания нестабильности средств измерений и установлены границы ее применимости для описания нестабильности средств измерений. Математические модели просты в использовании и не требуют финансовых затрат.

2. Впервые предложена методика корректировки интервалов между калибровками средств измерений с использованием моделей в виде скользящего среднего, что позволит оптимизировать затраты на расчет корректировки интервалов между калибровками средств измерений.

3. Разработаны методики корректировки интервалов между калибровками средств измерений с использованием моделей в виде скользящего среднего.

## Литература

1. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
2. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
3. РМГ 115-2019. ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности.
4. МИ 3676-2023 ГСИ. Рекомендации по определению интервалов между поверками средств измерений. Основные положения.
5. COOMET R/GM/32:2017. Рекомендация KOOMET. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности.
6. ILAC – G24/OIML D 10: Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment used in testing laboratories.
7. OIML G19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology
8. Данилов А.А. Методы установления и корректировки межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – Главный метролог, 2005, № 6. – С. 29-36.
9. Бержинская М.В., Данилов А.А., Спутнова Д.В. Сравнительный анализ методов определения поправок на нестабильность. Сб. докл.: XXVI Национален научен симпозиум с международно участие «Метрология и метрологично осигуряване 2016». С.85-89.
10. Данилов А.А., Бержинская М.В., Голубинский Ю.М., Спутнова Д.В. Об оценке нестабильности средств измерений, применяемых при калибровке / Сб. докл. XIII международного семинара «Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты» (UM-2016) // Минск: БелГИМ, 2016. – С. 53-56.
11. Данилов А.А., Спутнова Д.В. Анализ моделей описании нестабильности средств измерений. – Приборы, 2018, №3. – С. 6-12.
12. Данилов А.А. Теоретические основы сличения эталонов. – Законодательная и прикладная метрология, 2007, № 2. – С. 13-18.
13. Бержинская М.В., Данилов А.А. Теоретические основы экспериментального определения погрешности от временной нестабильности средств измерений // Измерительная техника. – 2009. – № 3. – С. 11-12. // Berzhinskaya M.V., Danilov A.A. Theoretical principles for the experimental determination of errors due to instability of measuring instruments over time // Measurement Techniques. – 2009. – V. 52. – № 3. – P. 220-222.
14. Агафонова О.В., Бержинская М.В., Данилов А.А. Об оценивании нестабильности средств измерений при использовании различных экземпляров однотипных эталонов // Сб. докл.: Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза: изд-во ПГУ – 2013. –Т. 2. – С. 69-70.
15. Данилов А.А. Теоретические основы сличения эталонов // Законодательная и прикладная метрология. – 2007. – № 2. – С. 13-18.
16. Данилов А.А. Практические вопросы калибровки измерительного оборудования в деятельности испытательной лаборатории //Законодательная и прикладная метрология. – 2022. - №4. - С. 30-33.
17. Данилов А. А., Спутнова Д. В., Тюрина Ю. Г. Способ определения интервалов между калибровками средств измерений // Законодательная и прикладная метрология, 2018, №4. – С. 15–18.
18. Данилов А. А., Спутнова Д. В., Тюрина Ю. Г. Теоретические основы определения интервала между калибровками средств измерений // Законодательная и прикладная метрология, 2019, №3. – С. 43–45.
19. Чуновкина А. Г., Походун А. И., Сулаберидзе В. Ш. Проблема определения и корректировки межкалибровочных интервалов средств измерений //Измерительная техника, 2019, №10. – С. 15–19.
20. Сулаберидзе В.Ш., Неклюдова А.А., Михеев В.А. Метрологическая надежность средств измерений // Учебно-методическое пособие – 2023.

## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВОЛОКОННО–ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ЗАКРЫТЫМ ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ В ИЗДЕЛИЯХ РКТ

М.В. Степанов, М.Н. Перов, Д.А. Скоробогатько

Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс»  
(АО «РКЦ «Прогресс»),  
Самара, Российская Федерация  
stepanov.mv@samspace.ru

### Аннотация

В работе рассматривается датчиково-преобразующая аппаратура ракетно-космической техники: ее количество на одну единицу и контролируемые физические величины. В статье рассмотрены достоинства интеллектуальных датчиков с функцией самокалибровки, а также волоконно-оптические датчики с закрытым оптическим каналом, обладающие такой же функцией. Приводятся причины, сдерживающие широкое применение волоконно-оптических датчиков с закрытым оптическим каналом.

**Ключевые слова:** Волоконно-оптический датчик с закрытым оптическим каналом, первичный преобразователь

В настоящее время в ракетно-космической промышленности широко применяются датчики различных физических величин, что позволяет реализовать возможность измерительного контроля большого количества необходимых параметров. Как показано в [3] при штатной эксплуатации ракетоносителей (РН) количество датчиков достигает 700 ед. Любой датчик состоит из первичного преобразователя (ПП), непосредственно контактирующим с контролируемым объектом (процессом), и вторичного преобразователя (ВП), устанавливаемым в более комфортных условиях. В РКТ датчики контролируют такие физические величины, как температура, давление, вибрация, ускорение, линейные и угловые перемещения, количество оборотов и др.

На датчики, применяемые в РКТ, воздействует большое количество дестабилизирующих факторов [3], а, следовательно, к ним, кроме метрологических требований, предъявляются и следующие: более широкие диапазоны эксплуатации, повышенная надежность, конструктивное исполнение.

В большинстве случаев ПП входят в состав конструктивных элементов РКТ и, как следствие, затруднен, а зачастую и не возможен, доступ для подключения к датчикам с целью контроля метрологических характеристик. Этому недостатка лишены интеллектуальные датчики, обладающие функцией самокалибровки и способные проводить контроль своей работоспособности в процессе эксплуатации [1]. При этом, как показано в [4], существуют датчик, имеющие возможность бездемонтажной поверки (калибровки). К таким датчикам можно отнести волоконно-оптические датчики с закрытым оптическим каналом (ВОДЗОК) [5, 6, 7].

Структурная схема ВОДЗОК представлена на рисунке 1. Отличительной особенностью таких датчиков является отсутствие выхода оптического излучения в окружающее пространство из элементов волоконно-оптического тракта [6].

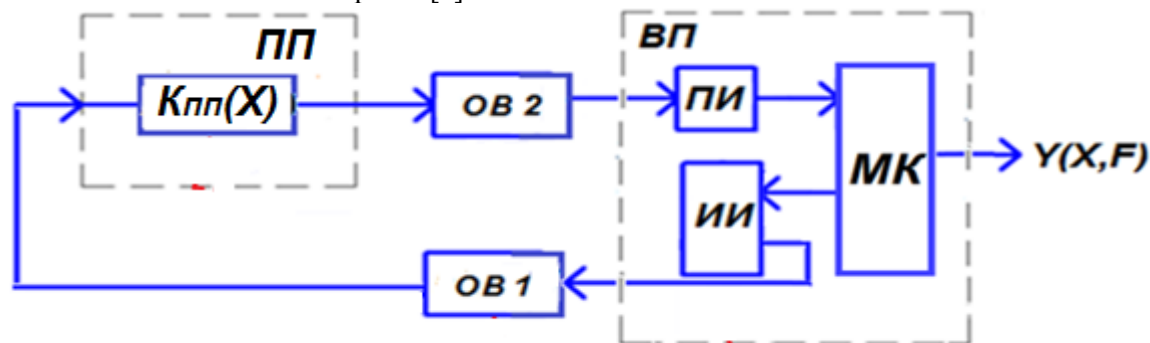


Рис. 1. Структурная схема ВОДЗОК



ВОДЗОК состоит из ПП, ВП, подводящего ОВ 1 и отводящего ОВ 2 излучение оптических волокон (ОВ). ПП связан с объектом контроля и, как правило, функционирует в более жестких условиях эксплуатации, чем ВП [6, 7].

ПП преобразует измеряемую величину  $X$  в изменение одного или нескольких параметров оптического излучения (амплитуду, поляризацию, длину волны и т.п.).

ВП выполняет обычно следующие функции:

- формирование стабильного оптического излучения и ввод его в ОВ 1;
- прием сигнала ПП;
- преобразование и обработку сигнала ПП (линеаризация позиционной характеристики ВОДЗОК, самокалибровка и др.);
- формирование выходного сигнала датчика в требуемом формате.

ПП ВОДЗОК могут быть основаны на разных оптических эффектах: на основе магнитооптического эффекта, на основе изгиба ОВ, на основе градиентных микролинз, на основе спектрально-селективных элементов. Построенные на основе таких ПП ВОДЗОК измеряют следующие физические величины: угловое и линейное перемещения, ускорение, скорость, вибрация, сила, деформация, температура [2]. Т.о., по номенклатуре измеряемых величин, такие датчики могут заменить применяемые в настоящее время в РКТ преобразователи.

Обобщенная структурная схема ПП ВОДЗОК на основе спектрально-селективных элементов (ССЭ) приведена на рисунке 2 [2].

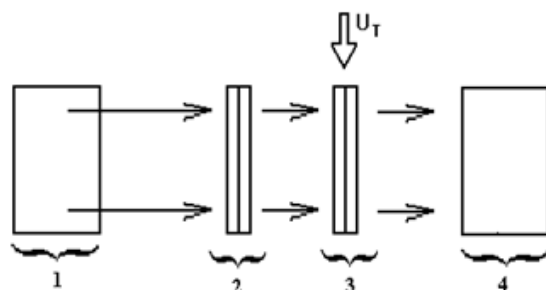


Рис. 2. Обобщенная структурная схема ПП ВОДЗОК на основе ССЭ

Между торцами передающего ОВ (1) и приемного ОВ (4) размещены два ССЭ (2) и (3), представляющие собой, например, волоконные решетки Брэгга причем, на один из ССЭ воздействует контролируемое воздействие  $U_T$  (давление, перемещение).

$$J(U_T) = \mu \Phi_M^* \int_0^{\infty} \Phi(\lambda - \lambda_\phi) N(\lambda - \lambda_{N1}) T_1(\lambda - \lambda_{T1}) T_2(\lambda - \lambda_{T2}(U_T)) \cdot S(\lambda - \lambda_s) d\lambda, \quad (8)$$

где  $\mu$  – коэффициент пропорциональности;  $\Phi(\lambda - \lambda_\phi)$ ,  $N(\lambda - \lambda_{N1})$ ,  $T_1(\lambda - \lambda_{T1})$ ,  $T_2(\lambda - \lambda_{T2}(U_T))$ ,  $S(\lambda - \lambda_s)$  – относительные спектральные характеристики ИИ, ОВ, ССЭ и ПИ соответственно;  $\Phi_M^*$  – максимум спектральные характеристики ИИ.

Существуют следующие проблемы, сдерживающие широкое внедрение ВОДЗОК в изделия РКТ:

- Необходимость сопряжения ВОДЗОК с существующими системами;
- Существующие математические описания ВОДЗОК не имеют единого представления (не рассматривают множество моделей оптических элементов, входящих в состав ВОДЗОК, в их взаимодействии), что затрудняет проектирование эффективных измерительных систем.
- Проведение актуализации нормативной документации с целью возможности применения таких датчиков.

#### Литература

1. ГОСТ Р 8.734-2011 ГСОЕИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля.
2. Матюнин С.А., Степанов М.В., Бабаев О.Г. Волоконно-оптические датчики с закрытым оптическим каналом. – Самара: Инсома-Пресс, 2020. – 250 с.
3. Мусаев Р.Ш. Этапы развития и основные направления совершенствования датчиков физических величин для ракетно-космической техники / Р.Ш. Мусаев, С.А. Здобнов, А.А. Трофимов, П.Н. Цибизов // Датчики и системы. – 2019. - №12. – С. 30–38.
4. Патент RU 2299408 С1. Устройство для измерения температуры в виде термоэлектрического преобразователя. Каржавин А.В., Каржавин В.А., Богатов В.В., Белевцев А.В., 2006 г.

5. Свид. 2024613835 Российская Федерация. Программа волоконно-оптического датчика перемещения с возможностью бездемонтажной проверки метрологических характеристик / Матюнин С.А., Степанов М.В. заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева" (Самарский университет). – заявк. 2024612404 от 07.02.2024 – 1 с.

6. Степанов, М.В. Волоконно-оптические датчики: перспективы применения в ракетно-космической технике / М.В. Степанов // Главный метролог.–2020. – №1. – С. 28 – 30.

Степанов М.В. Волоконно-оптический датчик давления на основе градиентных микролинз // Датчики и системы. - 2021. - № 4 (257). - С. 35 - 40.

## Систематическая погрешность, возникающая при поверке аудиометров

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»),  
Тюмень, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0001-9501-7195, stepanovsanya45@mail.ru

### Аннотация

Существующие методики поверки аудиометров не учитывают резонансные явления на частотах свыше 1 кГц между мембраной и защитной сеткой микрофонного капсюля, что приводит к систематическим погрешностям поверяемых средств измерений.

**Ключевые слова:** электроакустика, микрофонный капсюль, резонатор Гельмгольца, систематическая погрешность

В ходе эксперимента по определению уровней звукового давления на примере диагностического аудиометра 270 фирмы Amplivox с помощью искусственных ушей 4152 и 4153 на разных типах микрофонных капсюлей, были выявлены систематические погрешности, влияющие на результат измерений. Причиной этих погрешностей является волновая физика, а точнее резонанс Гельмгольца. Расстояние между мембраной микрофонного капсюля и защитной сеткой выступает как резонатор (резонатор Гельмгольца), из-за чего появляется дополнительная погрешность (рис. 1) [1, 2].

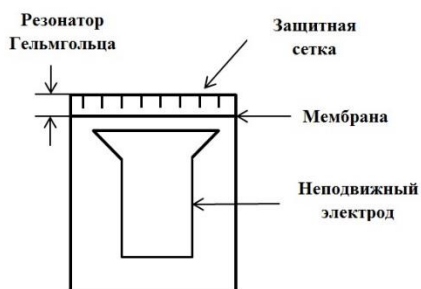


Рис. 4 Упрощенная схема микрофонного капсюля

Согласно экспериментам, на микрофонных капсюлях (1/2 -дюйма) МК-205, МК-233 и МК-265 погрешность достигает 4 дБ на частотах выше 1 кГц относительно микрофона 4180, выступающего в качестве эталонного (рис. 2). На микрофонных капсюлях 4144 диаметром 1 дюйм, погрешность относительно 4180 составляет выше 5 дБ (на частоте 6 кГц) (рис. 2). Эксперимент показывает, что чем выше эквивалентный объем микрофонного капсюля, тем выше погрешность [3, 4]. Искусственное ухо 4152, оптимизированное до 8 кГц, должно использоваться не с защитной сеткой при поверке аудиометров, а с кольцевым адаптером, чтобы исключить влияние резонанса на результат измерений [5].

Результаты показали, что при поверке аудиометров на частотах свыше 1 кГц необходимо учитывать волновые явления для **снижения систематической погрешности**. С учетом вышеизложенного границы применимости методик поверки аудиометров требуют более детального изучения.

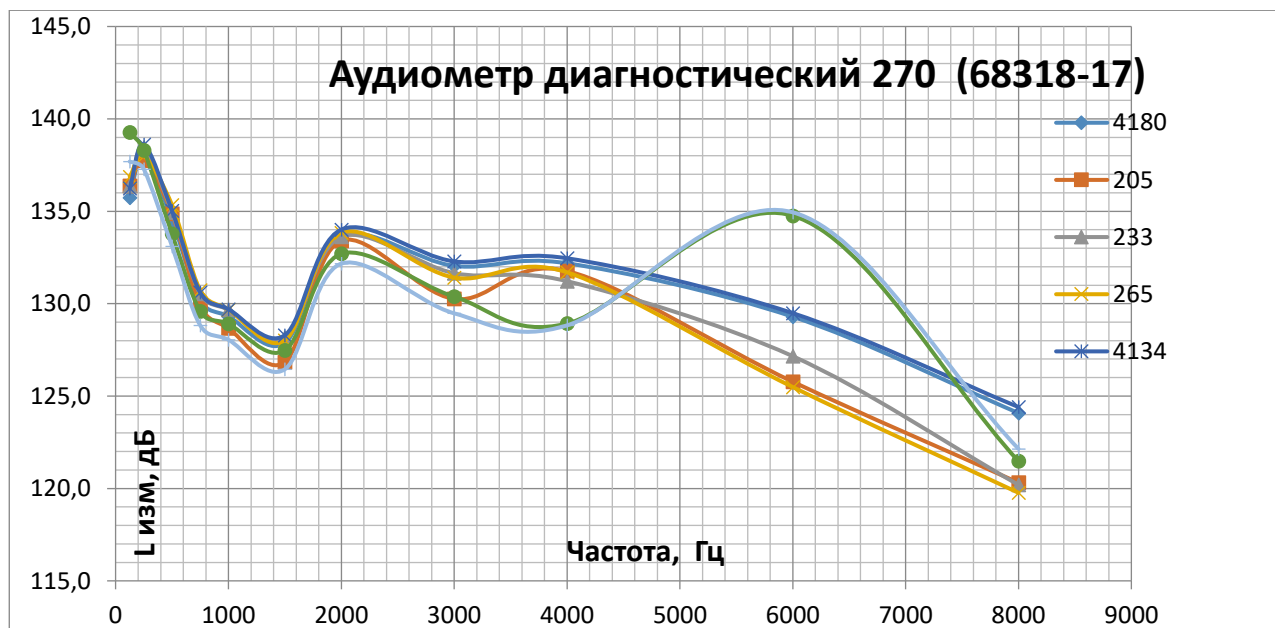


Рис. 5 Уровни звукового давления аудиометра 270

#### Литература

1. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2008. С. 112-118.
2. Исакович М.А. Общая акустика. Учебное пособие. М.: Наука. 1973. С. 230-249.
3. МЭК 60645-1- 2017. Электроакустика. Аудиометрическое оборудование. Часть 1. Оборудование для тональной и речевой аудиометрии. Москва: Стандартиформ, 2019. С. 13-25.
4. ГОСТ Р МЭК 60318-5-2010. Электроакустика. Имитаторы головы и уха. Часть 5. Эталонная камера объемом 2 см<sup>3</sup> для измерения параметров слуховых аппаратов и телефонов с ушными вкладышами. Москва: Стандартиформ, 2019. С. 6-11.
5. ИЕС 60318-3 (2014). Электроакустика. Имитаторы человеческой головы и уха. Часть 3. Акустический соединитель для калибрования наушников открытого типа, используемых в аудиометрии. 2014. С. 7-12.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛ ДНК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЦКПЦР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

А.П. Степанова, А.Л. Рунов

Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева"  
(ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
a.p.stepanova@vniim.ru

## **Аннотация**

*При измерении концентрации копий последовательности ДНК часто используется метод цкПЦР, требующий пересчета полученных в ходе эксперимента числа содержащих ДНК флуоресцирующих капель и пустых в концентрацию. Часто в качестве математической модели применяется распределение Пуассона, которое может вносить дополнительную неопределенность в результаты в следствие неприменимости на малом числе капель. Чтобы уменьшить вклад ошибки, вносимой методом, было разработано программное обеспечение, моделирующее процессы, реализуемые в ходе цкПЦР, в многократном количестве повторов, что приближает данные к реальным.*

**Ключевые слова:** *Метрология, цифровая капельная полимеразная цепная реакция, распределение Пуассона, моделирование, измерение концентрации копий последовательности ДНК*

Цифровая капельная полимеразная цепная реакция (цкПЦР) – метод измерения числа и концентрации копий последовательности ДНК, являющийся в настоящее время общепризнанным в мировом метрологическом сообществе [1-5]. В основе метода лежит разбиение ДНК-содержащего раствора на суспензию, содержащую порядка 10000 капель, с последующим проведением полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) в каждой из них. Распределение исследуемых последовательностей ДНК по каплям происходит случайным образом и может быть приближенно описано с использованием распределения Пуассона. После прохождения реакции капли, содержавшие хотя бы одну копию последовательности ДНК, испускают флуоресцентный сигнал, тогда как «пустые» капли не флуоресцируют. Число капель подсчитывается с учетом их флуоресценции, после чего на основе числа флуоресцирующих («позитивных») капель, а также общего числа капель в суспензии рассчитывается концентрация копий последовательности ДНК [6].

С математической точки зрения распределение Пуассона применимо для бесконечно большого числа элементов или приближенного к нему, что вносит погрешность при его использовании для обработки результатов реального эксперимента. В частности, значимые искажения результатов наблюдаются, если общее число капель мало, либо отношение числа «позитивных» капель к общему не соответствует оптимальному показателю  $\lambda = 0,8$  [7-8].

Во избежание ошибок, дополнительно вносимых в результаты измерений за счет использования приближенной математической модели, был разработан новый метод расчета концентрации копий последовательности ДНК. Он заключается в компьютерном моделировании процессов, реализуемых в ходе генерации капель, с многократным их повторением.

В методе используются число «позитивных» капель и общее число капель, полученные из реального эксперимента. При помощи компьютерного моделирования происходит подбор числа молекул ДНК, которые при случайном распределении по общему числу капель, образуют соответствующее число «позитивных» капель. Данная процедура повторяется многократно для определения среднего числа молекул ДНК, при котором количество смоделированных «позитивных» капель будет равняться экспериментально полученному числу «позитивных» капель. При этом распределение результатов, полученных на каждом шаге цикла, относительно среднего показывает возможный реальный разброс значений числа копий последовательности ДНК. Нами было показано, что расхождение результатов, полученных при использовании моделирования в сравнении с приближенно вычисленными, составляет не менее 2 % (при  $\lambda = 0,8$ ).

Таким образом, разработанный метод позволит рассчитывать концентрацию копий

последовательности ДНК методом цкПЦР без использования распределения Пуассона. Это приведет к уменьшению вклада ошибки, вызванной ограничениями, накладываемыми на использование численных методов. Кроме того, разработанный метод применим для обработки результатов измерений, не подходящих для обработки с помощью распределения Пуассона.

### Литература

1. Cao L, Cui X, Hu J, Li Z, Choi JR, Yang Q, Lin M, Ying Hui L, Xu F. Advances in digital polymerase chain reaction (dPCR) and its emerging biomedical applications. *Biosens Bioelectron.* 2017 Apr 15;90:459-474. doi: 10.1016/j.bios.2016.09.082. Epub 2016 Sep 25. PMID: 27818047.; Huggett JF, Whale A. Digital PCR as a novel technology and its potential implications for molecular diagnostics. *Clin Chem.* 2013 Dec;59(12):1691-3. doi: 10.1373/clinchem.2013.214742. Epub 2013 Oct 7. PMID: 24100808.
2. Milavec, M., Cleveland, M.H., Bae, YK. et al. Metrological framework to support accurate, reliable, and reproducible nucleic acid measurements. *Anal Bioanal Chem* 414, 791–806 (2022).
3. Whale AS, Jones GM et al. Assessment of Digital PCR as a Primary Reference Measurement Procedure to Support Advances in Precision Medicine. *Clin Chem.* 2018 Sep;64(9):1296-1307. doi: 10.1373/clinchem.2017.285478. Epub 2018 Jun 14. PMID: 29903874.
4. Corbisier P., Pinheiro L., Mazoua S., Kortekaas A.-M., Chung P.Y.J., Gerganova T., Roebben G., Emons H., Emslie K. DNA copy number concentration measured by digital and droplet digital quantitative PCR using certified reference materials // *Anal. Bioanal. Chem.* 2015. vol. 407. p. 1831–1840 doi: 10.1007/s00216-015-8458-z.
5. Kojabad A. A. и др. Droplet digital PCR of viral DNA/RNA, current progress, challenges, and future perspectives // *J Med Virol.* 2021. Т. 93. No 7. С. 4182–4197.
6. Steffen Uhlig et al. Validation of qualitative PCR methods on the basis of mathematical–statistical modelling of the probability of detection // *Accreditation and Quality Assurance* 2015, 20(2), 75–83 doi:10.1007/s00769-015-1112-9.
7. Amar S. Basu Digital Assays Part I: Partitioning Statistics and Digital PCR // *SLAS Technology* 2017 1 –18. DOI: 10.1177/2472630317705680.
8. Quan, Phenix-Lan; Sauzade, Martin; Brouzes, Eric dPCR: A Technology Review. *Sensors* 2018, 18(4), 1271–. doi:10.3390/s18041271.

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ УЧЕТА МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ В ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ОРЕНБУРГ»

А.О. Стрельчик, И.В. Бугуцкий, С.В. Дегтярёв

ООО «Газпром добыча Оренбург»,  
Оренбург, Российская Федерация

## *Аннотация*

*Цифровая трансформация стала ключевым фактором для улучшения эффективности и конкурентоспособности промышленных предприятий во всем мире. В сфере газодобычи, где точность учета сырья и оптимизация производственных процессов играют решающую роль, внедрение цифровых технологий в системы учета становится необходимостью. В данной работе рассмотрены предложения по внедрению цифровых технологий и положительные эффекты от них, в систему учета материальных потоков газодобывающего предприятия.*

**Ключевые слова:** *цифровая трансформация, учет материальных потоков, оптимизация, газодобывающая промышленность, цифровизация, большие данные*

На фоне постоянно меняющихся рыночных условий, строгих нормативных требований и растущих ожиданий со стороны потребителей, газодобывающие предприятия вынуждены искать инновационные подходы к управлению своими ресурсами. Цифровая трансформация системы учета материальных потоков в ООО «Газпром добыча Оренбург» позволит добиться сквозной видимости и контроля над своей деятельностью, минимизировать временные и операционные расходы на получение и обработку данных, снизить риск человеческих ошибок, что в совокупности приведет к получению более достоверных данных по добыче углеводородного сырья.

На текущий момент времени в ООО «Газпром добыча Оренбург», основной деятельностью которого является добыча газа, конденсата и нефти, учет материальных потоков осуществляется в службе метрологического обеспечения Газопромыслового управления. Персонал (в количестве четырех человек), отвечающий за учет, получает данные по добыче на автоматизированное рабочее место с установок комплексной подготовки газа, анализирует их, вводят компонентный состав сырого, учитывают сырье поставщиков газа. При проведении работ, связанных с отключением средств измерений в составе узлов измерения, осуществляет учет объёмов газа по средним значениям предыдущих периодов. Для предоставления справок в заинтересованные отделы Общества ежедневно, после закрытия коммерческих суток, вручную осуществляется формирование отчетных справок различных форм (более 15 форм).

Поскольку на данный момент сотрудникам приходится вручную обрабатывать большое количество данных, есть риск возникновения ошибок в расчетах вследствие антропогенного фактора. По этой причине главной задачей работы является ускорение обработки промысловых данных и снижение вероятности появления неточностей при работе с ними, путем интеграции цифровых технологий.

Для анализа больших объемов данных и быстрого ориентирования в них, выявления трендов и скрытых закономерностей предлагается в системе учета материальных потоков использовать Big Data. Данное направление позволит снизить временные затраты на вычисления, которые на данный момент производятся вручную (подсчет среднего значения почасовой добычи; учет сырья поставщиков), уведомлять о вводе некорректных данных, а также сообщать о возможных ошибках, основываясь на аналитике массивов данных.

Для обеспечения доступности, надежности системы учета необходимо внедрить облачное хранилище. Оно позволит улучшить скорость обработки данных, что особенно важно для оперативного принятия решений. Благодаря облачной архитектуре компания может обрабатывать данные в реальном времени и быстро реагировать на изменения.

Положительным результатом цифровой трансформации будет снижение экологического ущерба за счет уменьшения бумажного документооборота, путем сокращения количества необходимых справок до минимума.

На данный момент проведены работы по оценке состояния системы учета материальных потоков в ООО «Газпром добыча Оренбург» и предложены решения по ее цифровой трансформации.

## Литература

1. Temizel, Cenk, Canbaz, Celal Hakan, Palabiyik, Yildiray, Putra, Dike, Asena, Ahmet, Ranjith, Rahul, and Kittiphong Jongkittinarukorn «A Comprehensive Review of Smart/Intelligent Oilfield Technologies and Applications in the Oil and Gas Industry». Paper presented at the SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, March 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/195095-MS>.
2. Тчаро Хоноре, Воробьев Александр Егорович, Воробьев Кирилл Александрович Цифровизация нефтяной промышленности: базовые подходы и обоснование "интеллектуальных" технологий // Вестник евразийской науки. 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-neftyanoy-promyshlennosti-bazovye-podhody-i-obosnovanie-intellektualnyh-tehnologiy>.
3. Воробьев Александр Егорович, Тчаро Хоноре, Воробьев Кирилл Александрович Цифровизация нефтяной промышленности: "интеллектуальный" нефтепромысел // Вестник евразийской науки. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-neftyanoy-promyshlennosti-intellektualnyy-neftepromysel>.
4. Балашова А. Д., Большакова О. И. Влияние цифровизации бизнеса на коэффициент извлечения нефти и повышение эффективности деятельности нефтегазовых компаний // Вестник ГУУ. 2019. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovizatsii-biznesa-na-koeffitsient-izvlecheniya-nefti-i-povyshenie-effektivnosti-deyatelnosti-neftegazovyh-kompaniy>.
5. Абидов Магомед Хабибович, Исмаилова Фатима Нурудиновна ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИКИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ // УЭПС. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-logistiki-v-usloviyah-tsifrovizatsii>.
6. Куклина Е. А., Семкова Д. Н. Цифровые технологии как ключевой инструмент повышения эффективности нефтегазовой отрасли России в современных условиях функционирования // Управленческое консультирование. 2020. №4 (136). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-tehnologii-kak-klyuchevoy-instrument-povysheniya-effektivnosti-neftegazovoy-otrasli-rossii-v-sovremennyh-usloviyah>.
7. Байкова О.В., Громько Е.О. ЭФФЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ // Вестник ГУУ. 2021. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-tsifrovoy-transformatsii-v-neftegazovom-komplekse>.
8. Александрова Татьяна Васильевна Формирование концептуальной модели цифровой трансформации производственных бизнес-процессов на нефтегазовых предприятиях // Вестн. Том. гос. ун-та. Экономика. 2019. №48. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-kontseptualnoy-modeli-tsifrovoy-transformatsii-proizvodstvennyh-biznes-protsessov-na-neftegazovyh-predpriyatiyah>.



## АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА АО «РЕШЕТНЁВ»

Е.К. Субботина, Е.Е. Никитина, С.А. Клинов

Акционерное общество  
«Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»  
(АО «РЕШЕТНЁВ»),  
Железнодорожск, Российская Федерация  
+7 (923) 571-74-77, subbotinaek@iss-reshetnev.ru

### **Аннотация**

*В статье исследуется процесс метрологической экспертизы технической документации.*

*Разработана классификация метрологических несоответствий. Проведен анализ результатов метрологической экспертизы технической документации. Построена диаграмма Парето, направленная на совершенствование качества и надежности производства ракетно-космической техники.*

**Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, метрологическая экспертиза, единство измерений, техническая документация, несоответствия, диаграмма Парето

Метрологическая экспертиза технической документации – это анализ и оценка технических решений в части метрологического обеспечения (технических решений по выбору измеряемых параметров, установлению требований к точности измерений, выбору методов и средств измерений, их метрологическому обслуживанию).

Метрологическая экспертиза технической документации играет ключевую роль в обеспечении качества и надежности производства. Этот процесс включает в себя анализ документации, связанной с измерениями, испытаниями и контролем качества изделий, а также оценку их соответствия установленным стандартам и требованиям.

Основной задачей метрологической экспертизы является установление правильности и достоверности измерений, проводимых на основании технической документации. Для этого необходимо проводить анализ всех установленных процедур измерений, методик испытаний и приемочных испытаний, а также проверять правильность применения измерительных приборов и оборудования.

Конкретные цели метрологической экспертизы определяются назначением и содержанием экспертируемой технической документации. На предприятии АО «РЕШЕТНЁВ» основными целями метрологической экспертизы изделий РКТ являются определение соответствия метрологического обеспечения изделий РКТ установленным техническим требованиям, обеспечение требуемого качества и повышение эффективности эксплуатации изделий РКТ.

Результаты метрологической экспертизы могут быть использованы для организации метрологического обеспечения. Метрологическое обеспечение значительно более широкое понятие, по необходимости включая в себя метрологическую экспертизу и множество объектов (изделий, технических положений, процессы измерений, контроль, поверка средств измерения). В организацию метрологической экспертизы на предприятии необходимо включать мероприятия согласно ОСТ 92-4286.

Проведение МЭ включает в себя ряд этапов, представленных на рисунке 1.

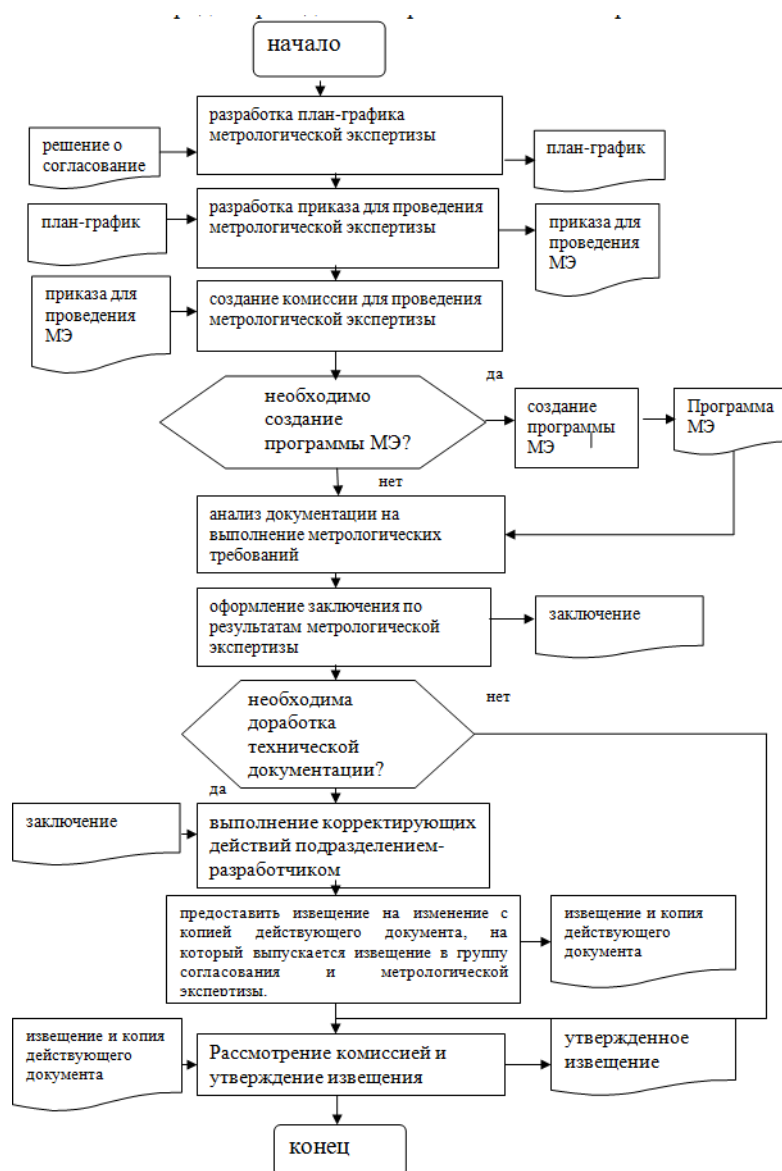


Рис. 1 – Порядок проведения метрологической экспертизы

Один из основных аспектов работы метрологической экспертизы – это проверка соответствия технической документации метрологическим требованиям, который включает в себя проверку правильности указания единиц измерения, допустимых погрешностей, методов контроля и испытаний, а также требований к приборам и оборудованию.

Проведение метрологической экспертизы позволяет выявить возможные ошибки и недочеты в технической документации, что позволяет предотвратить возможные дефекты и деформации изделий. Правильное выполнение метрологической экспертизы способствует повышению качества продукции, улучшению производственных процессов и снижению затрат на производство.

Рассмотрим пример анализа качества метрологической экспертизы технической документации в АО «РЕШЕТНЁВ». Необходимо классифицировать все возможные метрологические несоответствия на несколько групп. Каждая из групп несоответствий рассматривается и рассчитывается по единой методике. Несоответствия, получившие максимальные оценки, и будут являться узкими местами процесса, на устранение которых необходимо обратить особое внимание при разработке мероприятий по совершенствованию.

На основе статистической обработки данных по замечаниям МЭ все метрологические ошибки классифицируются на группы (таблица 1).

Таблица 1 – Группы метрологических несоответствий

№ группы	Наименование несоответствия
1	Не соблюдение требований ГОСТ 8.417, ГОСТ Р 2.105, Постановления Правительства РФ №879 «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации»
2	Неверно записано наименование средств измерений (Несоответствие федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений)
3	Неточности в указании характеристик средств измерений, испытательного оборудования
4	(Несоответствие федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений Неверное применение терминов (несоблюдение РМГ 29)
5	Подбор средств измерений по диапазону и погрешности измерений (соблюдения условия 1:3) (несоблюдение ОТТ 11.1.37.1)
6	Отсутствуют СИ, необходимые при проведении измерений и испытаний (Несоблюдение требований ГОСТ РВ 0008-000)

На основе результатов трех метрологических экспертиз, проведен анализ качества разработанной технической документации с применением диаграммы Парето (таблица 2).

Таблица 2 – Анализ качества

№ группы	Количество несоответствий	Процент несоответствий	Накопленный процент
Группа 1	57	49	49
Группа 2	21	18	67
Группа 3	17	15	82
Группа 4	8	7	88
Группа 5	8	7	95
Группа 6	5	4	100

Анализ проводится по методу Парето. Данный метод позволяет определить, какой вид несоответствия является самым существенным.

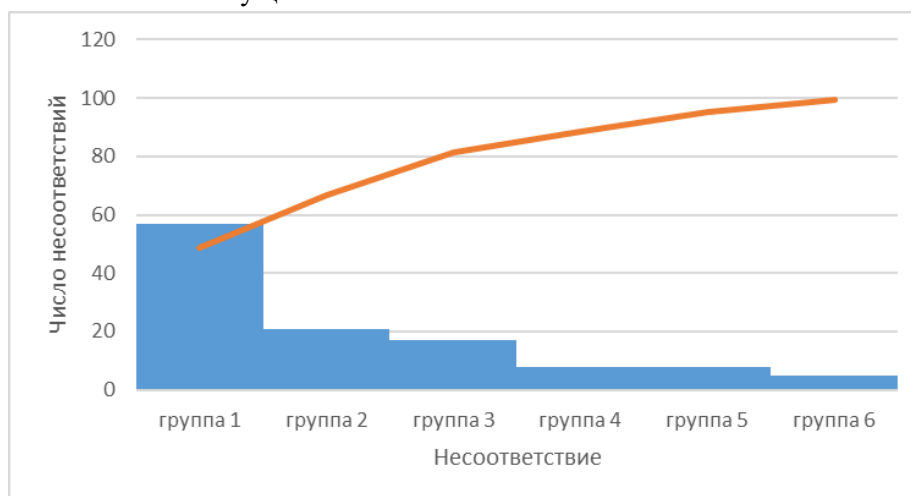


Рис. 2 – Диаграмма Парето

Анализ методом Парето позволил выявить группу, где наблюдается большее количество несоответствий. Таким образом, диаграмма показывает, что большинство несоответствий приходится на группу 1 и группу 2.

В заключение, метрологическая экспертиза технической документации играет важную роль в обеспечении качества и надежности производства. Проведение этого процесса позволяет выявить ошибки и недочеты в документации, что способствует повышению качества продукции и снижению затрат. Для совершенствования метрологической экспертизы необходимо постоянное обновление измерительного оборудования и программного обеспечения, повышение квалификации специалистов и совершенствование методик анализа и проверки технической документации.

#### **Литература**

1. Шкаруба Н.Ж., Левчанова Е.А. Место и роль метрологической службы в системе менеджмента измерений // Международный научный журнал. 2014. № 6. С. 56-61.
2. Лифиц, И.М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия / И.М. Лифиц. – М.: ЮРАЙТ, 2014.- 315с.
3. ОСТ 92-4286-89. Отраслевая система метрологического обеспечения качества. Изделия ракетно-космической техники. Порядок проведения метрологической экспертизы технической документации: Отраслевой стандарт. // Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно- производственное объединение «Техномаш». – 65 с.
4. Минакова, Н. П. Анализ и совершенствование метрологической экспертизы технической документации / Н. П. Минакова // Наука без границ. – 2020. – № 1(41). – С. 36-41.
5. Шанаев, Т. Э. Метрологическая экспертиза технической документации и метрологическое обеспечение продукции на предприятии ООО "Миранда" / Т. Э. Шанаев // Студенческая наука - агропромышленному комплексу : Научные труды студентов Горского Государственного аграрного университета. Том 54 (Часть 1). – Владикавказ : Горский государственный аграрный университет, 2017. – С. 235-237.
6. Сухорукова, И. В. Анализ процесса "метрологическая экспертиза" и пути его совершенствования на ЗАО "КЭАЗ" / И. В. Сухорукова, С. В. Ходыревская // Качество в производственных и социально-экономических системах : сборник научных трудов 3-й Международной научно-технической конференции, Курск, 28–29 апреля 2015 года / Е.В. Павлов (отв. редактор), А.Г. Ивахненко, В.В. Куц, А.А.Горохов Д.Н. Крюков, Е.В. Солнцева. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2015. – С. 167-170.
7. Федеральный закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений».
8. РМГ 63-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.
9. 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 миноюсте РФ 20.11.2020 № 61033).

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ

П.И. Сухинин, В.А. Куликов, Д.В. Афанасенко

ФГУП «Производственное объединение «Маяк»,  
г. Озерск, Российская Федерация  
mayak@po-mayak.ru

## Аннотация

При проведении механических испытаний на ФГУП «ПО «Маяк» необходимо полное выполнение требований Приказа Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 31.10.2013 года № 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» в части установления и нормирования метрологических характеристик. Для целей исполнения приказа на предприятии проведен комплекс работ по обоснованию метрологической точности проводимых испытаний.

**Ключевые слова:** условный предел текучести, временное сопротивление, ударная вязкость, метрологические характеристики, расчет неопределенности

Механические испытания сварных образцов для определения условного предела текучести и временного сопротивления проводили по ГОСТ 6996-66 на электромеханической испытательной машине LFM-100 и универсальной гидравлической испытательной машине Tinius Olsen 1000SL. Ударную вязкость черных и цветных металлов и сплавов определяли по ГОСТ 9454-78 на машине для ударных испытаний (маятниковом копре) РН-450.

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  вычисляли по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (1)$$

где  $P_{0,2}$  – нагрузка, соответствующая остаточному удлинению 0,2 % от расчетной длины образца, Н (кгс);  
 $F_0$  – площадь сечения образца, мм<sup>2</sup>.

Временное сопротивление  $\sigma_b$  вычисляли по формуле

$$\sigma_b = \frac{P_{max}}{F_0}, \quad (2)$$

где  $P_{max}$  – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н (кгс);  
 $F_0$  – площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>.

Ударную вязкость,  $KCU$  вычисляли по формуле

$$KCU = \frac{K}{S_0}, \quad (3)$$

где  $K$  – работа удара, Дж (кгс·м);  
 $S_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, см<sup>2</sup>.

Результаты механических испытаний записали в виде

$$\sigma_{0,2} \pm U_1, \quad (4)$$

$$\sigma_b \pm U_2, \quad (5)$$

$$KCU \pm U_3. \quad (6)$$

Расширенную неопределенность измерений предела текучести и временного сопротивления  $U_{1,2,3}$ , вычисляли по формуле

$$U_{1,2,3} = K \cdot u_{1,2,3}, \quad (7)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от числа неисключенных систематических погрешностей;  
 $u_1$  – суммарная стандартная неопределенность измерений предела текучести сварных образцов, Н/мм<sup>2</sup>;

- $u_2$  – суммарная стандартная неопределенность измерений временного сопротивления сварных образцов, Н/мм<sup>2</sup>;
- $u_3$  – суммарная стандартная неопределенность измерения ударной вязкости образцов, Дж/см<sup>2</sup> (кгс·м/см<sup>2</sup>).

Суммарную стандартную неопределенность  $u_1, u_2, u_3$  вычисляли по формуле

$$u_{1,2,3} = \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{s}\right)^2 \cdot S_{\text{им}}^2 + \left(\frac{F}{s^2}\right)^2 \cdot S_{\text{изм}}^2} \right], \quad (8)$$

- где  $S_{\text{им}}$  – предел допускаемой относительной погрешности измерения силы или работы удара;
- $F$  – значение нагрузки, Н (кгс) / энергия удара Дж (кгс·м);
- $S_{\text{изм}}$  – предел допускаемой погрешности измерительного инструмента.
- $s$  – площадь сечения образца, мм<sup>2</sup>.

Контроль качества результатов испытаний подтверждали периодической поверкой средств измерений, проведением технического обслуживания и т.д.

### Литература

1. ГОСТ 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.12.2011 N 1045-ст дата введения 2013-01-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева».

2. ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР 03.03.66 N 4736 дата введения 1967-01-01 / разработан и внесен Академией наук УССР.

3. ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах: государственный стандарт Союза ССР: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 17.04.78 N 1021 дата введения 1979-01-01 / разработан и внесен Министерством черной металлургии СССР.

4. ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.09.2017 N 1065-ст дата введения 2018-09-01.

5. 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».

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ГЛЮКОМЕТРОВ

**В.В. Сухов**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр  
стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области»  
(ФБУ «Самарский ЦСМ»),  
Самара, Российская Федерация  
vladislavsuhoww@gmail.com

## **Аннотация**

*В данной работе сравниваются метрологические характеристики глюкометров, произведенных в России, Швейцарии и Китае. Также осуществляется подбор наилучшего стандартного образца для периодического контроля характеристик устройства. Измерение уровня глюкозы в крови – главный инструмент диагностики и коррекции лечения всех форм диабета. Это один из самых распространенных медицинских анализов. Отсюда вытекает основное требование к методам и системам для измерений глюкозы: они должны давать достоверные результаты.*

**Ключевые слова:** *глюкометры, метрология, диабет, медицинское оборудование, стандартные образцы*

## **План работы:**

1. Теоретические основы использования глюкометров для контроля диабета
2. Сравнение метрологических характеристик анализаторов.
3. Контроль показаний глюкометров с использованием различных стандартных образцов
4. Личный опыт использования приборов

Цель настоящей работы: сравнить характеристики глюкометров, произведенных в различных странах и подобрать оптимальный стандартный образец для периодического контроля показаний СИ.

## **Аналитические параметры устройств**

Главный аналитический параметр любой измерительной системы – **точность**. Формальное определение точности звучит так: «Точность – это степень близости результата измерения какой-либо величины к истинному значению этой величины». Точность зависит от многих факторов, в частности от свойств измерительной системы и условий измерения. Точность складывается из двух компонентов: **правильности и прецизионности**. Что такое правильность, понять легко: это степень близости среднего значения результатов нескольких измерений какой-либо величины к истинному значению этой величины. В метрологии и лабораторной медицине под прецизионностью понимают степень близости друг к другу результатов нескольких измерений, выполненных с помощью одной и той же измерительной системы в одной и той же пробе.

Правильность системы измерения глюкозы – это степень близости среднего значения результатов нескольких измерений концентрации глюкозы в одной пробе, выполненных с помощью этой системы, к опорному значению концентрации глюкозы в пробе. В этом определении слово «истинное» заменено на «опорное». Дело в том, что измерить истинное значение ни одной физической величины, в том числе и концентрации глюкозы, невозможно, поскольку не существует средств измерений, обладающих абсолютной точностью. И поэтому за истинное значение концентрации глюкозы принимают некоторое опорное (референтное) значение в каком-то эталонном образце. Теоретически эталоном для измерений глюкозы мог бы служить образец цельной крови с известной концентрацией глюкозы. Однако это невозможно по многим причинам, основные из них:

- 1) даже при кратковременном хранении цельной крови концентрация глюкозы довольно быстро снижается за счет гликолиза в эритроцитах;
- 2) цельную кровь нельзя замораживать для длительного хранения, поскольку при этом эритроциты разрушаются, проба гемолизируется и становится непригодной для анализа;
- 3) невозможно получить один эталонный образец крови в объеме, достаточном для оценки точности многих сотен тысяч систем для измерения глюкозы.

### **Практическая часть работы**

Были проведены практические испытания с использованием ГСО и капиллярной крови глюкометров «Сателлит Онлайн» (Россия), «Easy Touch G» (Тайвань), «Contour TS» (Швейцария). Получены массивы данных по капиллярной крови и стандартным образцам.

### **Выводы**

По результатам проделанной работы можно сравнить характеристики глюкометров, произведенных в разных странах, рассмотреть принципы их работы, определить лучший стандартный образец для периодического контроля показаний глюкометра.

### **Литература**

1. Бабкина И.В., Корнилова Т.Е., Авдонушко А.И. Глюкометрия в оценке эффективности лечения сахарного диабета. // Сахарный диабет. – 2012. – № 1. – С. 83-86.
2. Воронцова Л.И., Шестова Е.В., Протопопова Н.В. и др. Анализ показателей метрологической надежности современных глюкометров. // Сахарный диабет. – 2015. – № 2 (18). – С. 54-58.
3. Громова О.А., Куликова Э.О., Волкова О.А., Кононова Я.В. Сравнительный анализ точности измерений глюкометров различных производителей. // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 7. – С. 120-124.
4. Дмитриева Т.Г., Матвеева И.Г., Горшунов С.Н., Маякова О.А. Метрологическое обеспечение контроля качества измерений глюкометров. // Биомедицинская техника. – 2011. – № 2 (46). – С. 24-27.
5. Зубов В.В., Чихайлов А.М., Красильникова Е.И., Решетницкий В.В. Сравнительный анализ точности и метрологической надежности глюкометров разных моделей. // Метрология и измерительная техника. – 2016. – № 9. – С. 48-53.
6. Козлова Л.М., Алексеев В.В., Хачатрян В.Г., Власов В.С. Сопоставительный анализ метрологических характеристик различных глюкометров. // Измерительная техника. – 2019. – № 5. – С. 10-15.
7. Лебедев В.В., Суходолецкий В.А., Воронцова С.Р. Исследование точности измерений глюкометров в соответствии с требованиями метрологической нормативной документации. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 137-143.
8. Никитин С.А., Карпов П.В., Бухтияров Н.Ф. и др. Сравнительный анализ глюкометров последнего поколения на российском рынке. // Медицинская техника. – 2018. – № 6. – С. 78-82.
9. Орлова О.В., Петров Д.О., Лунёв Б.В. и др. Оценка метрологических показателей современных глюкометров. // Здоровоохранение. – 2014. – Т. 56. – № 2. – С. 93-99.
10. Ушакова В.Е., Евдокименко В.Н. Анализ эффективности использования глюкометров в клинической практике. // Теоретическая и практическая медицина. – 2020. – № 2 (18). – С. 238-243.



# АТТЕСТАЦИЯ И АПРОБАЦИЯ ОБРАЗЦОВ АКТИВНОСТИ АМЕРИЦИЯ-241 ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Н.В. Сычева, Е.В. Широкова, С.С. Широков,  
Е.В. Комарова, М.А. Илюхина, В.Б. Горшков

Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»  
(АО «ВНИИНМ»),  
Москва, Российская Федерация  
NVySycheva@bochvar.ru

## **Аннотация**

*Были изготовлены образцы активности америция-241 на основе пальмитиновой кислоты, имитирующие объекты окружающей среды. Проведена аттестация изготовленных объектов с учетом требований по обеспечению единства измерений в области использования атомной энергии, а также произведена их апробация путем проведения выборочного контроля качества измерений и межлабораторных сличительных испытаний*

**Ключевые слова:** стандартные образцы, аттестованные объекты, аттестация стандартных образцов, однородность, контроль качества измерений, межлабораторные сличительные испытания, апробация, экологический мониторинг, америций-241

Метрологическое обеспечение измерений, проводимых в рамках радиационного мониторинга окружающей среды, подразумевает оснащенность стандартными образцами (СО)/ аттестованными объектами (АО), использование которых позволяет снизить риски получения недостоверной измерительной информации [1]. При этом зачастую встает вопрос о требованиях, которые должны предъявляться к используемому СО или АО, одним из которых можно выделить требование о прослеживаемости свойств стандартного образца или аттестованного объекта к свойствам реального измеряемого объекта (например, радионуклидный состав, морфология, геометрия).

С целью обеспечения измерений радиационного контроля стандартными образцами (аттестованными объектами), которые максимально воспроизводят характеристики анализируемых объектов, были проведены работы по изготовлению рабочих тел (РТ) АО на основе пальмитиновой кислоты [2, 3], в частности и РТ АО, содержащих америций-241. Использование пальмитиновой кислоты позволяет имитировать водные среды, некоторые типы почв (номинальные значения плотности образцов, определенные с погрешностью  $\pm 1\%$  – от 0,37 до 1,0 г/см<sup>3</sup>).

Изготовление РТ АО, содержащего америций-241, было произведено таким образом, чтобы внедряемый радионуклид равномерно распределялся по объему искусственной матрицы (пальмитиновая кислота). С целью оценки характеристики однородности рабочие тела, изготовленные двумя способами, были исследованы с использованием гамма-спектрометрии в соответствии с разделом 5 ГОСТ 8.531 [4] по алгоритму для дисперсных материалов. Полученные значения характеристики однородности рабочих тел АО не превышали 0,073 отн.ед. (см. таблицу 1).

Рабочие тела АО были спрессованы в виде равноплотных таблеток диаметром  $(20,00 \pm 0,10)$  мм и высотой  $(7,00 \pm 0,10)$  мм с последующим их размещением в герметичные капсулы из полиметилметакрилата, т.е. изготавливаемые образцы являются закрытыми источниками излучения.

Оценка метрологических характеристик (МХ) была проведена расчетным способом по методу контролируемого изготовления с учетом требований СТК-71 [5]. Изготовленные АО были апробованы при выборочном контроле качества измерений в рамках проведения оценки состояния измерений в соответствии с СТО 95 12074 [6] и при проведении межлабораторного сличительного эксперимента. Результаты оценки МХ АО приведены в таблице 1, результаты их апробации – в таблице 2. Расчет норматива точности при проведении выборочного контроля качества измерений проводился в соответствии с 5.12 ГОСТ Р 8.984 [7].

Таблица 1 – Аттестованные характеристики АО активности америция-241

№ АО	Способ изготовления	Значение характеристики однородности, $S_n$ , отн.ед.	Активность америция-241 в экземпляре АО, А, Бк	Доверительные границы погрешности активности америция-241, $\pm\Delta$ , Бк
1	Способ № 1	0,073	118,2	10,0
2	Способ № 2	0,049	117	7

Таблица 2 – Результаты апробации АО активности америция-241

№ АО	Результаты измерений от лаборатории 1			Результаты измерений от лаборатории 2		
	$(A_{изм} \pm \Delta)$ , Бк	$ A - A_{изм} $ , Бк	Норматив точности К, Бк; вывод о его выполнении	$(A_{изм} \pm \Delta)$ , Бк	$ A - A_{изм} $ , Бк	Норматив точности К, Бк; вывод о его выполнении
1	117,8 $\pm$ 2,0	0,4	10; выполнен	115 $\pm$ 13	3,2	16; выполнен
2	113,5 $\pm$ 2,5	3,5	7; выполнен	107 $\pm$ 12	10	13; выполнен

Выполнение нормативов точности свидетельствует об удовлетворительных результатах проведенного выборочного контроля.

В дальнейшем планируется организация и проведение межлабораторных сличительных испытаний для организаций Госкорпорации «Росатом», по результатам которых при необходимости возможно уточнение аттестованных характеристик АО и утверждение типа.

#### Литература

1. ОСТ 95 10430-2003 Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок проведения аттестации методик выполнения измерений, //М.: ФГУП «ВНИИИМ». – М., 2003. – 22 с.
2. 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// II Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ» и X Международный конкурс «Лучший молодой метролог КООМЕТ — 2023». Сборник тезисов докладов. — ООО «Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2023. —С.371-374.
3. Н.В. Сычева, Е.В. Широкова, Е.В. Комарова, М.А. Илюхина, В.Б. Горшков Перспективы использования стандартных образцов активности радионуклидов на основе пальмитиновой кислоты в отраслевой системе мониторинга радиационной обстановки объектов окружающей среды // Тезисы докладов 10-й отраслевой научно-практической конференции «Обеспечение единства измерений в области использования атомной энергии», 23-25 октября 2023 г. – М. АО «Специализированный научно-исследовательский институт приборостроения» 2023. —С.37-38.
4. ГОСТ 8.531-2002 ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности, ФГУП УНИИМ. М. 2002. – 11 с.
5. СТК-71-2017 Аттестованные объекты. Классификация и алгоритмы их аттестации, //М.: АО «ВНИИИМ». – М., 2017. - 81 с.
6. СТО 95 12074 -2021 «Оценка состояния измерений. Общие требования»
7. ГОСТ Р 8.984-2019 ГСИ. Внутренний контроль качества измерений в области использования атомной энергии, //М.: Стандартинформ. – М., 2020. - 35 с.

# ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ СОВОКУПНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В.В. Сычев, И.Ю. Шмигельский

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»  
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
v.v.sychev@vniim.ru

## **Аннотация**

*В докладе приведен обзор областей применения средств измерений и рабочих эталонов применяющих метод совокупных измерений силы. Рассматриваются особенности применения метода совокупных измерений в целях передачи единицы силы, а именно факторы, влияющие на результат измерений, возникающие вследствие отклонения векторов сил, действующих на динамометры, от осей чувствительности динамометров.*

**Ключевые слова:** *совокупные измерения, эталон, весы, динамометр, силовоспроизводящие машины*

В соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений силы, утверждённой приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2498 от 22 октября 2019 года, государственный первичный эталон единицы силы ГЭТ 32-2011 включает в себя четыре установки, которые непосредственно создают нагрузку силой тяжести. Эти установки воспроизводят единицу силы в диапазоне от 10 Н до 1 МН. Однако промышленность нуждается также в обеспечении единства измерений силы в диапазоне свыше 1 МН.

В настоящее время Государственная поверочная схема предусматривает передачу единицы силы в диапазоне от 1 до 9 МН методом совокупных измерений. Расширенная неопределённость этого метода составляет от 0,006 %. В то же время передача единицы силы в диапазоне до 1 МН осуществляется методом прямых измерений, расширенная неопределённость которого составляет от 0,003 %. Метод совокупных измерений представляет собой применение группы параллельно установленных динамометров, нагружаемых одновременно. Однако точность метода совокупных измерений может в будущем ограничить производителей в стремлении уменьшить погрешность средств измерений силы в диапазоне свыше 1 МН до уровня наиболее точных средств измерений в диапазоне до 1 МН.

В ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» для передачи единицы силы свыше 1 МН применяются динамометры, конструктивно исполненные согласно патенту [1]. Такая конструкция позволяет минимизировать влияние отклонения векторов силы, действующих на динамометры, на результат измерений. Для передачи единицы силы в диапазоне до 9 МН применяются три такие группы. Несмотря на применение конструкции [1], экспериментальные исследования группы динамометров, проведенные во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», показывают, что добиться одинаковых показаний всех динамометров группы на ступени нагружения принципиально невозможно ввиду не абсолютно жестких силопередающих проставок, применяемых для распределения нагрузки между динамометрами.

Факт того, что силопередающие проставки не являются абсолютно жесткими телами, а также разность жесткостей чувствительных элементов динамометров приводит к появлению факторов, влияющих на результат измерений, связанных с уменьшением нагрузки на ось чувствительности динамометра вследствие появления боковой составляющей и отклонением нагрузки на динамометр в группе от опорного значения нагрузки, на которой производилось определение коэффициента чувствительности  $c_i$  в  $кг/мВ/в$  динамометра. В докладе продемонстрировано описание и оценка влияния данных факторов, представлен вывод о дальнейших исследованиях, необходимых для полноценного анализа факторов, а также о требованиях, предъявляемых к группе динамометров, соблюдение которых позволяет повысить точность измерений, проводимых совокупным методом.

## Литература

1. Пат. 121570 Российская Федерация, МПК G01L 25/00. Устройство для передачи размера единицы силы, воспроизводимой эталонной силовоспроизводящей установкой / А.Ф. Остривной, М.В. Сенянский, А.С. Дервянко, Ю.А. Ханов; заявитель и патентообладатель ЗАО «ВИК «Тензо-М». - № 2012127894/28; заявл. 05.07.2012; опубл. 27.10.12, Бюл. № 30.
2. Шмигельский И. Ю., Андреев Д. В., Остривной А. Ф., Сычев В. В. Требования к эталонам единицы силы, применяемым для поверки большегрузных весов // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. № 18. С. 5–16.
3. ГОСТ Р 55223-2012, «Динамометры. Общие метрологические и технические требования». – Введ. 27.11.2012, Москва, Стандартинформ, 2014.
4. ГОСТ Р 54500.3-2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения». – Введ. 01.10.2012, Москва, Стандартинформ, 2012.
5. ГОСТ Р 54500.3-2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения». – Введ. 01.10.2012, Москва, Стандартинформ, 2017.
6. Потапова С.Ю., Ибодуллаева М.А., Скобелева Л.А. Анализ методов измерения массы // Наука без границ. 2019. № 12(40). С. 50-54.
7. Коллер А.А., Каленицкий А.И., Черепанов В.Я. Методы определения зависимости показаний силоизмерительных устройств от вектора приложения нагрузки // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 2. № 4. С. 141-145.
8. Коллер А.А. Погрешности силоизмерительных устройств, обусловленные несовершенством силовоспроизводящих систем // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2011. Т. 5. № 2. С. 256-260.
9. Шмигельский И.Ю. Метрологическое обеспечение большегрузных весов с применением эталонов силы // сборник материалов конференции «Международная научно-техническая конференция «Метрология-2024»». 2024.С. 343-347.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИНЫ НЕЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НЕМАГНИТНЫХ ОСНОВАНИЯХ

М.В. Сясько

Санкт-Петербургский Государственный университет,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для измерения толщины  $T_n$  неэлектропроводящего покрытия на немагнитном электропроводящем металлическом основании в настоящее время регламентирован амплитудный вихретоковый метод неразрушающего контроля [1]. Однако, при использовании указанного метода, на величину неопределенности измерений влияет ряд мешающих параметров. Практика показывает, что электромагнитные мешающие параметры, в частности удельная электропроводность  $\sigma$  и её девиация по поверхности основания и/или от изделия к изделию, вносят наибольший вклад в неопределенность измерений [2]. При изменении  $\sigma$  возникает мультипликативное искажение результатов измерений, которое может быть компенсировано путем проведения калибровки с использованием образцовых оснований и имитаторов толщины покрытия – пленок из полиэтилентерефталата. В этом случае компенсация искажения показаний будет наблюдаться в небольшом диапазоне  $d$  возле точки калибровки. Однако, часто встречаются ситуации, в которых такой возможности нет. Для подавления влияния  $\sigma$  на неопределенность измерений был использован вихретоковый измерительный преобразователь, реализующий амплитудно-фазовый метод измерения, методика двухпараметрической ( $T_n, \sigma$ ) градуировки и алгоритм вычисления  $T_n$  при измерениях, обеспечивающий подавление влияния  $\sigma$ .

Для обеспечения единства измерений предложены основные положения метрологического обеспечения, включающие:

- проект стандарта «Неэлектропроводящие покрытия на металлических немагнитных основаниях. Измерение толщины покрытия. Амплитудно-фазовый метод неразрушающего контроля», описывающий принцип измерения, параметры, влияющие на неопределенность измерений, калибровку и настройку, процедуру измерения и оценки результатов (неопределенности измерений) и прецизионности;

- описание эксплуатационных требований для толщиномеров, реализующих амплитудно-фазовый метод;

- описание и состав комплекта образцов и мер толщины покрытий для исследования и подтверждения параметров технической спецификации толщиномеров;

- проект локальной поверочной схемы для средств измерения неэлектропроводящих покрытий на металлических немагнитных основаниях;

- проект методики поверки толщиномеров.

Приведены основные результаты исследования разработанных технических средств и методик, изложенных в указанных документах.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В БАЗЕ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

А.И. Титаренко

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром добыча Надым»  
(ООО «Газпром добыча Надым»),  
Надым, Российская Федерация  
Titarenko.AIv@nadym-dobycha.gazprom.ru

## **Аннотация**

*В статье рассмотрены вопросы обеспечения достоверности и сохранности информации в базе данных автоматизированной информационной системы, эксплуатируемой в метрологической службе предприятия, аккредитованного на право поверки средств измерений, с учетом практического опыта эксплуатации*

**Ключевые слова:** автоматизация, достоверность информации, информационные системы, база данных, целостность, средство измерений, поверка, аккредитация, метрологическое обеспечение

Одним из условий эффективного функционирования автоматизированных информационных систем (далее – АИС) в метрологическом обеспечении предприятия является обеспечение необходимого уровня достоверности обрабатываемых и хранимых данных, применяемых при построении статистической и аналитической отчетности, и на основе которых принимаются управленческие решения.

В случае с метрологической службой предприятия, аккредитованной на право поверки средств измерений [1] – это обеспечение достоверности и сохранности данных об эксплуатируемых и поверяемых средствах измерений (далее – СИ), а также средствах поверки [2]:

- входные данные (тип СИ, метрологические характеристики СИ (далее – МХ) и т.п.);
- результаты поверки СИ.

Под достоверностью информации баз данных (далее – БД) понимается соответствие хранящейся в них информации об объектах истинному описанию в определенный момент времени.

База данных, состоящая из учетных карточек СИ, должна правильно отображать текущее состояние на каждом этапе жизненного цикла оборудования [3]. Ввод любого недостоверного значения фактически нарушает это требование – БД переходит в нецелостное состояние, и, как следствие, документы, сформированные из БД, будут недостоверными.

Понятие целостности связано с такими понятиями как правильность (точность) и согласованность данных. Целостность определяет соответствие имеющейся в БД информации её внутренней логике, структуре и всем явно заданным правилам. Каждое правило, налагающее некоторое ограничение на возможное состояние БД, называется ограничением целостности. Границы целостности в БД АИС метрологической службы определены рядом требований:

- справочники с постоянными значениями (визуально отображенные в интерфейсе АИС) – Госреестр СИ, корпоративный реестр, коды МВЗ и т.д.;
- математические (МХ СИ, диапазоны измерений, единицы СИ и др.);
- логические – наименование типа, тип СИ в связке с № описания типа, зарегистрированным в ФИФ ОЕИ [4];
- функционально-ролевые – внесение данных определено ролью в соответствии с полномочиями роли.

Целостность БД не гарантирует достоверности (истинности) содержащейся в ней информации, но обеспечивает правдоподобность этой информации, отвергая заведомо невероятные, невозможные значения [5].

Формирование основной части БД осуществляется за счет внесения следующей информации:

- входные данные (информация, которую вносит в базу эксплуатирующее подразделение).
- данные, находящиеся в справочниках БД АС (информация, предоставляемая производителем АС, в качестве исходных постоянных - справочники, сформированные разработчиком).
- задокументированная информация (сведения о проведении поверки СИ).

В тоже время, следует отметить, что эта информация вносится пользователями, в зависимости от функциональной роли (рисунок 1).

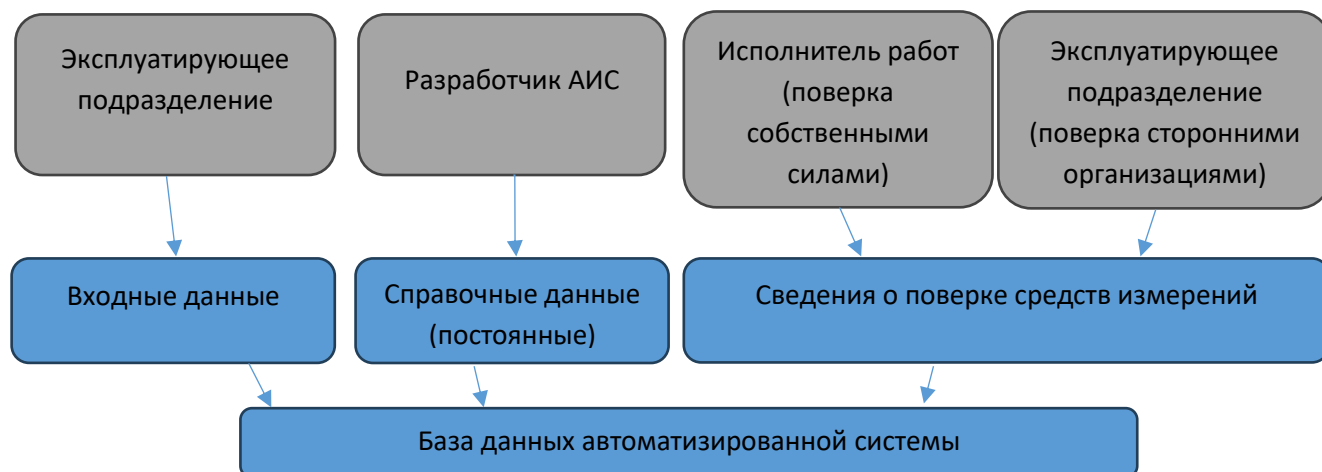


Рис. 1 – Формирование БД АИС

Обеспечение достоверности состоит в предотвращении возможности появления в БД недопустимых значений данных из-за ошибки при их вводе, корректировке или удалении, а также из-за неправильной последовательности действий пользователя.

С этой целью одним из вариантов проверки информации, внесенной эксплуатирующим подразделением, является внесение данных о поверенных СИ [6] исполнителем работ, посредством введения в АИС модуля «Планирование». Данный модуль позволяет не только автоматически формировать графики и заявки на выполнение работ, но и проверять достоверность информации, и осуществлять коррекцию вводом истинной информации в момент, когда СИ попадает к поверителю. Таким образом можно обеспечить достоверность такого рода данных:

- тип, модификация, № в Госреестре;
- год выпуска СИ;
- МХ СИ;
- физического существования СИ;
- и др.

Данный вариант подтверждения достоверности обеспечивает истинность данных, так как информация проверяется неоднократно, при этом проверка осуществляется пользователем в момент отправки СИ в поверку [7], ответственным за технический учет – при передаче СИ, приемщиком – при приеме в соответствии с заявкой, поверителем при выполнении работ по поверке СИ. Этот способ эффективен, если поверка осуществляется собственными силами и доступ к БД есть у всех функционально заинтересованных лиц.

В случае, когда поверка осуществляется сторонними организациями, возникает необходимость поиска внешнего источника для определения достоверности данных в АИС. Таким образом, в целях расширения функционала АИС, целесообразно предусмотреть возможность ежедневно получать сведения о результатах поверки СИ из общедоступных данных о поверках СИ из ФГИС «АРШИН» [8] в АИС в автоматическом режиме (при наличии доступа сервера, на котором установлен АИС, через интернет к внешнему публичному интерфейсу ФГИС «АРШИН»).

Программные методы повышения достоверности обработки информации состоят в том, что при составлении процедур обработки данных в них предусматривают дополнительные операции, имеющие математическую или логическую связь с алгоритмом обработки данных. Эффективность программных методов гораздо выше, так как сравнение результатов дополнительных операций с результатами обработки данных даст возможность установить с определенной вероятностью наличие или отсутствие ошибок в базе учетных карточек СИ.

Достоверность при обработке данных достигается путем контроля и выявления ошибок в исходных и выводимых данных, их локализации и исправления. Эффективное обеспечение достоверности – это снижение доли ошибок до допустимого уровня путем прохождения метрологического контроля посредством модуля «Планирование» (график/заявка/работы/внесение данных о поверенных СИ) и сравнение сведений с базой данных ФГИС «АРШИН».

## Литература

1. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».
2. 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 оснащённости, представляемых аккредитованными лицами в Федеральную службу по аккредитации, порядке и сроках представления аккредитованными лицами таких сведений в Федеральную службу по аккредитации».
3. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».
4. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28 августа 2020 г. №2906
5. Кузнецов С. Проблема качества БД // Издательство «Открытые системы». Журнал «Открытые системы», 2019. №06, Т.15, N3, С 10-12.
6. 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».
7. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
8. Руководство пользователя внешнего портала/ ФГИС «АРШИН»  
<https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛАВОНОИДОВ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Н.А. Толочилин

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области»  
(ФБУ «Самарский ЦСМ»),  
Самара, Российская Федерация  
nitol98@mail.ru

## Аннотация

Предложена методика определения содержания флавоноидов в лекарственном растительном сырье (ЛРС) с целью исследования возможности его применения в качестве сырья для производства новых типов стандартных образцов, востребованных в фармакологической науке.

**Ключевые слова:** стандартные образцы, флавоноиды, капиллярный электрофорез, рутин, лютеолин, цинарозид, лекарственное растительное сырье

Флавоноиды – это многообразный класс природных фенольных соединений, обладающий широтой терапевтического действия, в том числе и противораковой активностью [1, 2].

Согласно нормативным документам, при стандартизации и оценке фармакологического действия многих видов ЛРС необходима информация о содержании в них индивидуальных флавоноидов [3]. Это формирует потребность в утвержденных типах стандартных образцов.

В Государственной Фармакопее РФ существуют фармакологические статьи для выделения флавоноидов, однако, они отличаются высокой трудоемкостью и требуют дорогостоящего оборудования для подтверждения качественных характеристик получаемых соединений (ЯМР-анализаторов, масс-спектрометров). Кроме того, среди утвержденных типов стандартных образцов присутствуют лишь два вида флавоноидов – рутин (ГСО 10267-2013) и кверцетин (ГСО 10266-2013) – что не может полностью удовлетворить потребности постоянно развивающейся фармакологической промышленности в условиях импортозамещения.

Задача: выделение чистых флавоноидов с целью их использования в качестве стандартных образцов для идентификации и стандартизации ЛРС и фитопрепаратов.

Для решения этой проблемы, на базе кафедры физической химии и хроматографии Самарского университета им. ак. С.П. Королева, совместно с кафедрой фармакогнозии с ботаникой и основами фитотерапии Самарского государственного медицинского университета, были начаты исследования с целью создания и утверждения типа новых стандартных образцов флавоноидов. Для достижения этой цели в первую очередь необходимо создание методики эффективного определения состава флавоноидов ЛРС для выбора оптимальной сырьевой базы ЛРС при производстве.

В качестве объектов исследования были выбраны Melissa лекарственная (*Melissa officinalis* L.) и котовник кошачий (*Nepeta catária* L.). В качестве стандартов применяли образцы флавоноидов (рис. 1), полученные по методикам, разработанным в СамГМУ и зарегистрированным в виде фармакологических статей: цинарозид (ФС 42-3150-95), рутин (ФС 42-2508-87), лютеолин (ВФС 42-1709-87).

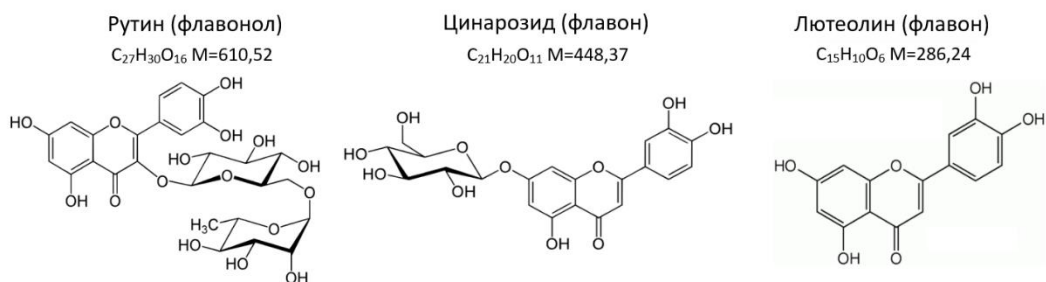


Рис. 1. Структурные формулы исследованных флавоноидов

Исследование проводилось методом капиллярного электрофореза на системе «Капель-105М» (номер в Госреестре СИ 17727-11) со спектрофотометрическим детектором.

В результате проведенного исследования было определено содержание рутина, лютеолина и цинарозида в ЛРС Melissa лекарственной и котовника кошачьего (табл. 1).

Таблица 1. Результаты определения флавоноидов в ЛРС.

Флавоноид	Мелисса лекарственная		Котовник кошачий	
	экстракт, мг/л	сух. сырье, мг/г	экстракт, мг/л	сух. сырье, мг/г
<i>Рутин</i>	7,013	0,351	4,351	0,218
<i>Лютеолин</i>	0,223	0,011	0,540	0,027
<i>Цинарозид</i>	не обнаружен	не обнаружен	0,513	0,026

Полученные результаты согласуются с литературными данными [4-8], что говорит об эффективности методики. Это позволяет применять данный метод для дальнейшего изучения различных видов ЛРС в целях создания сырьевой базы, которую можно использовать для производства новых видов стандартных образцов.

Аналогичным образом продолжают исследования следующих растений: змееголовника молдавского, лаванды узколистной, иссопа лекарственного, совместно с идентификацией других видов флавоноидов (апигенина, катехина и др.).

#### Литература

[1] Фармакогнозия: учебник для студентов фармацевтических вузов (факультетов)/ В.А. Куркин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: ООО «Офорт»; ГОУВПО «СамГМУ Росздрава», 2007. – 1239 с.

[2] Зверев Я.Ф. Противоопухолевая активность флавоноидов // Бюллетень сибирской медицины. 2019. №2.

[3] Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Том IV, Министерство здравоохранения Российской Федерации (2018). URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>.

[4] Gabriela Petrisor, Ludmila Motelica, Luminita Narcisa Craciun, Ovidiu Cristian Oprea, Denisa Ficai, Anton Ficai *Melissa officinalis*: Composition, Pharmacological Effects and Derived Release Systems—A Review // International Journal of Molecular Sciences 2022. 23(7):3591.

[5] Гребенникова О.А., Палий А.Е., Логвиненко Л.А. Биологически активные вещества мелиссы лекарственной // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2013. №1 (65).

[6] Agnieszka Arceusz, Marek Wesolowski Quality consistency evaluation of *Melissa officinalis* L. commercial herbs by HPLC fingerprint and quantitation of selected phenolic acids // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 83 (2013) 215– 220.

[7] Abdellatif, F., Begaa, S., Messaoudi, M. et al. HPLC–DAD Analysis, Antimicrobial and Antioxidant Properties of Aromatic Herb *Melissa officinalis* L., Aerial Parts Extracts // Food Anal. Methods 2022.

[8] Кащенко Н.И. Оленников Д.Н. Химический профиль и биологическая активность флавоноидов и фенилпропаноидов *Nepeta cataria* L. (Lamiaceae), интродуцированного в Восточной Сибири. // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 25-32.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВАКУУМНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ ФБУ «УРАЛТЕСТ»

**А.В. Трапезников**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Свердловской области»  
(ФБУ «Уралтест»),  
Екатеринбург, Российская Федерация,  
4601@uraltest.ru

## **Аннотация**

*В докладе рассматриваются подходы к переходу более совершенной вакуумной установки относительно прошлого поколения и её возможная дальнейшая модернизация, и внесение как единичный экземпляр в реестр СИ.*

**Ключевые слова:** вакуумметрическая установка, эталон, государственная поверочная схема

Развитие вакуумметрических установок берёт свое начало в XVII веке. Э. Торричелли измерял атмосферное давление, а О.Герике изобрел механический поршневой насос. С этого времени началась эра вакуума и вакуумметрических установок. За небольшой период времени изобрели механические, криосорбционные, молекулярные, диффузионные, насосы.

Развитие вакуумных насосов позволило изготавливать вакуумные установки, включающие в себя несколько многоступенчатых вакуумных насосов, измерительную вакуумную камеру и эталонные вакуумметры.

В 90-х годах в ФБУ «УРАЛТЕСТ» оснастился вакуумметрической установкой «УВО-2» с конденсирующей (азотной) ловушкой, необходимой для улавливания паров масла, которые попадают в измерительную камеру установки из паромасляного диффузионного насоса и масляного механического насосов.

Установка включает в себя эталонный вакуумметр 2 разряда ВДТО-3 по ГОСТ 8107-81, форвакуумный механический насос и последовательного соединенного с ним паромасляный насос с вакуумной камерой. Для получения высокого вакуума—предварительно создается низкий вакуум форвакуумным насосом, а затем включается паромасляный насос с последующим резким охлаждением вакуумной камеры жидким азотом конденсирующей ловушкой.

Основными и очевидными недостатком такой установки является:

- наличие паромасляного насоса (возможно «залетание» паров масел в вакуумную камеру);
- постоянный расход жидкого азота;
- долгое время выхода на высокий вакуум;
- ограниченный диапазон измерений.

Вышеуказанные недостатки стали отправной точкой для оснащения ФБУ «УРАЛТЕСТ» современной вакуумметрической установкой в которой полностью отсутствуют масляные насосы. Так были установлены требования к вакуумным насосам системы создания и поддержания давления новой установки и предложен следующий состав:

- в качестве первой ступени системы создания и поддержания давления в измерительной вакуумной камере новой установки выбран сухой спиральный насос, которые обладает такими преимуществами, как быстро действия 200 л /мин, остаточное давление 1 Па;

- в качестве второй ступени системы создания и поддержания давления в измерительной вакуумной камере новой установки выбран сухой турбомолекулярный насос, которые обладает такими преимуществами, как автоматическое управление скоростью вращения, предельное остаточное давление  $5 \cdot 10^{-10}$  Па;

Кроме того, в новой установке реализованы следующие новшества, по сравнению с вакуумметрическими установками предыдущего поколения:

1. Применяется прогрев вакуумной камеры в автоматическом режиме согласно заданной ранее программе.

2. В качестве эталонов используется не один, а несколько эталонных вакуумметров:

- вакуумметр деформационно-термопарный ВДТО-3 для диапазона давлений от  $10^5$  до  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па;

- вакуумметр ионизационный АIGX для диапазона давлений от 6,6 до  $6,6 \cdot 10^{-8}$  Па.

Такой состава установки позволяет производить выход на более высокий и сверхвысокий вакуум в разы быстрее, чем установка с конденсирующей (азотной) ловушкой.

Дальнейшее совершенствование установки предполагает автоматизацию ряда процедур поверки и калибровки, повышение точности установки до уровня эталона 1-го разряда. Что позволит применять установку для поверки средств измерений давления и вакуума согласно различных поверочных схем абсолютного давления.

Завершение работ по совершенствованию системы метрологического обеспечения в области вакуумных измерений планируется в 2029 году.

#### **Литература**

1. Государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-1}$ - $1 \cdot 10^7$  Па.

2. ГОСТ 8.107-81 Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерения абсолютного давления в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^3$  Па.

3. В.И.Иванов Вакуумная техника. Учебное пособие. Университет ИТМО. 2016. 128с

4. Я. Грошковский Техника высокого вакуума. Пер.с польского Издательство «Мир» 1975. 622с.

5. Л.Н. Розанов Вакуумная техника. 2007. 400 с

6. В.В.Кузьмин Вакуумные измерения. 1992 30с.

7. М.Х. Хабляян Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Ч2. Вакуумные насосы:учебное пособие. 2016. 300с

8. Труды 29-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Вакуумная техника и технологии-2022» / Исследование отечественного первичного измерительного преобразователя вязкостного вакуумметра. Р.Э. Кувандыков, Р.А. Тетерук, А.А. Чернышенко. 41 с.

## МСИ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

**В.Ю. Третьякова, Л.Ю. Момотова, С.Ю. Малахова, О.Б. Пономарева**

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  
*msi@uniim.ru*

### **Аннотация**

*Повышение качества измерений является инструментом для повышения достоверности информации о составе и свойствах продукции и объектов. Одним из существенных элементов повышения точности и достоверности результатов измерений является участие испытательных лабораторий (ИЛ) в межлабораторных сличительных испытаниях (МСИ).*

**Ключевые слова:** *межлабораторные сличительные испытания, провайдер МСИ, методика измерений (МИ), контроль качества измерений, проверка квалификации, атмосферный воздух (АВ), воздух рабочей зоны (ВРЗ), промышленные выбросы в атмосферу (ПВ)*

ИЛ должна обеспечивать точность и достоверность результатов измерений. С целью повышения доверия к результатам измерений, уменьшения риска получения недостоверных результатов измерений в ИЛ проводят внутренний и внешний контроль качества результатов измерений. Основным методом внешнего контроля является участие ИЛ в МСИ [1]. МСИ проводят аккредитованные Провайдеры МСИ.

Цель участия ИЛ в МСИ:

- подтверждение или опровержение достоверности результатов измерений;
  - повышение доверия к деятельности ИЛ со стороны внутренних и внешних Заказчиков, контролирующих органов;
  - подтверждение компетентности ИЛ при взаимодействии с Аккредитующими органами.
- Кроме того, Провайдер МСИ выявляет следующие проблемы:
- некорректность описания процедуры измерений в МИ (например, нечёткость установления процедуры отбора проб, нечётко установленный объем анализируемого раствора и т.п.);
  - некорректность представления формулы получения результатов измерений в МИ на основе входящих величин;
  - отсутствие в МИ алгоритмов контроля точности;
  - и др.

Для решения этих задач Провайдер МСИ подготавливает образцы для проверки квалификации с обеспеченной однородностью и стабильностью. ИЛ проводит измерения контролируемых показателей в образце для проверки квалификации и выдает результаты измерений, полученные по МИ, используемой в ИЛ и допущенной к применению.

По результатам МСИ может быть подтверждено качество результатов измерений, выдаваемых ИЛ, а также выявлены ошибки, которые отражены на рис.1.

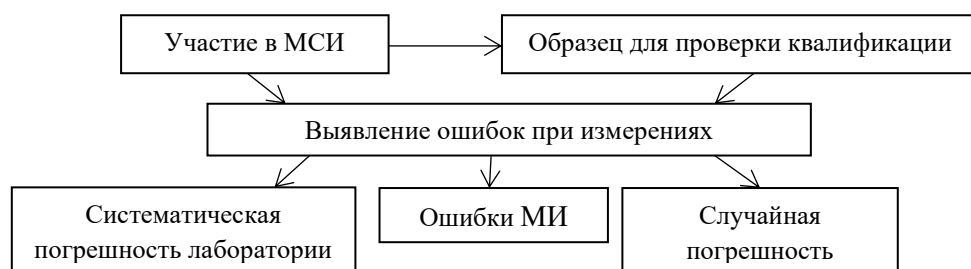


Рис.1 Возможные ошибки, выявленные при проведении МСИ

Ежегодно провайдер МСИ - УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» проводит большое количество раундов МСИ, охватывающих широкую область деятельности промышленных предприятий, экологических служб, организаций, оказывающих услуги в разных областях деятельности и др. Например, за два года проведено 33 раунда МСИ воздушных сред (АВ, ВРЗ, ПВ).

Так, проведенные МСИ воздушных сред по определению хрома общего, хрома (III), хрома (VI), оксида хрома (III), оксида хрома (VI) в АВ, ПВ и ВРЗ, показали следующее. Для проведения измерений ИЛ использовали МИ: [2, 3,4,5]. При обработке данных результатов измерений, представленных ИЛ в соответствии с [6] п.9, выявлен их большой разброс. Результаты измерений, полученные по [3], не соответствовали установленным требованиям [7, приложение В]. Содержание контролируемого вещества было занижено. При анализе процедуры измерений, изложенной в данной МИ, обнаружена ошибка в части построения градуировочной зависимости. Установлено, что навеска для приготовления стандартного раствора оксида хрома (VI) занижена в 10 раз. Неточности в документах на МИ часто приводят к неудовлетворительным результатам участия в МСИ. В этом случае, Провайдер МСИ рекомендует ИЛ провести повторную верификацию данной МИ и учесть выявленную неточность МИ при дальнейшей деятельности ИЛ. Кроме того, Провайдер, по возможности, обращается к разработчикам методики или в технические комитеты по стандартизации с информацией о необходимости актуализации или аттестации данной МИ.

На основании изложенного, проведение МСИ подтверждает необходимость внедрения изменений, внесённых в закон «Об обеспечении единства измерений», в котором указано о необходимости обеспечения прослеживаемости результатов измерений, «посредством ... аттестации методик (методов) измерений» [8, п.2].

Таким образом, проведенные работы по МСИ наглядно демонстрируют как необходимость мониторинга контроля качества результатов измерений, так и разработку и аттестацию МИ (взамен ранее разработанных и допущенных к применению), обеспечивающих метрологическую прослеживаемость результатов измерений. Кроме того, МСИ дают возможность создания плана пересмотра таких МИ, разработанных в прошлом веке и допущенных к применению в связи с отсутствием современных аттестованных МИ.

#### Литература

1. ГОСТ ISO/IEC17025–2019 Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М.: Стандартинформ, 2021. 28 с.
2. МУ 1633–77 Методические указания на определение вредных веществ в воздухе. М.: ЦРИА Морфлот, 1981 г. 253 с.
3. МУ 4945–88 Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1992 г. 111 с.
4. М-222-7/2021 Методика измерений массовых концентраций хрома общего, хрома (VI), хрома (III), хрома общего в пересчете на триоксид хрома (хромовый ангидрид) в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе и промышленных выбросах в атмосферу фотометрическим методом. М.: УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», 2021 г. 29 с.
5. ПНД Ф 13.1.31-02 МЕТОДИКА выполнения измерений массовой концентрации хрома шестивалентного в промышленных выбросах фотометрическим методом. М.: Министерство природных ресурсов Российской Федерации, 2022 г. 15 с.
6. ГОСТ Р 50779.60-2017 (ИСО 13528:2015) Статистические методы Применение при проверке квалификации посредством межлабораторных испытаний М.: Стандартинформ, 2017. 82 с.

7. ГОСТ ISO/IEC17043–2013 Межгосударственный стандарт. Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации М.: Стандартиформ, 2014. 33 с.

8. О внесении изменений в Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений": Федеральный закон Российской Федерации от 14 февраля 2024 г. № 18-ФЗ: принят Государственной Думой 30 января 2024 г.: одобрен Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 7 февраля 2024 г. // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402140015?index=1> (дата обращения: 28.03.2024).

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ «САПСАН»

А.О. Туровцев, Л.В. Нечаев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина»  
(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»),  
Снежинск, Российская Федерация  
omit@vniitf.ru

## Аннотация

*Рассматривается подход к проведению автоматизации метрологического обслуживания средств измерений, разработанный и внедрённый в метрологической службе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ». Разработанное программное обеспечение автоматизирует определение метрологических характеристик широкого спектра приборов с возможностью модификации пользователем процедур автоматизации.*

**Ключевые слова:** автоматизация, метрология, поверка, калибровка, программа, процедура

В настоящее время большинство средств измерений (СИ) проходят метрологическое обеспечение (поверку/калибровку) в аналоговом («ручном») режиме, когда с эталонных средств измерений (СИ) подаются входные сигналы на исследуемые приборы, результаты измерений оператором протоколируются, обрабатываются и анализируются в соответствии с требуемыми критериями. Поскольку функциональная и технологическая сложность измерительной техники стремительно увеличиваются, при указанном алгоритме действий процедура метрологического обеспечения (МО) занимает все более продолжительное время. Одновременно доля приборов, имеющих цифровой интерфейс связи с компьютером, повсеместно увеличивается, что позволяет использовать возможности автоматизации (цифровизации) необходимых метрологических процедур.

На сегодняшний день реализуются два подхода к процессу автоматизации:

- первый основывается на разработке отдельного программного обеспечения (ПО) под конкретный прибор;
- второй – использование основного, базового ПО – ядра, на базе которого относительно несложно реализуются процедуры необходимого метрологического обслуживания.

Первый подход имеет очевидный недостаток – высокие требования к квалификации разработчика ПО; необходимость заново «изобретать велосипед» при освоении интерфейсов связи с прибором, а, следовательно, увеличивать время разработки; индивидуальный подход к концепции написания ПО, использование различных языков программирования, отсутствие преемственности и т. п.

Второй подход лишен данных недостатков, и подразумевает использование базового ПО, в котором уже реализованы процессы обмена информации по типовым интерфейсам, протоколирования и архивирования экспериментальных данных, стандартный интерфейс пользователя и т. д.

Необходимый алгоритм метрологического обслуживания реализуется в виде относительно несложных процедур, написанных на общепринятых скрипт-языках. На данный момент известны несколько подобных программных продуктов, в частности, Fluke MET/CAL® Plus американской корпорации Fluke Corporation [1], широко применяемый в большинстве метрологических лабораторий. Мы разработали аналогичную систему автоматизированной поверки и калибровки «Сапсан», позволяющую существенно сократить время и повысить качество МО. Данное ПО обеспечивает:

- автоматизацию процесса поверки и калибровки;
- снижение влияния человеческого фактора на результаты измерений и расчетов;
- сокращение времени работы эталонных СИ;
- уменьшение времени МО.

ПО создано с использованием программных продуктов, не попадающих под западные санкции, и включено в Реестр российского программного обеспечения. Реестровая запись №21876 от 15.03.24.

## Литература

1. <https://fluke-calibration.ru/metcal> - «MET/CAL© Plus v.8 Программное обеспечение».



# УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ ДО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОТКАЗА

А.Е. Тюрнина, 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  
<https://orcid.org/0000-0002-2032-3427>, [turninae@uniim.ru](mailto:turninae@uniim.ru)

## **Аннотация**

*Проведены испытания преобразователей давления до метрологического отказа в нормальном и ускоренном режимах при воздействии повышенной и пониженной температуры с целью расчета коэффициента ускорения, который позволит получить информацию о надежности средств измерений и определить достоверное значение интервала между поверками в более короткие сроки.*

**Ключевые слова:** *испытания до метрологического отказа, преобразователи давления, интервал между поверками, алгоритм расчета коэффициента ускорения*

В настоящее время одним из актуальных метрологических направлений обеспечения единства измерений является исследование надежности средств измерений (СИ) с целью определения интервалов между поверками (МПИ) [1]-[3]. Рост числа исследований обусловлен появлением приказа Росстандарта от 02.07.2019 № 1502 «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками СИ» (редакция от 24.10.2022). Производители новых перспективных СИ с высокими значениями показателей надежности заведомо проигрывают конкурентную борьбу с производителями ранее внесенных в Госреестр СИ.

Наиболее полно проблемы определения МПИ описаны в работах А.Э. Фридмана, идеи которого были внедрены в основном нормативном документе по определению МПИ РМГ 74-2004 [4]-[6]. Методы установления и корректировки МПИ на основании параметров процесса дрейфа метрологических характеристик СИ, определяемых при обычном или ускоренном режимах приведены в РМГ 74-2004, однако алгоритмы оценки коэффициентов ускорения при воздействии влияющих факторов не указаны.

Исследования по определению МПИ связаны с длительными испытаниями и накладывают на производителей СИ значительные дополнительные финансовые затраты. С целью сокращения объема и длительности испытаний на практике используют методы ускоренных испытаний [7].

При выборе воздействующих факторов и пределов их изменения исходят из возможности максимального ускорения физико-химических процессов, происходящих в конструкции СИ и его отдельных элементах при эксплуатации, избегая появления побочных процессов, искажающих картину износа и старения [8]-[9].

Испытания до метрологического отказа проводились при использовании рабочего эталона единицы давления на основе грузопоршневого манометра для двух групп преобразователей: для первой – в нормальном режиме, для второй – в форсированном. В качестве параметра форсированного испытательного режима была выбрана температура, под влиянием которой меняются механическая и электрическая прочность материалов, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, увеличивается износ и ускоряется старение. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с

МИ 3676-2023 для серийно выпускаемых преобразователей давления измерительных с ВПИ 100 МПа, КТ 0,1, изготовленных по технологии КНС (кремний на сапфире) с мембраной, изготовленной из титанового сплава ВТ-9. Для испытаний была выбрана повышенная температура плюс 50 °С и пониженная минус 10 °С, чтобы отклонение от нормальной в обе стороны было сопоставимым ( $\pm 30$  °С).

В процессе обработки результатов экспериментальных исследований с применением регрессионного анализа был определен дрейф метрологических характеристик для двух групп

преобразователей. Оценка коэффициента ускорения проводилась после проверки однородности дисперсий среднего значения нормируемой метрологической характеристики СИ и проверки гипотезы об адекватности линейной регрессии.

Экспериментально полученные значения коэффициента ускорения при воздействии пониженной температуры больше, чем при повышенной, что может быть обусловлено температурным эффектом: зависимостью модуля Юнга мембраны преобразователя и подложки от температуры и изменением чувствительности, обусловленной существенной зависимостью полупроводниковых элементов конструкции от температуры.

В результате работ был предложен алгоритм определения условий испытаний и расчета коэффициента ускорения, который позволит определить минимальную длительность ускоренных испытаний, исходя из значения целевого МПИ, а также соотношения погрешностей эталонного и испытываемого СИ, сократить объем испытаний и получить информацию о надежности и ресурсе СИ при последующих исследованиях в более короткие сроки.

### **Литература**

1. Медведевских С.В., Тетерук Р.А. Интервалы между поверками средств измерений: методические и нормативно-правовые аспекты определения // Измерительная техника. 2022. N 7. С. 49-53.
2. Новиков А.Н., Смагин В.А., Гончаров А.П. Определение межповерочных интервалов средств измерений на основе расчета средней частоты метрологических отказов с учетом заданного коэффициента готовности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. N 6. С. 42-47.
3. Ефремов Л.В., Смирнов В.А., Зверев О.Г. Прогнозирование межповерочного интервала газоанализатора по изменению запаса метрологической надежности // Приборостроение. 2016. том 59, N 8. С. 664-670.
4. Фридман А.Э. Метрологическая надежность средств измерений и определение межповерочных интервалов // Метрология. 1991. N 9. С. 52-61.
5. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. 1991. N 11. С. 3-11.
6. РМГ 74 -2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. М.: Стандартинформ, 2006. 24 с.
7. Мигаль П.В., Собина Е.П., Аронов П.М., Кремлева О.Н., Студенок В.В., Фирсанов В.А., Медведевских С.В. Об оценке стабильности стандартных образцов // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. N 19(3). С. 65-75.
8. Кострикина И.А., Галкина Е.Н. Методика определения межповерочных интервалов по результатам ускоренных испытаний // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2013. N 3 (5). С. 19-24.
9. Панфилов С.А., Саванин А.С. Анализ влияния надежности и стабильности метрологических характеристик средств измерений на межповерочный интервал // Ползуновский вестник. 2013. N 2. С. 277-280.

# ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**С.В. Тюфяков**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области»  
(ФБУ «Самарский ЦСМ»),  
Самара, Российская Федерация  
stanislavtufakov@gmail.com

## **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы точности ультразвуковых расходомеров, установленных на месте эксплуатации, вопросы к рекомендациям и требованиям монтажа ультразвуковых расходомеров. Проведен анализ и сравнение методик поверки, рекомендаций и требований к монтажу прямолинейных участков перед фланцевыми или врезными ультразвуковыми расходомерами. Выявлены общие проблемы монтажа ультразвуковых расходомеров, которые влияют на точность ультразвуковых расходомеров на месте эксплуатации.*

**Ключевые слова:** *ультразвуковые расходомеры жидкости, ультразвуковые расходомеры газа, прямые участки, прямолинейные участки, число Рейнольдса*

Ультразвуковые расходомеры за последнее время находят все большее применение в качестве приборов учета. Несмотря на высокую стоимость, сфера их применения расширяется, особенно там, где высоки требования к точности результата измерений. Ультразвуковые расходомеры обладают рядом преимуществ перед другими типами расходомеров, основанными на тахометрическом, электромагнитном, вихревом принципе: отсутствие движущихся и выступающих в проточную часть механических частей, высокая точность в широком динамическом диапазоне, минимальное гидравлическое сопротивление, возможность монтажа пьезопреобразователей на имеющихся трубопроводах, возможность работы на трубах большого диаметра.

Цель настоящей статьи - необходимость проведения контроля состояния прямых участков перед ультразвуковым расходомером на месте эксплуатации. Проблема отсутствия общих требований к монтажу прямых участков ультразвуковых расходомеров жидкости.

## **Литература**

1. ВМТБ.407251.001 РЭ «Расходомер-счетчик жидкости ультразвуковой US800. Руководство по эксплуатации».
2. МП 208-008-2021 «Расходомеры-счетчики газа ультразвуковые OPTISONIC Методика поверки».
3. «Optisonic 8300. Руководство по эксплуатации».
4. РЭ 407251.002-2007 «Счетчики ультразвуковые СУР-97. Руководство по эксплуатации».
5. Ультразвуковые расходомеры ALTOSONIC. UFM 400 K/F, UFM 500 K/F. Инструкция по эксплуатации и установке.
6. МП 48218-11 «ГСИ. Расходомеры ультразвуковые UFM 3030, UFM 3030-300, UFM 500-030, UFM 500-300. Методика поверки».
7. «Расходомер ультразвуковой UFM 500. Руководство по монтажу и эксплуатации».
8. «Расходомер ультразвуковой UFM 3030. Руководство по монтажу и эксплуатации».
9. ГОСТ 8.611-2013 «ГСИ. Расчет и количество газа. Методика (метод) измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода».
10. УДК 681 «Сравнение имитационного и проливного метода поверки акустических расходомеров».
11. ISO 17089-1:2019 «Измерение расхода текучих сред в закрытых каналах. Ультразвуковые счетчики расхода газа. Часть 1. Счетчики для измерения передачи и распределения».
12. 681.121 «Исследование установочной партии ультразвуковых расходомеров «Акустрон» модель УЗР-В и разработка рекомендаций по совершенствованию их метрологических характеристик».

# ПРИЛОЖЕНИЕ «ОФПРО» КАК ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ОРГАНИЗАЦИИ

А.С. Тымкив

Федеральное бюджетное учреждение "Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Пензенской области"  
(ФБУ "Пензенский ЦСМ"),  
Пенза, Российская Федерация  
astmkv@bk.ru

## **Аннотация**

*Разработано мобильное приложение «ОФПРО», предназначенное для оптимизации и автоматизации рабочих процессов, таких как формирование протоколов поверки установленной формы, хранение и учет данных, формирование отчетных документов и взаимодействие с иными цифровыми сервисами организации.*

**Ключевые слова:** поверка, результаты поверки, оптимизация, трансформатор, цифровизация, мобильное приложение, мобильный сервис, метрологическая служба, протокол

В настоящее время в деятельности метрологических служб (далее МС) предприятий наиболее важными задачами являются повышение уровня метрологического обеспечения в том числе путем повышения доступности оказываемых услуг, что подразумевает сокращение времени с момента проведения поверки до получения заказчиком результатов, а также снижение нагрузки с персонала посредством внедрения цифровых технологий.

Одним из инструментов, позволяющих решить данные задачи является внедрение в работу МС цифровых технологий с использованием мобильных устройств (смартфонов, планшетных ПК). Такой подход обладает массой преимуществ: автоматизация техпроцессов, создание мобильных рабочих мест, относительная универсальность и простота внедрения в уже используемые системы, высокий уровень адаптированности целевого персонала.

Примером такого использования является разработанное специалистами ФБУ «Пензенский ЦСМ» мобильное приложение «ОФПРО» (далее приложение).

Функционал приложения позволяет на нижнем уровне формировать записи и протоколы при проведении поверки измерительных трансформаторов тока и напряжения на месте их эксплуатации в соответствии с нормативно-технической документацией [1-3], на верхнем уровне – работать с системами заполнения, хранения, передачи и обработки данных, используемыми организацией [4-5] (например, заполнение журналов учета оборудования или учета выданных протоколов), а также взаимодействовать с ФГИС «АРШИН» в части выгрузки результатов поверки. Дополнительные разделы позволяют пользователю работать с необходимой нормативно-технической документацией.

По сравнению с традиционным подходом приложение имеет ряд преимуществ:

- сокращение времени обработки результатов измерений и иных входных данных;
- работа без подключения к сети Интернет (на нижнем уровне);
- простой и интуитивно-понятный интерфейс;
- универсальность (подходит для работы на большинстве смартфонов и планшетных ПК);
- оптимальные технические требования.

В результате внедрения работы приложения в процессы системы менеджмента качества организации [4-5] удалось сократить время обработки и оформления результатов поверки, оптимизировать процессы работы с отчетной документацией, упростить процедуру внесения результатов поверки во ФГИС «АРШИН».

## **Литература**

1. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31.07.2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
2. ГОСТ 8.217–2003 «Государственная система обеспечения единства измерений. Трансформаторы тока. Методика поверки».

3. ГОСТ 8.216–2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Трансформаторы напряжения. Методика поверки».
4. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования».
5. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ СТАНКООСТРОЕНИЯ

Ф.С. Уметбаев, Д.С. Шуткова

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,  
dasha08s@yandex.ru

## **Аннотация**

*В условиях неопределенности и ограниченности ресурсов важнейшим фактором, обеспечивающим эффективную деятельность любого предприятия, является наличие квалифицированных специалистов. В данной работе рассматривается вопрос кадровой политики в области стандартизации на примере станкостроительной отрасли.*

**Ключевые слова:** стандартизация, станкостроение, специалисты по стандартизации, компетенции, программы подготовки и повышения квалификации в области стандартизации

Стандартизация является одним из ключевых факторов, повышающим эффективность производства на предприятиях и влияющим на социально-экономическое развитие и технологический суверенитет страны в целом [1, 2].

Историческим началом планомерной и систематической работы по стандартизации в СССР послужило создание 15 сентября 1925 года Комитета по стандартизации при Совете Труда и Обороне. На разных этапах развития страны методы стандартизации широко использовались при решении важнейших народнохозяйственных задач и способствовали становлению таких отраслей промышленности, как, например, машиностроение [3]. Существенное влияние при этом оказывал тесный союз рабочих, инженеров и ученых.

По результатам рассмотрения учебных программ в области стандартизации и контроля качества, проводимых в то время на факультетах (рисунок 1) Всесоюзного института повышения квалификации руководящих и инженерно-технических работников в области стандартизации, качества продукции и метрологии Госстандарта СССР (ВИСМ), было выявлено, что подготовка работников осуществлялась не только для системы Госстандарта, но и для практически всех отраслей народного хозяйства [4].

Однако, в связи с экономическими реформами в 90-е годы, во многих сферах, в том числе стандартизации станкостроения, произошли принципиальные изменения: многие ведущие станкозаводы с подразделениями, выполнявшими функции стандартизации, стали неполноценными или были упразднены, что способствовало снижению востребованности в специалистах по стандартизации и расформированию профильных факультетов и кафедр.

Тем не менее, за последние годы в Российской Федерации в рамках реализации стратегических задач [5] наблюдается значительный рост производства станкоинструментальной продукции и активизация под руководством Росстандарта работ по стандартизации в области станкостроения. Так, в 2021 году был реорганизован технический комитет по стандартизации «Станки» (ТК 070), который осуществляет координацию деятельности по разработке и обновлению востребованных национальных и межгосударственных стандартов в области станкостроения.

Решение задач развития отечественной промышленности невозможно без высокой квалификации кадров и восстановления на предприятиях и в организациях специалистов и служб по стандартизации, утерянных за последние десятилетия.



Рис. 1 – Организация обучения в области стандартизации и контроля качества на факультетах ВИСМ

Подготовка инженеров и специалистов по стандартизации, обладающих требуемыми компетенциями [6-8], может быть осуществлена только при применении комплексного подхода и в тесном взаимодействии всех заинтересованных сторон как на отраслевом уровне, так и на уровне госкорпораций с соответствующей поддержкой, в том числе финансовой [9, 10].

В целях повышения роли и уровня участия в отечественной стандартизации профильных предприятий, организаций и специалистов, а также для повышения эффективности от внедрения разрабатываемых документов по стандартизации, необходимо учитывать не только основные современные тенденции развития стандартизации, но и задачи профессиональной деятельности специалистов.

#### Литература

1. Шалаев, А.П. Стандарты для устойчивого развития / А.П. Шалаев // Стандарты и качество. – 2022. – № 5. – С. 26-27.
2. Шуткова, Д. С. Стандартизация как инструмент повышения эффективности производства / Д. С. Шуткова // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»: Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, 29–31 мая 2019 года. Том Ч.1. – Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. – С. 442-445.
3. Стандартизация в СССР. 1925-1975 / под ред. В.В. Бойцова. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 471 с.
4. Методическое пособие по преподаванию стандартизации / под ред. В.М. Огрызкова. - М.: Издательство стандартов, 1973. – 288 с.

5. Стратегия развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 ноября 2020 года № 2869-р).
6. Российская Федерация. Министерство труда и социальной защиты. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по стандартизации»: Приказ Минтруда России от 27.04.2023 № 346н : зарегистрировано в Минюсте России 29.05.2023 № 73533. — Текст : электронный // КонсультантПлюс . — URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_448667/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448667/) (дата обращения: 21.04.2024). — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
7. Будкин, Ю. В. Современные тренды кадровой политики в сфере стандартизации / Ю. В. Будкин // Стандарты и качество. – 2021. – № 9. – С. 24-25.
8. Программы обучения: [Электронный ресурс] // Федеральное государственное автономное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)» (ФГАОУ ДПО «АСМС»). URL: <https://www.asms.ru/index.php#program> (дата обращения: 21.04.2024).
9. Бирюков М.И., Сафин Э.В., Галиуллина А.М., Стрельникова Э.Р. О подготовке специалистов в области метрологии и стандартизации в Республике Башкортостан [Электронный ресурс] // Компетентность – 2021. – №8. – С. 6-12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-podgotovke-spetsialistov-v-oblasti-metrologii-i-standartizatsii-v-respublike-bashkortostan> (дата обращения: 21.04.2024).
10. Воронин В.Н., Куприков Н.М., Полищук М.А., Екимов А.И. Кадровое обеспечение в области стандартизации, сертификации и оценки соответствия // Контроль качества продукции – 2019. – №10. – С. 9-13.



# ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ ЖИДКОСТЕЙ

М.О. Уранбаев, М.В. Беднова

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 0009-0005-8405-0172, umo@vniim.ru

## Аннотация

Рассмотрено современное состояние и актуальные вопросы метрологического обеспечения в области измерений удельной электрической проводимости жидкостей в Российской Федерации. Предложены пути совершенствования метрологического обеспечения кондуктометрических анализаторов жидкостей.

**Ключевые слова:** кондуктометр, удельная электрическая проводимость, метрологическое обеспечение, ГЭТ 132-18

Кондуктометрический метод анализа основан на определении электропроводности растворов электролитов и реализован в кондуктометрических анализаторах жидкости, имеющих диапазон измерений УЭП от  $1 \cdot 10^{-12}$  до 200 См/м и допускаемой погрешности от 0,05 % до 30 %.

Метрологическое обеспечение кондуктометрических анализаторов жидкостей в РФ осуществляется в соответствии с ГПС [1] возглавляемой государственным первичным эталоном единицы удельной электрической проводимости (далее – УЭП) жидкостей ГЭТ 132–18.

Определение УЭП осуществляется по формуле:

$$\chi = K_{cell}/R \quad (1)$$

где:  $\chi$  – УЭП анализируемой жидкости, См/м.

$K_{cell}$  – кондуктивная постоянная первичного измерительного преобразователя (далее – ПИП), м<sup>-1</sup>.

$R$  – сопротивление полученное на вторичном преобразователе, Ом.

В формуле 2 определение  $K_{cell}$  выглядит следующим образом:

$$K_{cell} = L/S \quad (2)$$

где:  $L$  – расстояние между электродами в ПИП, м;  $S$  – площадь поперечного сечения электродов в ПИП, м<sup>2</sup>.

Практическая реализация модели (2) - нетривиальная задача, поэтому определение постоянной сводится к измерениям растворов с известным значением УЭП. Методика воспроизведения первичных (эталонных) растворов, представлена в документе [2].

На точность результата измерений первичных (эталонных) растворов с известным значением УЭП оказывают влияние следующие факторы:

1. Точность измерения электрического сопротивления;
2. Точность измерения и поддержания температуры в термостате;
3. Влияние СО<sub>2</sub> окружающей среды на растворы УЭП [2],

Помимо упомянутых факторов необходимо учитывать и электрохимические процессы в измерительной системе: поляризационное сопротивление [3], двойной электрический слой [4] и др. Моделирование процессов в ПИП с учетом влияющих факторов осуществляют построением эквивалентных электрических схем замещения. Методика определения постоянной ПИП, исключая влияние электрохимических процессов, представленная в работе [5] затрагивают области низких значений УЭП, в то время как в ГПС диапазон измерений СИ гораздо выше, исходя из чего пути совершенствования метрологического обеспечения кондуктометрических анализаторов жидкостей заключаются в:

- исследовании электролитов с УЭП св. 20 См/м;
- разработке методики приготовления эталонных растворов УЭП в диапазоне св. 20 См/м;
- определении оптимальных параметров электрического тока для эталонных измерительных установок;

- исследовать влияния частоты и вида тока на результат измерений;
- составлении ЭЭСЗ для комплекта эталонных ячеек.

На сегодняшний день проведены работы в части разработки и утверждения стандартного образца 2-го разряда удельной электрической проводимости жидкостей в рамках ОКР «Суверенитет», стандартный образец утвержден под номером № 12374-2023, с интервалом допускаемых аттестованных значений УЭП от 10 См/м до 20 См/м и допускаемой относительной погрешностью 0,2 %.

#### Литература

1. Приказ 2771 от 27.12.2018 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений удельной электрической проводимости жидкостей».
2. *Standard Solutions Reproducing the conductivity of Electrolytes, International Recommendation No. 56, Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML)*, 1st ed., June 1980 (Bureau Internationale de Métrologie Légale, Paris, 1981).
3. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа. — М.: Высшая школа, 1975.
4. Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия. Изд.. 4-е, испр. и доп. Л., «Химия», 1974.
5. Первухин Б.С. Определение параметров контактных первичных преобразователей кондуктометров [Текст] / Б.С. Первухин // Измерительная техника, 2008. - №3. – С. 61-63.

# НЕПРЕРЫВНОЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ВОДЕ С ПОСТОЯННЫМ КОНТРОЛЕМ

И.В. Федотов

АО «Интер РАО – Электрогенерация» Филиал «Гусиноозёрская ГРЭС»,  
Гусиноозерск, Российская Федерация  
fedotov\_iv@interra.ru

## Аннотация

В работе рассмотрена проблема, связанная с непрерывным автоматизированным измерением массовой концентрации нефтепродуктов в воде с постоянным контролем. Одним из аспектов вопроса являются требования и нормы содержащиеся в Приказе от 13 декабря 2016 года Министерство сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 22 августа 2023 года)» [1].

**Ключевые слова:** метрология, массовая концентрация нефтепродуктов, диапазон измерений, погрешность, точность измерений

Одной из основных задач метрологии является обеспечение единства измерений, Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями на 11 июня 2021 года) [2]. Одной из составляющих данной задачи является применение различных приборов учета и контроля, установленных на пищевой, нефтяной, газовой, химической, нефтедобывающей, энергетической и фармацевтической промышленности, в соответствии с установленными к процессу учета требованиями.

В современных условиях растущих санкционных ограничений все больше затруднений вызывает эксплуатация зарубежного оборудования. Обеспечение запасными частями и материалами, получение доступа к сервисным услугам, проектной документации и технической поддержке, а также выполнение гарантийных обязательств – далеко не полный перечень вопросов, с которыми сейчас столкнулись отечественные предприятия. 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 автоматических анализаторах нефтепродуктов в воде импортного и российского происхождения, перечень некоторых из них представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень анализаторов измерения массовой концентрации нефтепродуктов в воде [3]

Номер в госреестре	Наименование СИ	Страна происхождения	Диапазон измерений	Относительная погрешность, %
64130-16	ФЛЮОРПАТ-АЕ-2	Российская Федерация	от 0,025 до 0,1 мг/дм <sup>3</sup> включ.	±50
81945-21	Технотос	Великобритания	от 0,1 до 1 мг/дм <sup>3</sup> включ.	±10
71770-18	BlueSense	Германия	от 0,2 до 1 мг/дм <sup>3</sup>	±40
70762-18	MOD-C-4000	Израиль	от 0,2 до 2,0 мг/дм <sup>3</sup> включ.	±30
82017-21	OilGuard 2	Швейцария	от 0,001 до 3 мг/дм <sup>3</sup>	±5
40430-09	Hydrosense 3410, Hydrosense 3420	Канада	от 1 до 10 мг/дм <sup>3</sup>	±30
47662-17	Hydrosense 2410	Канада	от 0 до 10 мг/дм <sup>3</sup>	±10
55458-13	OPAL	Франция	от 0 до 10 мг/дм <sup>3</sup>	±10

## Заключение

Это далеко не весь перечень анализаторов измерения массовой концентрации нефтепродуктов в воде, но уже из этого можно сделать вывод о том что средства измерения предлагаемые рынком на

территории Российской Федерации в большинстве своем не способны удовлетворить потребность в части диапазонов измерений, погрешности и точности измерений массовой концентрации нефтепродуктов в воде с постоянным контролем.

#### **Литература**

[1] Приказ от 13 декабря 2016 года Министерство сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 22 августа 2023 года)»

[2] Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями на 11 июня 2021 года)

[3] ФГИС «АРШИН» <https://fgis.gost.ru> государственный реестр средств измерений, используемый для обеспечения единства измерений в сфере метрологии.

# ОЦЕНКА СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ ДЛЯ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 2,5 МЭВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$

<sup>1</sup>Д.С. Фридрихсен, <sup>1</sup>Т.М. Кормилицын, <sup>1</sup>С.Ю. Обудовский,  
<sup>1</sup>А.В. Панкратенко, <sup>1</sup>Ю.А. Кащук, <sup>2</sup>Н.Н. Моисеев

<sup>1</sup>Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом"  
"Проектный центр ИТЭР" (Частное учреждение "ИТЭР-Центр"),  
Москва, Российская Федерация

<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  
D.Fridrikhsen@iterrf.ru

## Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальной оценки сечения реакции  $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$  в области энергии нейтронов  $\sim 2,2 \div 2,9$  МэВ. Реакция может быть использована для регистрации термоядерных нейтронов, образующихся в дейтериевой плазме. Измерения проводились с помощью сцинтилляционного спектрометра  $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$  на эталонном генераторе нейтронов в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и на D-D нейтронном генераторе НГ-14 с газонаполненной нейтронной трубкой.

**Ключевые слова:** сечение реакции, регистрация быстрых нейтронов, хлорид лантана, нейтронный спектрометр

Осуществление термоядерного синтеза является одним из возможных способов преодоления глобальной проблемы энергетической недостаточности. Наибольший прогресс достигнут на установках с магнитным удержанием плазмы, в частности, на установках типа токамак. Термоядерная реакция в плазмы проходит за счет нагрева и удержания плазмы магнитным полем внутри вакуумной камеры установки. В качестве топлива используют тяжелые изотопы водорода: дейтерий (D) и тритий (T). При их взаимодействии образуются нейтроны с энергией  $E_n \approx 2,5$  МэВ в реакции D+D и с энергией  $E_n \approx 14,1$  МэВ в реакции D+T. Потоки термоядерных нейтронов несут информацию о состоянии плазмы. Измерения энергетических спектров нейтронов позволяют определить температуру и плотность плазмы, интенсивность протекания термоядерных реакций и другие характеристики.

В настоящее время большинство экспериментов проводится с дейтериевой плазмой. Прецизионные измерения потоков D-D нейтронов являются актуальной задачей. В работе [1] показана перспективность использования сцинтилляционного детектора  $\text{LaCl}(\text{Ce})_3$  в качестве спектрометра нейтронов в диапазоне энергий  $\sim 2,2 \div 2,9$  МэВ. К достоинствам этого детектора можно отнести: линейную зависимость световых выходов от энергии детектируемых частиц, классическую форму функции отклика при регистрации нейтронов, высокое энергетическое разрешение, быстрое высвечивание. Основной реакцией регистрации D-D нейтронов в хлориде лантана является (n,p)-реакция на ядре  $^{35}\text{Cl}$  с образованием  $^{35}\text{S}$  в основном состоянии. Реакция протекает с выделением энергии  $Q=615$  кэВ. Сечение реакции резко возрастает при  $E_n > 1$  МэВ и падает в области энергий нейтронов, превышающих 3 МэВ [2], поэтому использование  $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$  на токамаках целесообразно для диагностики дейтериевой плазмы, в которой образуются нейтроны с энергией  $\sim 2,5$  МэВ.

Для использования сцинтилляционного детектора  $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$  в качестве спектрометра DD-нейтронов необходимо определить эффективность регистрации нейтронов. Расчет эффективности осложняется тем, что сечения реакции  $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}_{\text{осн. сост.}}$ , приведенные в различных литературных источниках [3, 4] и базе данных ENDF [5], плохо согласуются между собой. Основная цель данной работы состоит в независимой экспериментальной оценке сечения реакции  $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$  для нейтронов с энергией  $\sim 2,5$  МэВ по результатам измерений сцинтилляционным спектрометром  $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$

Измерения выполнены на эталонном генераторе нейтронов с «тонкой» мишенью в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и на D-D нейтронном генераторе НГ-14 с газонаполненной нейтронной трубкой с набивной «толстой» мишенью. Измерения проводились в нескольких точках

вокруг источника нейтронов для достижения более широкого диапазона по энергии нейтронов (энергия нейтрона зависит от угла вылета из мишени [6]).

Работа выполнена в рамках государственного контракта №Н.4а.241.19.23.1014 от 18 января 2023 года на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2023 году».

#### **Литература**

1. Kormilitsyn, T. M. et al., “Novel LaCl<sub>3</sub>(Ce)-based spectrometer for deuterium plasma neutron diagnostics”, *Review of Scientific Instruments*, 92(4), 2021.
2. A. V Pankratenko, T. M. Kormilitsyn, Y. A. Kashuck, S. Y. Obudovsky, D. S. Fridrikhsen et al., *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A*, “Analysis of the LaCl<sub>3</sub>(Ce) scintillator response function to fast neutrons”, 2023.
3. Kuvin, S. A. et al., “Nonstatistical fluctuations in the Cl<sub>35</sub>(n,p)S<sub>35</sub> reaction cross section at fast-neutron energies from 0.6 to 6 MeV”, *Physical Review C*, 102(2), 2020.
4. Batchelder, J. C. et al., “Possible evidence of nonstatistical properties in the Cl<sub>35</sub>(n,p)S<sub>35</sub> cross section”, *Physical Review C*, 99(4), 2019.
5. D. A. Brown и et al., “ENDF/B-VIII.0: The 8th Major Release of the Nuclear Reaction Data Library with CIELO-project Cross Sections, New Standards and Thermal Scattering Data”, *Nucl. Data Sheets*, 2018.
6. J. Csikai, Zs. Lantos, Cs.M. Buczko, “Investigations on the properties of D + D and D + T neutron sources”, *IAEA-TECDOC-410 Properties of Neutron Sources*, 1987.

# ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ МАЛЫХ ДОЗВУКОВЫХ СКОРОСТЕЙ К БОЛЬШИМ

С.Ю. Хижняк, О.В. Довыденко, А.И. Самойленко

Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»  
(ФАУ «ЦАГИ»),  
Жуковский, Российская Федерация  
metrology@tsagi.ru

## Аннотация

Проведено сравнение методических и инструментальных погрешностей измерений скорости воздушного потока пневмометрическим методом и методом, основанном на уравнении для сжимаемого газа. Получены оценки погрешностей. Рассмотрена потенциальная возможность передачи единицы скорости воздушного потока эталонам больших дозвуковых и сверхзвуковых скоростей от вторичного эталона.

**Ключевые слова:** аэродинамическая труба, скорость воздушного потока, инструментальная погрешность измерений, методическая погрешность измерений, разность давлений, статическое давление, полное давление

Для измерений скорости воздушного потока в аэродинамических трубах (АДТ) малых и начального диапазона больших дозвуковых скоростей в ЦАГИ внедрена типовая методика измерений, регламентированная стандартом [1] (СТО). Допускаемая погрешность измерений  $\Delta_{\text{доп}}$  положенным в основу СТО пневмометрическим методом [2-3] составляет до 0,2 м/с при аттестации АДТ с использованием контрольных средств измерений (СИ) и до 1 м/с – при испытаниях в АДТ с использованием трубных СИ [4-7].

На практике иногда используется альтернативный метод, основанный на измерении абсолютных полного и статического давлений с помощью соотношения, полученного для больших скоростей, когда сжимаемостью воздуха нельзя пренебречь [8]. Скорость воздушного потока  $V$ , м/с, при этом вычисляется по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa \cdot p}{(\kappa - 1) \cdot \rho} \cdot \left[ \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]}, \quad (1)$$

где  $\kappa$  – показатель адиабаты для воздуха;  $p$  – статическое давление, Па;  $\rho$  – плотность влажного воздуха [7], кг/м<sup>3</sup>;  $p_0$  – полное давление, Па.

В некоторых случаях формулу (1) преобразуют с учетом использования уравнения состояния идеального газа [9], пренебрегая влажностью воздуха:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot T_0 \cdot \kappa}{M_{\text{возд}} \cdot (\kappa - 1)} \cdot \left[ \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]}, \quad (2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная для сухого воздуха, Дж/(К·моль);  $T_0$  – температура воздушного потока в форкамере, К,  $M_{\text{возд}}$  – молярная масса сухого воздуха, кг/моль.

Такое преобразование дает существенную методическую погрешность (рис. 1), которая возрастает с увеличением температуры и влажности воздуха. Поэтому формула (2) применима только при отрицательных температурах.

Формула (1) получена интегрированием по давлению отношения приращения внутренней энергии к работе сил давления с последующей подстановкой результата в уравнение Бернулли и является более точной, чем применяемая в классическом пневмометрическом методе. Однако рекомендуемая СТО формула учитывает сжимаемость поправкой, сводя методическую погрешность к пренебрежимым значениям (рис. 1), что дает полные основания применять ее для точных измерений.

## Методическая погрешность измерений

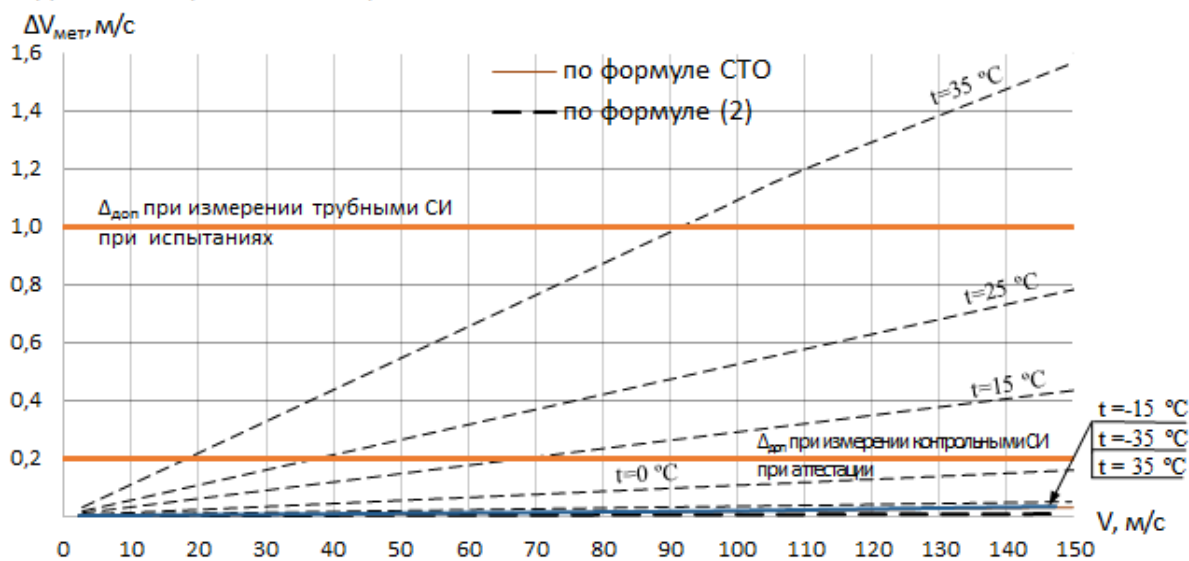


Рис. 1

Следует отметить, что при переходе от малых к большим дозвуковым скоростям [10] затруднительно обеспечить требуемую инструментальную погрешность для измерений при аттестации АДТ (рис. 2): для пневмометрического метода при  $V \geq 100$  м/с требуется использование эталонов 1 разряда по ГПС [11], а для альтернативного метода – эталонов 1 разряда по ГПС [12] и только в диапазоне больших дозвуковых скоростей (для скорости менее 100 м/с погрешность альтернативного метода выходит за допустимые пределы даже при использовании эталонов 1 разряда). Требования к погрешности измерений при испытаниях в АДТ трубными СИ обеспечивают оба метода стандартными датчиками.

## Инструментальная погрешность измерений

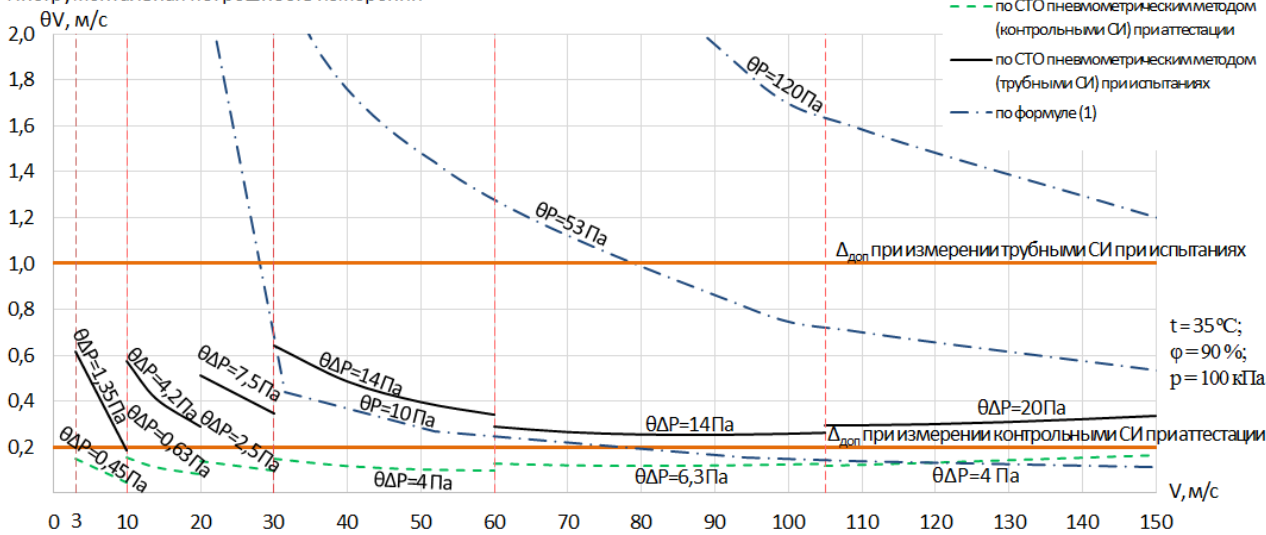


Рис. 2

Так как формула (1) близка к выражению для определения числа Маха и также основана на измерениях абсолютного давления, потенциально она может использоваться в эталонных установках для передачи единицы скорости воздушного потока от вторичного эталона ЭМС 0,05/100 (эталона-копии) к рабочему эталону больших дозвуковых и сверхзвуковых скоростей в соответствии с ГПС [13].

## Литература

1. О.В. Довыденко, С.Ю. Хижняк. СТО СМК 7-156-2023 Аэродинамические трубы малых дозвуковых скоростей. Типовая методика измерений скорости воздушного потока. Редакция № 1. – Введ. 2023-04-14. – 29 с.
2. А.Н. Петунин. Методы и техника измерений параметров газового потока – М.: Машиностроение, 1996. – 380 с.



3. ГСО ЕИ МИ 2000-89. Трубы аэродинамические малых дозвуковых скоростей. Методика метрологической аттестации. – Введ. 1990-01-01. –М.: Изд-во стандартов, 1990. – 18 с.
4. 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.
5. 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-ой 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.
6. 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;
7. 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>
8. А.К. Мартынов. Прикладная аэродинамика – М.: Машиностроение, 1972. – 448 с.
9. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа – М.: Наука, 1978. – 736 с.
10. В.Т. Калугин, А.Ю. Луценко, Е.Г. Столярова, А.И. Хлупнов. Аэродинамические трубы дозвуковых и сверхзвуковых скоростей – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 28 с.
11. Государственная поверочная схема для средств измерений разности давлений до  $1 \cdot 10^5$  Па (утв. приказом Росстандарта от 31 августа 2021 г. № 1904).
12. Государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне  $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^7$  Па (утв. приказом Росстандарта от 6 декабря 2019 г. № 2900).
13. Государственная поверочная схема для средств измерений скорости воздушного потока (утв. приказом Росстандарта от 25 ноября 2019 г. № 2815).

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

**И.К. Хужахметов**

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  
ilmir.huzha@gmail.com

## **Аннотация**

*Цель работы рассмотреть оптимизацию затрат рабочего времени поверителя средств измерений на проведение поверки измерительных каналов путем использования OPC сервера. OPC (аббр. от англ. Open Platform Communications, ранее англ. OLE for Process Control) – это набор программных технологий, которые предоставляют единый интерфейс для управления различными устройствами и обмена данными.*

**Ключевые слова:** оптимизация, поверка, орс сервер, информационно-измерительные системы

Краткий обзор проведения поверки обычным способом, чтобы доказать актуальность рассматриваемой темы.

Сравнительный анализ проведения поверки измерительных каналов вручную и с использованием OPC-сервера для сокращения времени оформления результатов.

Использование OPC-технологии позволяет с легкостью использовать различные приборы и измерительные системы разных производителей при построении многофункциональных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) с возможностью масштабирования и взаимозаменяемости программных и аппаратных средств.

Автоматизированная подача сигналов на информационные каналы, формирование заданного формата протокола по каналам, в результате получать окончательный вид готового протокола.

Увеличение скорости проведения поверки примерно в три раза.

## **Литература**

1. МИ 2438-97. ГСИ. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. основные положения.
2. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Изд. второе, Киев: Вища школа, 1983. - 455 с.
3. ГОСТ Р 8.596-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения
4. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харазов В.Г. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. Под редакцией Харазова В.Г. - Санкт-Петербург: Изд-во "Р-2", 2004. - 367 с.
5. Data Access Automation Interface Standard. Version 2.02, Feb. 4, 1999. - OPC Foundation, 1994. - 100 p.

# МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНОЙ ДЛЯ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

**И.К. Хужахметов**

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»),  
Стерлитамак, Российская Федерация  
621lnur@mail.ru

## **Аннотация**

*Предложено модернизация установки поверочной для счетчиков газа с целью ее автоматизации и снижения трудоемкости работы с ней. Результат достигается за счет применения специально написанной программы и сборки шкафа управления на базе контроллера.*

**Ключевые слова:** установка поверочная, модернизация, автоматизация, поверка, счетчик газа, контроллер

В настоящее время трудно себе представить какой-либо вид деятельности без автоматизации. Необходимость автоматизировать процесс возникает, если этот процесс довольно трудоемок, а его время выполнения становится неудовлетворительным. Автоматизация позволяет упростить сложные операции, связанные с расчётами, а также исключить человеческий фактор.

Автоматизация – также одно из направлений повышения эффективности метрологических работ, приведённое обеспечить высокие темпы научно-технического прогресса.

В процессе работы с любой установкой возникают идеи по улучшению. Это может быть улучшение метрологических и технических характеристик или автоматизации установки.

Модернизация установки поверочной для счетчиков газа заключается в написании собственной программы управления, добавлении электромагнитных клапанов и сбор шкафа управления на базе контроллера. Программа позволит управлять установкой, собирать информацию со всех датчиков, выполнять расчеты согласно методике поверки, оформлять результаты поверки с формированием протокола для дальнейшей распечатки и сохранения в базу данных.

После внедрения полученных результатов исследования позволит упростить работу поверителя с установкой, уменьшить время в части обработки полученных данных, исключить влияние человеческого фактора на результаты поверки.

## **Литература**

1. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 мая 2022 г. № 1133 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа».
2. ГОСТ 8.324-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики газа. Методика поверки.
3. ГОСТ Р 8.993–2020 Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к средствам измерений расхода и объема газа
4. Установка поверочная для счетчиков газа «УПСГ-БП-40» Руководство по эксплуатации. ГМ 004.00.00 40 РЭ.
5. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. - Москва: Гор. линия-Телеком, 2013. - 606 с.

# ОСОБЕННОСТИ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

О.М. Чернышева, И.А. А.А. Горшкова

Акционерное общество «Русатом Автоматизированные системы управления»  
(АО «РАСУ»),  
Москва, Российская Федерация,  
info@rasu.ru

## Аннотация

Доклад посвящен основным вопросам в части метрологического обеспечения измерительного оборудования, возникающим в связи с необходимостью выполнения требований зарубежного законодательства в рамках исполнения международных контрактов на строительство объектов использования атомной энергии. Освещены вопросы калибровки средств измерений для продукции, поставляемой из Российской Федерации на международные проекты, а также различия в понимании термина «калибровка» в Российской Федерации и за рубежом.

**Ключевые слова:** зарубежная метрология, поверка, калибровка, взаимное признание, ILAC, АСК

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (далее — ОЕИ) в соответствии с [1] к применению допускаются средства измерений (далее – СИ) утвержденного типа, прошедшие поверку. При этом, утверждение типа СИ и поверка СИ в соответствии со статьей 1 пунктом 1 [1] имеют юридическую силу только на территории Российской Федерации (далее – РФ). Таким образом, вне территории РФ, для СИ, на которые распространяются требования [2], может применяться калибровка. Калибровку СИ в Европейском Союзе осуществляют компетентные организации, аккредитованные в соответствии с требованиями [1]. В мировом сообществе знаком качества продукции в части ОЕИ является присвоение знака ILAC MRA, который является зарегистрированным международным знаком, принадлежащим Международной организации по аккредитации лабораторий. Наличие знака ILAC MRA на сертификатах калибровки способствует международному признанию выпускаемой производителем продукции при ее реализации за рубежом. Возникает вопрос, имеется ли на территории РФ система калибровки, результаты которой могут отвечать данным критериям и могут быть признаны зарубежными коллегами. Сравним два определения калибровки: понятие «калибровка», приведенное в [1] и определение «калибровка» из [5]. На первый взгляд эти два определения не имеют ничего общего, ввиду чего между российскими и зарубежными коллегами часто возникает взаимное недопонимание. Рисунок 1 демонстрирует результаты калибровки в понимании [5].

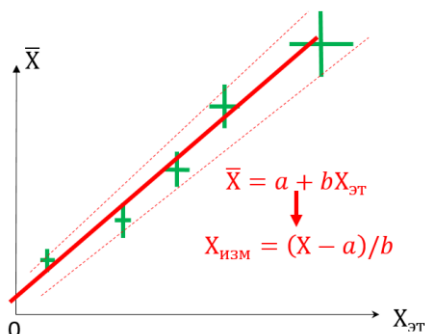


Рис. 1

Зеленым цветом показаны «значения величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующие показания с присущими им неопределенностями». Красным цветом показано построенное по результатам измерений «соотношение» между ними –

калибровочная характеристика (например, для линейного случая), из которой может быть установлено «соотношение, позволяющее получать результат измерения исходя из показания» (например,  $X_{изм}=(X-a)/b$ ). Красным пунктиром показаны границы доверительного интервала для калибровочной характеристики, которые и представляют неопределенность результатов калибровки. Описанное построение и применение калибровочной характеристики говорит о том, что она является метрологической характеристикой (далее - МХ) калибруемого СИ. Как только мы назвали калибровочную характеристику метрологической, становится ясным, что понятие калибровки по [1] соответствует определению калибровки по [5]. На сегодняшний день приказом [7] создана и функционирует система калибровки в ОИАЭ (далее - АСК) в основе которой лежит приказ [8]. АСК, опираясь на понятие калибровки по [1], не противоречит и международному пониманию калибровки [5]. В связи с этим, для проектов по строительству ОИАЭ предпочтительнее использовать систему АСК, а тема признания АСК для международных проектов на данный момент является наиболее актуальной.

### **Литература**

1. Федеральный Закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 17.07.2023 № 1/14-НПА «Об определении измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии, и установлении к ним обязательных метрологических требований, в том числе показателей точности измерений».
3. Директива Европейского Парламента и Совета ЕС 2014/68/ЕС.
4. Директива Европейского Парламента и Совета ЕС 2014/32/ЕС.
5. JCGM 200:2012 «Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и связанные с ними термины VIM».
6. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
7. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 01.12.2017 №1/1210-П.
8. Приказ Госкорпорации «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».

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ОСТЕКЛОВАННЫХ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ

Е.В. Чухланцева, О.В. Степанова, К.А. Джевелло, О.Ю. Диченко, Ю.М. Татарникова

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Производственное объединение «Маяк»  
(ФГУП «ПО «Маяк»),  
Озерск, Российская Федерация,  
ORCID: 0009-0006-1245-1011, -mail: cpl@po-mayak.ru

## **Аннотация**

*Разработаны методики измерений радиологически значимых радионуклидов в остеклованных высокоактивных отходах:  $^{129}\text{I}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{135, 137}\text{Cs}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{79}\text{Se}$ , изотопов  $\text{U}$ ,  $\text{Np}$ ,  $\text{Pu}$ ,  $\text{Am}$ ,  $\text{Cm}$ . Проведена аттестация методик и установлены метрологические характеристики. Проведен анализ полученных результатов измерений содержания радионуклидов и оценена возможность применения разработанных методик для анализа радиоактивных отходов.*

**Ключевые слова:** аналитическая химия, инструментальный контроль, метрологическая характеристика, радиоактивные отходы, остеклованные высокоактивные отходы

При переработке отработанного ядерного топлива (далее — ОЯТ) образуются радиоактивные отходы (далее — РАО). Анализ содержания радиологически значимых радионуклидов (далее — РЗРН) в РАО необходим для оценки безопасности их долговременного захоронения [469].

РЗРН — это нуклиды с большим периодом полураспада, высоким пределом растворимости, низкой сорбционной способностью или высокой летучестью [469]-[469].

Расчетные методы определения содержания РЗРН в РАО [469]-[469] дают результаты расчетной оценки со значительной неопределенностью. Поэтому необходимы инструментальные методы измерения.

Исследовали возможность измерений удельной активности (далее — УА) РЗРН в остеклованных высокоактивных отходах (далее — ОВАО). Выбрали методы, позволяющие измерять УА РН на уровне ожидаемого содержания в ОВАО, нашли способы устранить мешающее влияние компонентов пробы. Разработанные методики опробовали на реальных образцах ОВАО. Образец ОВАО растворяли в азотной кислоте. Методы выделения и измерений представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

РН	Пробоподготовка	Измерение
$^{14}\text{C}$	Трехкратная отгонка, поглощение в щелочной раствор [469]	ЖСС <sup>1</sup>
$^{129}\text{I}$	Пятикратная экстракция четырехлористым углеродом, рекстракция раствором сульфита натрия [469]	ЖСС <sup>1</sup>
$^{36}\text{Cl}$	Двукратное осаждение в виде хлорида серебра, растворение осадка, выделение фракции хлоридов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии	ЖСС <sup>1</sup>
$^{79}\text{Se}$	Измерение в растворе ОВАО без выделения, так как не удалось подобрать технически осуществимый метод выделения. За содержание селена-79 принимали содержание всех нуклидов с массой 79 а.е.м.	ИСП МС <sup>2</sup>
$^{99}\text{Tc}$	Экстракционно-хроматографическое выделение на стеклянных колонках с сорбентом. Сорбент — сополимер стирола с дивинилбензолом LPS-500, импрегнированный метилтриоктиламмоний нитратом (МТОАН) [469]	ИСП МС <sup>2</sup>
$^{234, 235}\text{U}$	Экстракционно-хроматографическое выделение на стеклянных колонках с сорбентом. Сорбент — сополимер стирола с дивинилбензолом LPS-500, импрегнированный диизооктилметилфосфонатом (ДиОМФ)	ИСП МС <sup>2</sup>
$^{237}\text{Np}$	Экстракционно-хроматографическое выделение на стеклянных колонках с сорбентом. Сорбент — сополимер стирола с дивинилбензолом LPS-500, импрегнированный метилтриоктиламмоний нитратом (МТОАН)	ИСП МС <sup>2</sup>

<sup>239-242</sup> Pu	Экстракционно-хроматографическое выделение на стеклянных колонках с сорбентом. Сорбент — сополимер стирола с дивинилбензолом LPS-500, импрегнированный метилтриоктиламмоний нитратом (МТОАН)	ИСП МС <sup>2</sup>
<sup>238</sup> Pu		Альфа-спектрометрия
<sup>241, 242</sup> Am, <sup>245</sup> Cm	Экстракционно-хроматографическое выделение на стеклянных колонках с сорбентом. Сорбент — сополимер стирола с дивинилбензолом LPS-500, импрегнированный тетраоктилдигликольамидом (ТОДГА)	ИСП МС <sup>2</sup>
<sup>137</sup> Cs	Измерение в растворе ОВАО без выделения	Гамма-спектрометрия
<sup>135</sup> Cs	Сорбция на фосфоромолибдате аммония, десорбция раствором нитрата аммония (не количественно). Определение изотопного состава цезия и вычисление содержания цезия-135 пропорционально содержанию цезия-137	ИСП МС <sup>2</sup>
<sup>1</sup> ЖСС — жидкостная сцинтилляционная спектрометрия.		
<sup>2</sup> ИСП МС — масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.		

Провели аттестацию методик и установили метрологические характеристики экспериментально-расчетным способом в соответствии со стандартом [469]. Набор статистических данных проводили на имитационных растворах, близких по химическому составу к раствору ОВАО. Для оценки случайной составляющей погрешности провели по n (от 10 до 21) параллельных определений в k (от трех до шести) точках диапазона измерений. Проверили гипотезу о нормальном законе распределения. Проверили дисперсии на однородность и в зависимости от заключения разбили диапазон измерений на поддиапазоны или присвоили всему диапазону наибольшее значение среднеквадратического отклонения. Оценку неисключенной систематической составляющей погрешности вычислили с учетом погрешностей применяемых при пробоподготовке и измерениях средств измерений, градуировочных характеристик, стабильности показаний прибора. Показатель правильности устанавливали с использованием стандартного образца (готовили добавлением к имитационному раствору аттестованных растворов РН или образцовых растворов РН), метода добавок или метода изменения измеряемого параметра (разбавления). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

РН	Ожидаемое содержание, Бк/г ОВАО	Диапазон измерений, Бк/г	Доверительные границы суммарной относительной погрешности δ
<sup>14</sup> C	8,0·10 <sup>1</sup> [469]	От 4,8 до 4,6·10 <sup>2</sup>	± 0,42
<sup>129</sup> I	2,9·10 <sup>1</sup> [469]	От 4,7 до 2,3·10 <sup>2</sup>	± 0,44
<sup>36</sup> Cl	2,9 [469]	От 2,8 до 2,0·10 <sup>2</sup>	± 0,45
<sup>99</sup> Tc	2·10 <sup>5</sup> [469]	От 3·10 <sup>3</sup> до 2·10 <sup>6</sup>	± 0,33
<sup>135</sup> Cs	1,6·10 <sup>4</sup> [469]	От 4·10 <sup>3</sup> до 1·10 <sup>5</sup>	± 0,24
<sup>237</sup> Np	1,7·10 <sup>2</sup> [469]	От 6,9·10 <sup>1</sup> до 3,2·10 <sup>3</sup>	± 0,22
		От 3,5·10 <sup>1</sup> до 3,9·10 <sup>2</sup>	± 0,44
<sup>234</sup> U	4,5·10 <sup>2</sup> [469]	От 3,9·10 <sup>2</sup> до 4,3·10 <sup>4</sup>	± 0,20
		От 1,2·10 <sup>-2</sup> до 1,4·10 <sup>-1</sup>	± 0,44
<sup>235</sup> U	4,8 [469]	От 1,4·10 <sup>-1</sup> до 1,5·10 <sup>1</sup>	± 0,20
		От 9,9·10 <sup>4</sup> до 4,9·10 <sup>5</sup>	± 0,44
<sup>238</sup> Pu	4,1·10 <sup>6</sup> [469]	От 4,9·10 <sup>5</sup> до 4,3·10 <sup>7</sup>	± 0,31
		От 3,6·10 <sup>2</sup> до 1,8·10 <sup>3</sup>	± 0,44
<sup>239</sup> Pu	4,3·10 <sup>4</sup> [469]	От 1,8·10 <sup>3</sup> до 1,6·10 <sup>5</sup>	± 0,31
		От 1,3·10 <sup>3</sup> до 6,5·10 <sup>3</sup>	± 0,44
<sup>240</sup> Pu	1,3·10 <sup>5</sup> [469]	От 6,5·10 <sup>3</sup> до 5,7·10 <sup>5</sup>	± 0,31
		От 6,0·10 <sup>5</sup> до 3,0·10 <sup>6</sup>	± 0,44
<sup>241</sup> Pu	7,2·10 <sup>6</sup> [469]	От 3,0·10 <sup>6</sup> до 2,6·10 <sup>8</sup>	± 0,31
		От 2,3·10 <sup>1</sup> до 1,1·10 <sup>2</sup>	± 0,44
<sup>242</sup> Pu	2,2·10 <sup>2</sup> [469]	От 1,1·10 <sup>2</sup> до 1,0·10 <sup>4</sup>	± 0,31
		От 2,4·10 <sup>5</sup> до 8,0·10 <sup>6</sup>	± 0,26
<sup>241</sup> Am	3,6·10 <sup>6</sup> [469]	От 1,4·10 <sup>4</sup> до 4,7·10 <sup>5</sup>	± 0,26
<sup>243</sup> Am	4,2·10 <sup>5</sup> [469]	От 1,2·10 <sup>3</sup> до 1,2·10 <sup>4</sup>	± 0,31
<sup>245</sup> Cm	5,2·10 <sup>3</sup> [469]		

$^{137}\text{Cs}$	$1,5 \cdot 10^9$ [469]	От $2,0 \cdot 10^7$ до $2,0 \cdot 10^{10}$	$\pm 0,12$
$^{79}\text{Se}$	$9,9 \cdot 10^3$ [469]	От $3 \cdot 10^3$ до $6 \cdot 10^3$	$\pm 0,41$
		От $6 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^5$	$\pm 0,32$

Проанализировали результаты измерений РН в ОВАО. Вычислили усредненное значение глубины выгорания топлива и обогащение урана по изотопу уран-235. Измеренные значения УА хлора-36, плутония-238, юрия-245 и селена-79 не коррелируют со значениями глубины выгорания и обогащения, полученными расчетным путем и вычисленным по результатам измерений. Для этих РН результаты измерений инструментальными методами не достоверны, рекомендовано использовать расчетные значения. Для остальных РН разработанные методики дают удовлетворительные результаты.

### Литература

1. Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 года № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
2. Самойлов А. А., Блохин П. А., Болдырев К. А., Уткин С. С., Семенов М. А., Коновалов В. Ю. Методический подход к определению радиологически значимых радионуклидов для оценки долговременной безопасности пунктов долговременного захоронения радиоактивных отходов // Вопросы радиационной безопасности. 2017. N 3. С. 21-31.
3. Александрова Т. А., Блохин П. А., Самойлов А. А., Курындин А. В. Анализ данных по радионуклидному составу РАО в контексте оценки долговременной безопасности их захоронения // Радиоактивные отходы. 2018. N 2 (3). С. 44-51.
4. Ремизов М. Б., Козлов П. В., Борисенко В. П., Дементьева И. И., Блохин П. А., Самойлов А. А. Разработка алгоритма оценки радионуклидного состава остеклованных ВАО ФГУП «ПО «Маяк» для цели их безопасного захоронения // Радиоактивные отходы. 2018. N 3 (4). С. 102-110.
5. Елагина Л. Г., Ремизов М. Б., Козлов П. В., Дементьева И. И. Разработка автоматизированной базы данных для создания методических основ системы характеристики остеклованных ВАО, накопленных на ФГУП «ПО» Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 2023. N 4 (112). С. 20-27.
6. Богатов С. А. Блохин П. А., Козлов П. В., Ремизов М. Б. Оценочный расчет активности некоторых долгоживущих радионуклидов в составе РАО класса 1 — остеклованных ВАО, образующихся при переработке ОЯТ реакторов ВВЭР // Вопросы радиационной безопасности. 2019. N 2. С. 39-46.
7. Богатов С. А., Блохин П. А., Уткин С. С., Дорофеев А. Н., Киселев А. И., Козлов П. В., Лукин С. С., Ремизов М. Б., Семенов М. А. Усредненные оценки удельной активности и тепловыделения остеклованных высокоактивных отходов, накопленных на ФГУП «ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 2021. N 3 (103). С. 3-12.
8. Чухланцева Е. В., Степанова О. В., Диченко О. Ю., Зайцева Т. А., Джewelло К. А., Мурашева Е. Л., Татарникова Ю. М., Беланова Е. А., Блохин П. А. Определение радиологически значимых радионуклидов углерода-14, технеция-99, йода-129 в остеклованных высокоактивных отходах, образующихся при переработке отработавшего ядерного топлива // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78, N 12. С. 1151-1162.
9. ГОСТ Р 8.997-2021 Государственная система обеспечения единства измерений. Алгоритм оценки метрологических характеристик при аттестации методик измерений в области использования атомной энергии. М.: Стандартинформ, 2021. 81 с.



# ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ПРИ ОЦЕНКЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

А.Э. Шафигина <sup>1)</sup>, А.И. Сойко <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 – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»),  
Казань, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0009-0006-9095-0668>, [shafigina.98@mail.ru](mailto:shafigina.98@mail.ru)

<sup>2)</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ,  
Казань, Российская Федерация

## **Аннотация**

*В докладе рассматривается применение одного из инструментов качества – контрольной карты Шухарта при оценке и прогнозировании вероятности наступления метрологического отказа средств измерений на примере установок поверочных, применяемых для поверки средств измерений массового расхода жидкости. Даны рекомендации по реализации данного инструмента и оценка его применимости для анализа метрологической надежности.*

**Ключевые слова:** *контрольные карты, риски, метрологический отказ, система менеджмента качества, метрологическая надежность, расходомеры*

Одним из важных условий стабильной работы средств измерений в течение срока службы является оценка влияющих факторов, которые могут привести к функциональным отказам [1], в том числе метрологическим [2,3]. Для реализации данной оценки применяются различные методы риск-ориентированного подхода [4,5]. В качестве одного из методов оценки риска наступления метрологического отказа возможно применение одного из семи простых инструментов качества – контрольных карт Шухарта [6,7], позволяющих выявлять изменчивость, обусловленной неслучайными причинами, и приводить процесс в состояние статистической управляемости.

Карта имеет центральную линию (CL), соответствующую опорному значению характеристики, две статистически определяемые контрольные границы, расположенные по обе стороны от центральной линии – верхняя (UCL) и нижняя (LCL) [8].

Рассмотрим пример применения контрольных карт для анализа работы эталонной установки при измерении массового расхода жидкости во время поверки массовых расходомеров. В качестве исходных данных используются 12 протоколов поверки однотипных массовых расходомеров СРМ за 2023-2024 год, например, в одной точке массового расхода, равную 10 т/ч при соблюдении следующих условий: одинаковое время измерений, одинаковые температура и давление окружающей и измеряемой среды. Для оценки вероятности выхода за допустимые значения характеристик точности (метрологического отказа) применяется контрольная карта средних значений  $\bar{X}$  (рис.1) и размаха R (рис.2) [8].

На  $\bar{X}$ -карте откладываются средние значения измерений массового расхода из каждого протокола поверки (предварительно пронумерованных от 1 до 12). CL принимается равной установленной точке массового расхода (10 т/ч), LCL и UCL рассчитаны согласно таблице 1 ГОСТ Р ИСО 2670-2-2015. На R-карте откладываются средние значения размахов (разница между максимальным и минимальным значением) при измерении массового расхода, LCL и UCL рассчитаны согласно таблице 1 ГОСТ Р ИСО 2670-2-2015.



Рис. 1 – Контрольная карта средних значений измерений массового расхода

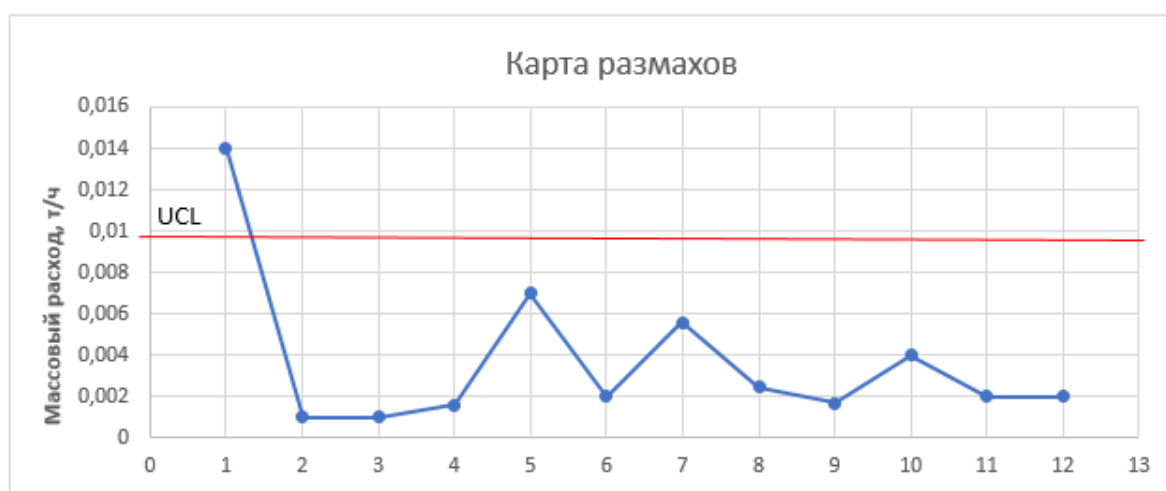


Рис. 2 – Контрольная карта размахов значений измерений массового расхода

В ГОСТ Р ИСО 2670-2-2015 приведены определенные критерии для интерпретации типовых систематических или неслучайных структур в расположении данных на контрольной карте средних значений [8]. Для этого область карты разделяют на области А, В, С и анализируют наличие критериев в данных областях [8].

Анализ контрольных карт показал, что из всех результатов измерений за контрольные границы вышла только одна точка, соответствующая данным из протокола №1, остальные критерии показали отсутствие влияния случайных или особых причин на процесс. Кроме того, согласно R-карте, в протоколе №1 наибольшая разница между результатами измерений. Дальнейшая оценка результатов измерений в протоколе №1 показала, что условия проведения измерений оставались постоянными, но в процессе измерений увеличивалось значение массы жидкости, что стало причиной нестабильного воспроизведения значений массового расхода жидкости эталонной установкой, хоть и в допустимых отклонениях. Это могло быть связано с некорректной работой насосов, но как видно из полученных контрольных карт, данные из следующих протоколов поверки не выходят контрольные границы, что означает устранение данной проблемы на текущий момент, процесс считается статистически управляемым, вероятность наступления метрологического отказа до периодической поверки (аттестации) мала. В случае, если на контрольной карте наблюдается тенденция приближения к контрольным границам, данный факт означает высокую вероятность наступления метрологического отказа.

Применение контрольных карт позволяет своевременно среагировать на изменения в процессах, например, приближение точек к контрольным границам, что снижает риск появления метрологических отказов. Данный анализ необходимо проводить на постоянной основе с проведением соответствующих корректирующих мероприятий.

## Литература

1. ГОСТ Р 27.102-2021 Национальный стандарт. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения– Введ.2022. – 01. – 01. – М.: Стандартинформ, 2022. – 24 с.
2. РМГ 74-2004 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений»– Введ. 2005-03-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 24 с.
3. РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения– Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 60 с.
4. Сулаберидзе, В.Ш., Неклюдова А.А., Михеев В.А. Метрологическая надежность средств измерений: учебно – методическое пособие – Санкт-Петербург: Реноме, 2023. – 136 с.
5. Сулаберидзе В.Ш., Неклюдова А.А. Метрологическая надежность средств измерений и оценка риска метрологического отказа // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2023, №4, с. 574-585 DOI: 10.17277/vestnik.2023.04.pp.574-585.
6. ГОСТ Р 31000-2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство – Введ.2020. – 03. – 01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 19 с.
7. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска– Введ.2020. – 03. – 01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 90 с.
8. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта – Введ.2016. – 12. – 01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 46 с.

# ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРОНИ И АЛГОРИТМА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ СИГНАЛА

А.Л. Шестаков, О.Л. Ибряева, В.А. Еремеева

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
(ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»),  
Челябинск, Российская Федерация  
ORCID: 0000-0002-0125-1069, ibriaevaol@susu.ru

## Аннотация

В статье рассматривается задача оценки состояния и достоверности показаний датчика давления на основе определения значений частот полученных с датчика ультразвуковых сигналов. Показано, что набор собственных частот датчика соответствует его состоянию и меняется при возникновении неисправностей и ложных показаниях. Предложен метод оценки собственных частот на основе модификации метода Прони за счет совместного использования полиномов линейного предсказания вперед и назад и завышенного порядка предсказания. Показано, что точность определения частот сигнала методом Прони зависит от частоты дискретизации сигнала и предложен алгоритм поиска ее оптимального значения.

**Ключевые слова:** метод Прони, экспоненциальный анализ, оптимальная частота дискретизации, датчик давления

Мониторинг технического состояния компонентов систем автоматического управления, в частности, датчиков давления, является неотъемлемой частью современных производственных процессов. В соответствии с ГОСТ Р 8.673-2009, интеллектуальным является датчик, который обладает функцией метрологического самоконтроля, то есть обеспечивает автоматическую проверку того, находится ли его текущая погрешность измерений в заданных пределах [1]. Необходимым является обеспечение возможности оценки технического состояния средства измерения.

В настоящей работе проведена диагностика преобразователя давления на основе воздействия на преобразователь ультразвуковым импульсом и дальнейшей оценки частот в его выходном сигнале с помощью модификации метода Прони. Мы используем сегментированный метод Прони [2] с завышенным порядком и полиномами линейного предсказания вперед и назад, разработанный специально для потока импульсов в виде комбинации комплексных экспонент, возникающих в случайные моменты времени.

Частота дискретизации, с которой собираются отсчеты сигнала влияет на обусловленность матриц, возникающих в методе Прони, и, как следствие, на точность определения параметров сигнала [3, 4]. Оптимальное значение частоты дискретизации определяется по формуле:

$$Fs_{\text{опт}} = 4n \cdot \frac{\sum_{k=1}^n f_k^2}{\sum_{k=1}^n (2k-1)f_k}, \quad (1)$$

где  $f_k$  – примерные оценки значений частот в сигнале, полученные, например, при анализе его спектра Фурье.

Для затухающего синусоидального сигнал  $s(t)$  частоты 1 кГц, синтезированного при помощи генератора, оптимальное значение частоты дискретизации, вычисленное по формуле (1), составляет 4 кГц. На рисунке 1 представлены матожидание и дисперсия оценок частоты сигнала при разных значениях его частоты дискретизации. Отношение сигнал/шум вычислялось по формуле:

$$SNR = 10 \lg \frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{сигнал}} = \sum_{k=1}^n s(t_k)$  – мощность сигнала,  $P_{\text{шум}}$  – мощность шума. При значении  $Fs = 4000$  Гц, оценка частоты лучше, что показывает важность частоты дискретизации для работы метода Прони. В связи с этим, сигнал с преобразователя давления проходит предварительную фильтрацию для выделения «подсигналов», отвечающих за определенный набор собственных частот и имеющих свою оптимальную частоту дискретизации.

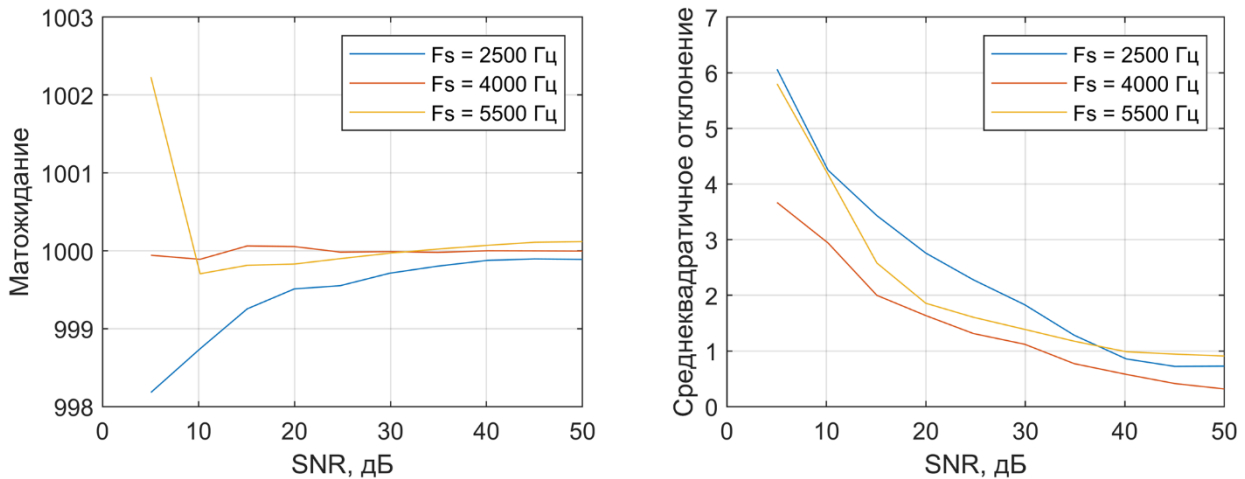


Рис.1. Матожидание и дисперсия оценки частоты синусоиды при разных значениях частоты дискретизации

На основе анализа экспериментальных данных показано, что при прикреплении к датчику давления инородного тела спектр сигнала меняется, например, усиливается частота 157 кГц, частота 5730 Гц смещается до 5500 Гц. Предложенный численный метод, сочетающий модификацию [2] с предварительной фильтрацией и выбором оптимальной частоты дискретизации, хорошо оценивает частоты в реальном сигнале и более чувствителен к их изменению, чем обычное БПФ.

#### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание на выполнение фундаментальных научных исследований №FENU-2023-0010 (2023010Г3)).

#### Литература

1. Генри, М. Самоаттестующиеся датчики // Датчики и системы. – 2002. – №1.
2. Шестаков А.Л., Семенов А.С., Ибряева О.Л., Оценка несущей частоты случайной последовательности импульсов методом Прони, Вестник ЮУрГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование, вып. 4, № 37(170), 2009.
3. Ибряева О.Л., Оценка числа обусловленности матрицы в методе Прони, Известия Челябинского научного центра. — 2010. — Т. 2, № 48. — С. 1—5.
4. Bushuev O. Y., Ibryaeva O. L. Choosing an optimal sampling rate to improve the performance of signal analysis by Prony's method. – 2012 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing. DOI: 10.1109/TSP.2012.6256374.

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ПАЛЛАДИЯ

А.П. Шипицын, А.М. Непомилуев, А.Е. Тюрнина

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  
<https://orcid.org/0000-0002-8499-369X>, [shipitsyn@uniim.ru](mailto:shipitsyn@uniim.ru)

## **Аннотация**

*Исследование проведено в целях совершенствования метрологического обеспечения измерений температуры и теплофизических величин.*

**Ключевые слова:** *стандартные образцы, термический анализ, температура фазового перехода*

В настоящее время термический анализ (ТА) относится к числу наиболее динамично развивающихся методов исследования структуры и свойств веществ и материалов. Методы ТА активно используются в различных областях химии, особенно широкое распространение они получили при исследовании полимеров, композиционных материалов, используемых при высоких температурах и в фармацевтике. [1]. В данном виде измерений применяются различные типы средств измерений (СИ): дифференциальные сканирующие калориметры, приборы синхронного термического анализа, установки дифференциального термического анализа. В ФИФ ОЕИ внесено свыше 100 типов указанных СИ.

До недавнего времени метрологическое обеспечение (МО) данного направления осуществлялось в основном за счёт разработанных во ФГУП "УНИИМ" 9 типов государственных стандартных образцов (СО) теплофизических свойств на основе лейкосапфира, хлористого калия, нержавеющей стали, галлия, индия, олова, цинка, сурьмы и молибдена [2].

Требования к СИ ТА постоянно возрастают и это связано с их незаменимостью при решении большинства научных и производственно-технологических задач. В связи с этим в последние годы остро стоит вопрос, связанный с разработкой и внедрением эталонных средств для испытаний, поверки и калибровки различных СИ температуры и теплофизических величин [1]. Часть проблемных вопросов в последние годы удалось решить [3-4]. МО в диапазоне измерений температуры от 1100 °С до 1600 °С осуществлялось с помощью эталонных термоэлектрических преобразователей (ТП), что в силу конструктивных особенностей СИ было возможно осуществить далеко не на всех приборах, оказывало влияние на возникновение температурных градиентов, связанных с размещением ТП вблизи стенок ячейки прибора, а так же на скорость и удобство проведения измерений.

В связи с вышеуказанным были проведены исследования и с применением аттестованной методики измерений разработан набор СО СОТСФ-3, который состоит из двух веществ никеля ( $T_{пл} = 1454,8$  °С) и палладия ( $T_{пл} = 1554,6$  °С). Исследования исходного материала с массовой долей основного вещества от 99,9 % до 99,99 % были проведены при использовании аттестованной методики измерений на приборе синхронного термического анализа, входящего в состав ГЭТ 173. Прослеживаемость аттестованных значений температуры фазовых переходов обеспечена к единице температуры, посредством применения СО СОТСФ, СОТС-5 и рабочих эталонов 1-го разряда в соответствии с ГПС температуры, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23.12.2022 № 3253. Сопоставление значений  $T_{пл}$  разработанных СО со справочными данными  $T_{пл}$  показывает, что они согласуются в пределах  $\pm 0,2$  °С [5]. Разработанные СО могут использоваться в электронной и химической промышленности, научных исследованиях композиционных материалов, но только при использовании керамических тиглей. Для СИ, которые комплектуются металлическими тиглями, в частности, изготовленными из платины, требуется проведение дальнейших исследований в части МО, по примеру тех, которые были выполнены коллегами из Бразилии [6].

## Литература

1. Nepomiluev A.M., Kazantsev V.V., Shipitsyn A.P. Development of reference materials for thermodynamic properties: metrological support of measurements in the field of thermal analysis and calorimetry in Russia. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2019;15(3):15-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2019-15-3-15-22>.
2. Казанцев В.В., Черепанов В.И., Сенникова В.Н. Стандартные образцы теплофизических свойств твердых веществ и материалов // Стандартные образцы. 2014. № 1. С. 66-70.
3. Nepomiluev A.M., Shipitsyn A.P., Tyurnina A.E. Study of Certified Reference Materials for Temperature and Specific Enthalpy of Phase Transitions of Metals and Metal Salts. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(4):35-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-4-35-50>.
4. Shipitsyn A.P., Nepomiluev A.M., Tyurnina A.E. Reference Materials for the Phase Transition Temperatures (Curie Temperature) Based on Alumel, Nickel and Iron Silicide. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(2):35-46. (In Russ.).
5. Документ рабочей группы WG2 Консультативного комитета по термометрии, опубликованный в 1996 г. в журнале *Metrologia*, 33, p. 133-154 “Recommended values of temperature on the ITS-90 for a selected set of secondary reference points”.
6. Zorzi, J.E., Segadães, A.M. & Perottoni, C.A. Reference material for temperature calibration of differential scanning calorimeters above 1400 °C. *J Therm Anal Calorim* **128**, 1547–1554 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10973-016-6048-8>.

# СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ РАДИАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

**М.В. Шипицына, В.В. Казанцев**

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  
<https://orcid.org/0000-0002-9203-9994>, [ShipitsynaMV@uniim.ru](mailto:ShipitsynaMV@uniim.ru)

## **Аннотация**

*Проведен анализ состояния и перспектив развития метрологического обеспечения в области измерений толщины покрытий радиационными методами, методов нанесения покрытий, применяемых методов измерений толщины покрытий и предложен путь дальнейшего совершенствования рентгенофлуоресцентного метода измерений толщины покрытий.*

**Ключевые слова:** *толщина покрытий, неразрушающие методы измерений, рентгенофлуоресцентный анализ, плотность покрытий, метод гидростатического взвешивания*

В настоящее время метрологическое обеспечение контроля качества покрытий бесконтактными методами измерений является важной задачей в различных отраслях промышленности: металлургии, в машиностроительном комплексе, авиационной промышленности, космической технике. При выходном неразрушающем контроле в микроэлектронике, оптической электронике, наноиндустрии, лазерных технологиях геометрическая характеристика покрытий такая, как толщина, является одним из основных измеряемых параметров, которая влияет на эксплуатационные характеристики и качество покрытий.

Покрытия характеризуются большим многообразием, поэтому принята определенная классификация, которая позволяет ориентироваться разработчикам технологий, потребителям, приборостроителям, а также метрологам при разработке и совершенствовании метрологического обеспечения измерений параметров покрытий. Проведен анализ основных групп методов нанесения покрытий [1, 2]. Приведены диапазоны толщины наносимых покрытий и ограничения каждого метода.

Для создания более качественного покрытия необходимо обеспечить его однородность по химическому составу и равномерность по толщине. С этой целью необходимо выбрать метод нанесения, при котором структура покрытия будет мелкозернистая, пористость материала покрытия снижена и соответственно увеличена его плотность. В результате анализа методов нанесения покрытий электрохимическое осаждение при нанесении композиционных покрытий (гальваническое соосаждение наночастиц и металлов из суспензий электролитов) установлено в качестве оптимального метода [3].

В связи с разработкой и внедрением современных технологий нанесения многокомпонентных, а также многослойных покрытий, требующих соответствующих средств неразрушающего контроля, проведен анализ неразрушающих методов измерений толщины покрытий, отличающихся диапазоном измерений, точностью, требованиями к материалу покрытий и основаниям, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Одним из наиболее распространенных и перспективных неразрушающих физических методов установлена рентгенофлуоресцентная спектрометрия. Данный метод измерений толщины покрытий имеет определенные преимущества перед другими методами прежде всего потому, что он является точным методом контроля параметров покрытий, обеспечивающим не только измерение толщины покрытий, но также поверхностной плотности и химического состава покрытий. Нормативное обеспечение в этом виде измерений представлено национальными [4, 5] и зарубежными стандартами [6-8]. К достоинству метода можно отнести экспрессность, отсутствие пробоподготовки и локальность измерения, достаточную для измерения толщины покрытий в области микроэлектроники, в частности, на контактах микрочипов.



В результате анализа ограничений по применению рентгенофлуоресцентного метода установлены вклады в погрешность результата измерений, в том числе вклад от использования стандартных справочных данных плотности материала покрытия. На практике плотность конкретного материала покрытия может отличаться от плотности материала, приведенной в стандартных справочных данных. В результате даже незначительного отклонения в значении плотности материала покрытия значение толщины покрытия, полученное расчетным методом, также будет иметь отклонение и являться менее точным, чем измерение толщины другими методами, например эллипсометрией [9].

Одним из важных параметров, характеризующих качество покрытия, его коррозионную стойкость является его плотность и пористость [10]. Для точного экспериментального определения плотности требуется выбрать оптимальный метод определения плотности материала покрытий. Был проведен системный анализ существующих методов измерений плотности твердых тел с целью определения возможности их использования при контроле качества конкретной группы материалов [11]. В ходе данного анализа предпочтительным методом применительно к покрытиям был установлен метод гидростатического взвешивания. Данный метод позволяет определить объем покрытия без нахождения его геометрических размеров. Метод позволяет существенно повысить точность измерений плотности при использовании жидкости с максимальной смачиваемостью металла [3].

С целью повышения точности измерений толщины покрытий рентгенофлуоресцентным методом с использованием Государственного первичного эталона ГЭТ 168-2015 планируется провести исследование влияния плотности покрытий на воспроизведение единицы длины применительно к толщине покрытий с применением измеренного значения поверхностной плотности и химического состава покрытий в части.

Исследование плотности покрытий позволит создать многопараметрические стандартные образцы, имеющие аттестованные характеристики покрытий: поверхностная плотность, массовая доля определяемых компонентов, плотность и толщина. Толщина покрытия будет установлена через значение плотности, полученное экспериментальным путем оптимальным методом с наивысшей точностью.

#### **Литература**

1. Б.С. Зенин, Б.Б. Овечкин. Современные технологии модифицирования поверхности и нанесения покрытий. Учебное пособие. – Т.: Томский политехнический университет, 2008.
2. С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов, А.А. Краснов, П.В. Струнkin. Исследование плотности наносимого функционального покрытия плазменным напылением с использованием методологии многофакторного эксперимента. – Воздушно-космические силы. Теория и практика, № 24, 2022.
3. О.Д. Козенков, Т.В. Пташкина, А.Т. Косилов. Плотность и микротвердость композиционных покрытий, содержащих углеродные наноматериалы. – Вестник Воронежского государственного технического университета, Т. 11, № 1, 2015.
4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.09.2018 № 2089 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений поверхностной плотности и массовой доли элементов в покрытиях.
5. ГОСТ Р 55613-2013 Контроль неразрушающий вихретоковый. Меры образцовые для проверки толщиномеров неорганических покрытий. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2015.
6. ISO 3497:2000 Покрытия металлические. Измерение толщины покрытия. Спектрометрические рентгеновские методы.
7. ASTM B568-98(2021) Стандартный рентгеноспектрометрический метод измерений толщины покрытий.
8. DIN 51418-2:2015-03 Анализ рентгеновский эмиссионный и рентгеновский флуоресцентный. Часть 2. Термины и определения и основные принципы, касающиеся измерения, калибровки и оценки результатов.
9. P. Whiteside. Techniques and Challenges for Characterizing Metal Thin Films with Applications in Photonics. – Coatings, vol. 6, 2016.
10. H. Hu, A. He, D. Aasen, S. Shukla, D.G. Ivey. Dimple grinding coupled with optical microscopy for porosity analysis of metallic coatings. – Micron, vol. 178, 2024.
11. С.С. Соколовский, О.С. Астапович. Выбор метода и средств измерений плотности пористых композиционных материалов с открытыми порами. – 12-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение - 2019», 2019.

# ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИ ИЗМЕРЕНИИ МАССЫ НЕТТО НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРНАХ В ДВИЖЕНИИ

И.Ю. Шмигельский, В.А. Чечель

Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева"  
(ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
v.a.chechel@vniim.ru

## Аннотация

В данной работе рассматривается метод измерения массы нетто нефтепродуктов в железнодорожных цистернах в движении. Для уменьшения временных издержек массу нетто нефтепродуктов в железнодорожных цистернах измеряют в движении. При данном методе измерения возникают дополнительные неучтенные факторы, которые влияют на результат измерения. В работе приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке значимости влияния данных факторов на результат измерений. Данные экспериментальные исследования проведены сотрудниками ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». В заключении речь идет о необходимости разработки методики контроля в целях учета дополнительных факторов и повышения точности измерений массы нетто нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** масса нефти, масса нефтепродуктов, дисперсионный анализ, критерий Фишера

Одним из методов измерения массы нетто нефти и нефтепродуктов является измерение в железнодорожных цистернах (далее – ЖДЦ) в движении на вагонных весах. Данный метод применяется для уменьшения временных издержек на проведение измерений, но при этом возникают дополнительные неучтенные факторы, которые могут значительно влиять на результат измерения. В связи с этим при взвешивании на вагонных весах, успешно прошедших поверку, погрешность может быть выше допустимой ( $\pm 1\%$  (брутто) и  $\pm 1,1\%$  (нетто) для состава общей массой до 1000 т и  $\pm 2,5\%$  (брутто),  $\pm 2,6\%$  (нетто) для состава общей массой более 1000 т [1]).

Для проверки значимости условий измерений на результат измерения сотрудниками ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» проведены факторные эксперименты в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Проверка значимости влияния условий измерений на результат измерений проведена с применением критерия Фишера [2]. В ходе исследования анализировалась относительная погрешность измерения массы нетто нефти и нефтепродуктов. За опорное значение массы нетто принята масса нетто, полученная в статике.

При измерении в статике состав останавливается при наезде каждой ЖДЦ на весы. Для уменьшения влияния соседних ЖДЦ на результат измерений измерения в статике могут проводиться с расцепкой с одной или с двух сторон. После проведения измерений в статике масса нетто рассчитывается по формуле (1).

$$S_n = S_g - S_t \quad (1)$$

где  $S_n$  – масса нетто нефтепродукта в статике, кг;  $S_g$  – масса брутто ЖДЦ в статике, кг;  
 $S_t$  – масса тары ЖДЦ в статике, кг.

Масса нетто нефтепродуктов при измерении в движении рассчитывается по формуле (2).

$$M_n = M_g - M_t \quad (2)$$

где  $M_n$  – масса нетто нефтепродукта в движении, кг;  $M_g$  – масса брутто ЖДЦ в движении, при движении состава, кг;  $M_t$  – масса тары ЖДЦ в движении, при движении, кг.

По результатам проверок значимости было выявлено, что на результат измерения массы нетто нефтепродуктов в движении, влияют следующие факторы:

1. Износ колесных пар ЖДЦ;
2. Разновысотность подъездных путей;
3. Резкие ускорения и замедления;

4. Длина состава;
5. Направление движения на результат измерения массы тары и брутто.

При измерениях в движении возможно два направления движения для груженого и порожнего состава (на НПЗ или от НПЗ), эти направления могут зависеть от особенностей пункта и от принятой логистики пункта. В ходе исследования выяснено, что определенные комбинации проездов могут значительно влиять на погрешность. Наиболее явно это проявляется на пунктах с большей разновысотностью подъездных путей. Пример влияния комбинаций направлений представлены на рисунках 1 и 2.

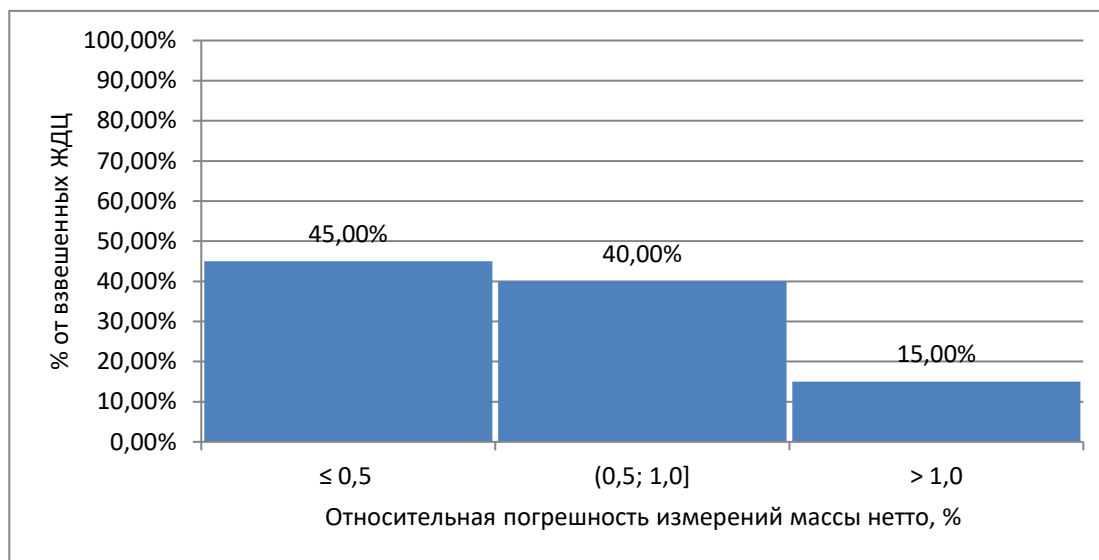


Рис. 1. Гистограмма распределения относительной погрешности измерений массы нетто ЖДЦ, при измерении массы порожних в направлении движения от НПЗ, и при измерении массы брутто в направлении движения на НПЗ.

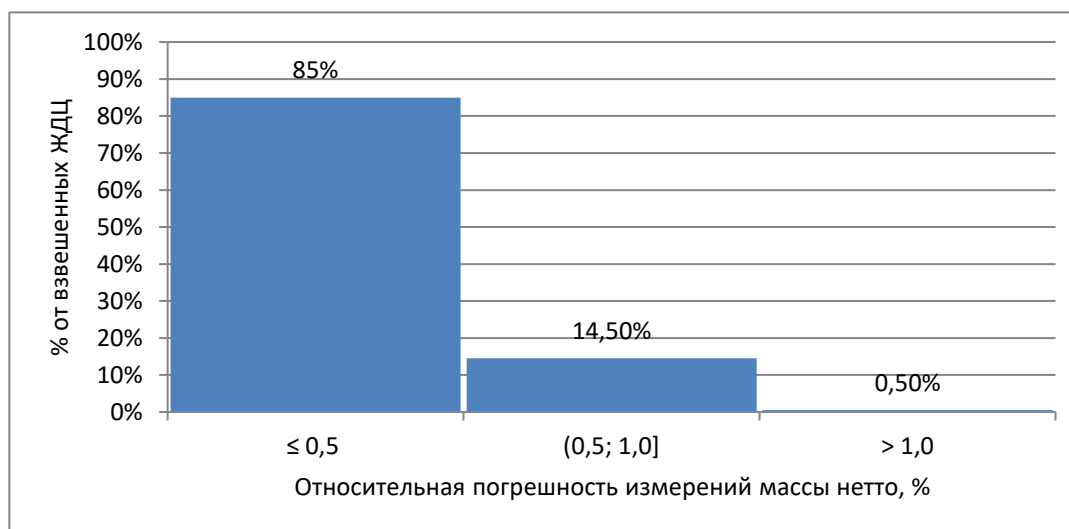


Рис. 2. Гистограмма распределения относительной погрешности измерений массы нетто ЖДЦ, при измерении массы порожних и груженых в направлении на НПЗ.

Вклады в относительную погрешность от данных факторов носят случайный характер, поэтому для уменьшения их вклада в погрешность необходимо контролировать их. Для этого для каждого измерительного пункта требуется провести дополнительные исследования для разработки методик контроля, которые будут включать в себя критерии и алгоритм контроля условий измерений.

#### Литература

1. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – С.594-596.

# ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ МНОГОЗОННОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.Д. Яковенко, И.И. Федосов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»), Челябинск, Российская Федерация,  
ORCID: 0009-0004-2120-4368, yakovenkoartem00@gmail.com

## Аннотация

Опыт эксплуатации многозонных термоэлектрических преобразователей (ТЭП) показывает рост отклонения измеряемой температуры при изменении градиента температур вдоль термоэлектродов. В работе предложен подход к повышению достоверности измерений при использовании многозонных ТЭП. Новая измерительная схема ТЭП позволяет получить дополнительные измерения электродвижущей силы (ЭДС). Полученные ЭДС используются для коррекции результатов измерения в каждой зоне ТЭП на основе метода деревьев решений.

**Ключевые слова:** многозонный термоэлектрический преобразователь, термopара, достоверность измерения температуры, коррекция результата измерений, дрейф показаний термopары, дерево решений

Многозонные термоэлектрические преобразователи (термopары, ТЭП) применяются для измерения температуры в установках для гидроочистки нефтепродуктов и в печах для термообработки. Однако при эксплуатации многозонных ТЭП возникает дрейф характеристик материалов ТЭП и отклонение показаний ТЭП в отдельных зонах при изменении градиента температур вдоль ТЭП.

Цель данной работы – экспериментально исследовать новую измерительную схему многозонного ТЭП. В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

- оценить работоспособность новой измерительной схемы многозонного ТЭП;
- исследовать проблемы при эксплуатации ТЭП и предложить методы решения на основе обработки информации от новой схемы ТЭП.

Предложенная измерительная схема многозонного ТЭП (Рисунок 1) включает 4 термоэлектрода, которые формируют три измерительных спая: один спай для температурной зоны 1 (температура  $T_1$ ), два спая для температурной зоны 2 (температура  $T_2$ ).

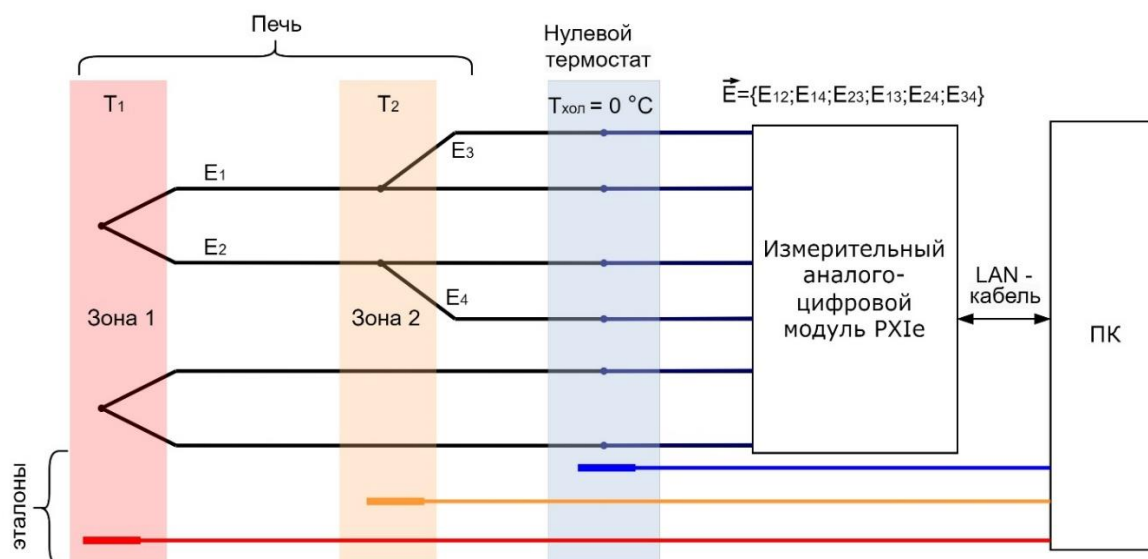


Рис. 1 – Схема эксперимента для исследования ТЭП

В эксперименте использовались традиционный и многозонный ТЭП, которые установлены в печь и подключены к контроллеру NI PXIe-8840 для измерения электродвижущей силы (ЭДС) ТЭП. При проведении эксперимента в печи температура зоны 1 составляла 500 °С, расстояние между зонами многозонного ТЭП составляло 15 см. Для контроля температуры в зонах 1, 2, и в зоне холодного спая использовались термометры сопротивления ЭТС-100.

По результатам эксперимента получены следующие ЭДС для многозонного ТЭП: E12 для зоны 1, E14 и E23 для зоны 2, вспомогательные ЭДС: E34, E13, E24. Сравнение измеренных значений ЭДС в зоне 1 с номинальным значением при данной температуре представлены на рисунке 2.

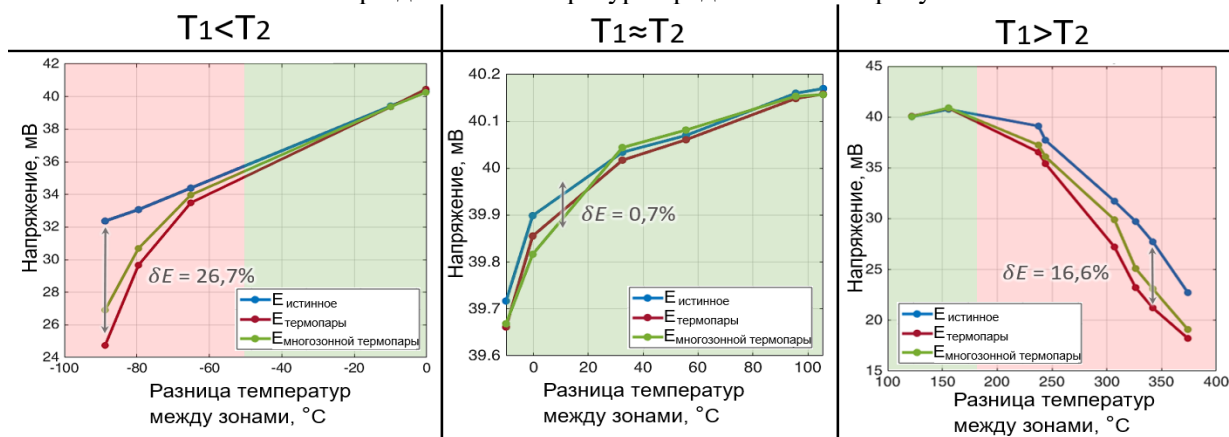


Рис. 2 – Отклонение ЭДС термоэлектрических преобразователей в зоне 1

Результаты исследования показали, что при перегреве ТЭП в зоне 2 на 50 °С и более относительно зоны 1, результат измерения ЭДС в зоне 2 отклоняется от эталонного значения ЭДС, величина отклонения достигает 26,7 %. Также, аналогичный результат наблюдается для при перегреве зоны 1 на 170 °С и более градусов относительно зоны 2, при этом отклонение достигает 16,5 %. Средняя величина отклонения температуры по измеренным данным в зоне 1 составила 27 °С.

В связи с этим, в исследовании предложена модель машинного обучения (метод дерева решений) для коррекции показаний результата измерения температуры многозонного ТЭП. Например, модель коррекции температуры в зоне 1 использует следующие входные параметры:

$$T_1 = f(T_1^*, T_2^*, E_{34}, E_{14}, E_{24}, E_{13}, E_{23}, E_{12}) \quad (1)$$

где:  $T_1^*$  и  $T_2^*$  – рассчитанные температуры до коррекции в зоне 1 и 2 соответственно;

$E_{34}, E_{14}, E_{24}, E_{13}, E_{23}, E_{12}$  – вспомогательные ЭДС.

Результаты с использованием дерева решений позволили вычислить скорректированное значение температуры в зоне 1. Средняя величина отклонения температуры после коррекции составила менее 3 °С.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание на выполнение фундаментальных научных исследований №FENU-2023-0010 (2023010ГЗ)).

### Литература

1. Королев С.А., Михеев В.П. Датчики и детекторы физико-энергетических установок: учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. 232 с.
2. Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термопар: справочник. М.: Металлургия, 1983. 356 с.
3. Рыжова А.А., Кузьмин В.В. Датчики температуры и ряда механических величин: учебно-методическое пособие. Казань: КНИТУ, 2018. 116 с.
4. Беленький А.М., Бурсин А.М., Курносое В.В. Метрология и теплотехнические измерения: учебник. М.: МИСИС, 2018. – 396 с.
5. Рыжова А.А. Устройство, работа и метрологическое обслуживание датчиков систем автоматизации: учебно-методическое пособие. Казань: КНИТУ, 2018. 220 с.
6. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. М.: Изд-во стандартов, 2001. 78 с.
7. Новотельнова А.В., Тукмакова А.С., Асач А.В. Моделирование термоэлектрических преобразователей энергии: учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2021. 48 с.
8. Дьяков С.Н. Физические основы методов контроля и испытания: учебное пособие. Рязань: РГРТУ, 2014. 96 с.

# СО Д Е Р Ж А Н И Е

## Приветствия участникам мероприятий

<i>Владимир Окреплов,</i> Академик Российской академии наук, Президент Российской Метрологической академии.....	5
<i>Михаил Юрин,</i> Заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации.....	6
<i>Антон Шалаев,</i> Руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).	7
<i>Владимир Черняк,</i> Директор Бюро по стандартам – Ответственный секретарь Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества независимых государств .....	8
<i>Антон Пронин,</i> Генеральный директор ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» .....	9
Программный комитет конференции .....	10
Организационный комитет конференции .....	13
Научный комитет конкурса.....	14

**Научные работы участников пилотного  
Международного конкурса  
«Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года**

<i>Sh.U. Abbasov, N. Aliyeva</i> Investigation of the atmosphere via atomic clocks.....	17
<i>Э.Ш. Абасбекова</i> Определение интервалов калибровки эталонного оборудования на основании результатов предыдущих калибровок.....	20
<i>И.Б. Абдумажидов, А. Анваров</i> Обеспечение прослеживаемости средств измерений вязкости путём создания стандартных образцов единицы кинематической вязкости жидкостей нефтепродуктов .....	25
<i>Р.В. Агафонов</i> Разработка АРМ специалиста группы измерения расхода и контроля качества углеводородных сред .....	29
<i>А.А. Аникин, Т. Залялютдинов и Д. Соловьев</i> Естественная асимметрия контура спектральной линии .....	33
<i>А.А. Багдюн, В.Л. Соломахо</i> Метрологическое обеспечение измерений размеров наночастиц.....	37
<i>Н.А. Бекетов</i> Исследование метрологических характеристик тройной точки диоксида углерода для определения возможности применения в качестве новой градуировочной точки МТШ-90.....	41
<i>С.А. Богомолов</i> Обеспечение достоверности результатов измерений точки росы при измерениях в условиях различных фазовых состояний воды .....	45
<i>В.В. Бокатов</i> Автоматизация измерений при проведении поверки средств измерений в ФБУ «Краснодарский ЦСМ» с помощью применения отечественных универсальных калибраторов.....	48
<i>А.П. Ворфоломеев</i> Диагностический комплекс системы противозатаскивателя буровой установки.....	52
<i>Т.В. Герасимова</i> Анализ текущего состояния национального эталона единицы коэффициента гармоник Республики Беларусь при воспроизведении единицы коэффициента гармоник измерительных сигналов с разными структурами спектра .....	57
<i>В.Я. Головий</i> Современные подходы к прогнозированию развития техники и технологии .....	60
<i>А.А. Голополосов</i> Исследование источников погрешности цифрового дифференциального поляриметра .....	63
<i>О.В. Довыденко</i> Разработка и исследование эталонов единицы длины в области измерений координат центра масс и единицы момента инерции .....	66

<i>А.Ю. Дунаев</i> Метрологическое обеспечение измерений длины волны и волнового числа в спектрофотометрии....	70
<i>А.В. Журавлев</i> Стенд контроля характеристик беспилотных авиационных систем (БАС) .....	74
<i>С.С. Икрамов</i> Разработка многофункционального прибора для метрологического контроля учёта электроэнергии .....	79
<i>В.Е. Ильзит, М. Баринова, А. Соляник</i> Цифровая трансформация процессов непрерывного повышения компетентности специалистов-метрологов .....	83
<i>А.Н. Казаков</i> Исследование средств и методов измерения температуры с целью улучшения метрологических характеристик .....	88
<i>З.И. Карымишаква</i> Исследование мерной стеклянной посуды .....	93
<i>А.В. Кисткин</i> Риски и возможности при публикации сведений о результатах поверки средств измерений в ФГИС .....	96
<i>А.В. Ковалёв, В.М. Ковальский, С.В. Бушуев</i> Оценка точности работы алгоритмов автоматической фокусировки оптических координатно-измерительных машин .....	101
<i>А.В. Козлов</i> Метрология одночастотных лазеров – обеспечение единства и точности измерений .....	105
<i>Л.А. Кондратенко</i> Перспективы развития импортозамещения прецизионных калибраторов напряжения постоянного и переменного тока в России.....	108
<i>Д.С. Крайнов</i> Метрологическое обеспечение измерений при проведении внутритрубного диагностирования магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов .....	111
<i>К.А. Кулыгина, А.А. Неклюдова</i> Анализ показателей метрологической надежности вискозиметров капиллярных стеклянных .....	115
<i>М.М. Лекомцева, А.А. Попов</i> Разработка методологии уникальной идентификации средств измерений и метрологического оборудования в условиях цифровой экономики .....	120
<i>В.П. Лопатин</i> Разработка методов и алгоритмов бистатической радиолокации на основе сигналов ГНСС .....	125
<i>В.В. Лунина, А.В. Ефременко, М.И. Алехин, С.Ю. Смольянинова</i> Цифровизация деятельности по обеспечению единства измерений в промышленной организации .	130



<i>А.И. Матвеев</i> Разработка методов и средств уменьшения погрешности передачи единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных трактах СВЧ диапазона.....	134
<i>А.В. Мельникова, В.А. Сясько</i> Обеспечение достоверности средств и методов технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов .....	136
<i>Д.В. Миранович</i> Особенности поверки счетчиков электрической энергии по месту эксплуатации .....	140
<i>В.А. Михеев</i> Высокоточная установка для измерения теплопроводности и теплового сопротивления при стационарном тепловом режиме .....	144
<i>Н.И. Мороз</i> Анализ особенностей и преимуществ использования методов рентгеновского структурного анализа для определения дислокационной структуры электротехнических анизотропных сталей.....	148
<i>М.Ж. Мусатаев</i> Автоматизированная система контроля наличия поверхностных дефектов в железнодорожных рельсах методом вихревого контроля.....	152
<i>В.Х. Нишионов</i> Экономическая эффективность законодательной метрологии в области медицинских средств измерений в Республике Узбекистан.....	156
<i>А.З. Нуриддинов, А. Эргашев, Р. Валиев</i> Разработка информационной системы автоматизации процессов метрологического контроля средств измерений (E-METROLOGIYA.UZ).....	161
<i>А.О. Отроков</i> Улучшение эффективности метрологического контроля с помощью цифровых технологий: от концепции к практике .....	165
<i>О.В. Паздников</i> Разработка калибратора токовой петли.....	168
<i>С.В. Пахомов</i> Автоматизированная система контроля давления .....	172
<i>О.Е. Первухина, М.П. Крашенинина, О.С. Голынец, А.Б. Туринцева</i> О ходе разработки исходного эталона для контроля состава и свойств воды в потоке .....	177
<i>С.А. Плеханова</i> Метрологические стенды: разработка, внедрение, эксплуатация.....	181
<i>А.С. Саванин</i> Совершенствование обеспечения единства измерений количества нефти и нефтепродуктов.....	185
<i>Е.Ю. Скотаренко</i> Стандартные справочные данные о плотности диметилового и диэтилового эфиров в широком диапазоне температур и давлений .....	190

<i>С.Б. Смагулов, К.Г. Мишагин</i> Анализ долговременных характеристик пассивных водородных стандартов частоты и времени.....	195
<i>В.А.Соколов, Я.И. Пимушкин</i> Объёмная геометрическая точность многокоординатных измерительных и технологических систем: анализ и коррекция.....	200
<i>Д.В. Соловьёва</i> Повышение эффективности работы отдела главного метролога Производственного объединения «Завод имени Серго» с применением инструментов бережливого производства .....	204
<i>П.В. Сухов</i> Преобразователи температуры кварцевые. Возможность применения в качестве эталонных термометров .....	209
<i>А.А. Таубалдиев, М. Живанович</i> Исследование полей гамма-излучения с целью повышения точности измерений, связанных с дозиметрами радиационной защиты фотонного излучения.....	214
<i>А.М. Тлеулиева</i> Метрологическое обеспечение аддитивных технологий в нефтегазовой отрасли .....	218
<i>Ю.Л. Фролова</i> Цифровизация процесса оценки состояния системы обеспечения единства измерений .....	222
<i>М.Д. Худоева</i> Установление метрологической прослеживаемости в Таджикистане и перспективы создания национального метрологического института .....	227
<i>И.В. Черников</i> Цифровизация и автоматизация процесса управления устройствами для мониторинга и измерений.....	231

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ УЧАСТНИКОВ**  
**III Международной научно-практической конференции**  
**молодых ученых и специалистов**  
**«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**

<i>С.Б. Акпанбетов, Д.С. Бобров, Р.А. Давлатов, П.Г. Харламов</i> Результаты разработки высокоточного относительного гравиметра «Пешеход».....	234
<i>Ж. Алибекова</i> Пути развития метрологического обеспечения поверочных лабораторий. Ультразвук – современное решение проблем учета газа .....	236
<i>Д.А. Антошин</i> Изготовление и применение приспособления для меры длины API RADIAN для поверки систем лазерных координатно-измерительных (трекеров) API RADIAN .....	238
<i>Н.Ю. Александров</i> Современные способы передачи единицы относительной влажности на месте эксплуатации датчиков.....	240
<i>В.В. Алехнович</i> Обеспечение достоверности результатов при комплексном контроле металлических покрытий шаровой запорной арматуры .....	242
<i>А.И. Анцукова</i> Исследование эффективной площади поршневой системы посредством определения геометрических параметров поршня и цилиндра .....	244
<i>М.О. Бабенко, Р.А. Давлатов</i> Результаты разработки и лабораторных испытаний прототипа горизонтального градиентометра на крутильных весах .....	246
<i>Д. В. Бакун</i> Предопределённая метрология .....	248
<i>М.Г. Баринаева, В.Е. Ильзит, А.И. Соляник</i> Цифровая трансформация метрологической инфраструктуры региона в рамках процессов управления персоналом.....	250
<i>А.В. Бацаров</i> Особенности прохождения процедуры аккредитации и подтверждения компетентности метрологическими службами .....	253
<i>М. П. Богданов, Л. А. Конопелько</i> Обоснование требований к испытаниям средств индивидуальной защиты органов дыхания от монооксида углерода.....	255
<i>П.В. Богданов</i> Роль поставщиков энергоресурсов при выявлении несоответствий требований обеспечения единства измерений при учете природного газа .....	257

<i>А.С. Васильев</i> Разработка стандартных образцов поверхностной плотности и массовой доли элементов в двухкомпонентных покрытиях.....	258
<i>М.Н. Вешев, П. К. Сергеев</i> Особенности поверки метеорологического оборудования в местах эксплуатации.....	260
<i>К.А. Вотяков, В.П. Назаров, В.Е. Княгинин, М.В. Карабонцева, Н.В. Брижинская</i> Методика электронного эталонирования трубопроводов сложной пространственной формы в производстве двигателей летательных аппаратов.....	262
<i>А.А. Виноградова, К.А. Доронина</i> Разработка нового подхода к классификации средств неразрушающего контроля .....	265
<i>В.Е. Георгобиани</i> Разработка вторичного эталона единицы длины на базе лазерной интерференционной установки для поверки концевых мер длины в диапазоне от 100 до 1000 мм .....	267
<i>Н.П. Горбачев, В.Н. Глотов</i> Актуальные вопросы импортозамещения средств измерений. Опытная эксплуатация в условиях воздействия агрессивных сред .....	269
<i>А. И. Дегтярев</i> Разработка методик калибровки с целью обеспечения единства измерений на предприятии .....	271
<i>А. В. Денисов, Г. В. Елецкий, Л. А. Конопелько</i> Перспективы применения люминесцентного метода измерения микросодержаний кислорода в сверхчистых газах.....	273
<i>А.С. Джурик, С.А. Мещанинов, Н.Б. Родионов, В.П. Родионова, Ю.А. Кацук, С.Ю. Обудовский</i> Программное обеспечение радиометра быстрых нейтронов РБН-А1.....	276
<i>П.П. Дмитриев, Н.Б. Заболкин</i> Цифровая экосистема ФБУ «ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ» .....	278
<i>О.В. Довыденко, О.Б. Бавыкин, А.И. Самойленко</i> Инструментальные погрешности измерений моментов инерции эталонных мер ЦАГИ методом физического маятника.....	280
<i>А.О. Долгашов, А. А. Евдокимов, Л. А. Конопелько</i> Применение источников микропотока воды в термодиффузионных генераторах для приготовления газовых смесей с микросодержанием паров воды .....	283
<i>Т.И. Другова</i> Проблемы выбора весоизмерительного оборудования по точностным характеристикам для определения механических примесей нефтепродуктов.....	285
<i>А.И. Душаева, А.Ю. Желнодеев, Д.К. Магера</i> Цифровизация метрологической службы филиала ПАО "Яковлев" – Иркутского авиационного завода .....	288
<i>К.В. Епифанцев, Г.А. Петров, А.Э. Егоров, С.А. Наумов</i> Оценка лазерной сканирующей системы для отечественных кругломеров .....	291

<i>В.А. Еремеева, О. Л. Ибряева</i> Оценка точности измерения фазовой задержки сигналов методом матричных пучков .....	295
<i>А.В. Ермолаев</i> Перспективы цифровизации реестра утвержденных типов средств измерений .....	297
<i>А.В. Журавлев</i> Особенности объективной оценки безопасности применения и комплексных методов оценки технических характеристик беспилотных авиационных систем .....	299
<i>М.В. Заводской</i> Государственные стандартные образцы состава веществ - этапы развития производства в ФБУ «Нижегородский ЦСМ».....	301
<i>С.В. Завьялов, В.А. Чуев, С. Н. Гершкович, Л.А. Конопелько</i> Проблемы при анализе примесей в аргоне высокой чистоты .....	304
<i>А.Р. Закирова</i> О вопросах интеграции информационных систем .....	305
<i>М.С. Иванов</i> Применение устройства динамической нагрузки при проведении испытаний и поверки АПВГК ....	307
<i>М.С. Иванов</i> Возрастание роли информационных технологий при калибровке и поверке средств измерений .....	309
<i>А.В. Казакова</i> Об опыте повышения эффективности работы метрологической (калибровочной) лаборатории .....	312
<i>Р.Р. Камальдинов</i> Автоматизация и цифровизация метрологического обеспечения предприятия.....	315
<i>И.А. Каминская, А.А. Яковенко, Р.В. Потапов</i> Методы измерений коэффициентов потерь аэрозольных частиц в транспортных линиях (импульсных трубках) систем контроля выбросов АЭС.....	317
<i>А.А. Каримов</i> Об эксплуатации узлов измерений расхода газа с сужающими устройствами.....	319
<i>А.Д. Катышев</i> Распределение сигнала внутри интегрирующей сферы: уменьшение неопределённости измерений.....	321
<i>С.С. Колясников, Е.А. Зарипова, Л.А. Конопелько</i> Проблема автоматизации систем весового изготовления стандартных образцов состава газовых смесей .....	323
<i>Е.В. Комарова, М.А. Илюхина, Н.В. Сычева, Е.В. Широкова, В.Б. Горшков</i> Алгоритм оценки показателя правильности методики выполнения измерений по архивным данным .....	325
<i>Ю.А. Копыльцов</i> Исследование возможности создания парофазного источника газовых смесей сероводорода.....	327

<i>А.А. Котов, Л.А. Конопелько</i> Особенности испытаний средств индивидуальной защиты глаз при определении устойчивости к лазерному излучению.....	329
<i>А.А. Котов, И.В. Курчин, Л.А. Конопелько</i> Разработка требований к комплексу аппаратуры автоматизированного измерения поля зрения для метрологического обеспечения испытаний средств индивидуальной защиты.....	331
<i>М.П. Крашенинина, О.С. Шохина</i> Исследование метрологических характеристик стандартного образца состава лимонной кислоты.....	333
<i>С.И. Кузнецов</i> Калибровка высокочастотных гидрофонов методом оптической интерферометрии.....	335
<i>В.А. Куликов, П.И. Сухинин, Д.В. Афанасенко</i> Метрологическое обеспечение механических испытаний средств индивидуальной защиты.....	337
<i>М.Ю. Курочкина</i> Практический аспект совместного применения комплекта преобразователей тока ПТТ-36 и комплекта преобразователей термоэлектрических ПНТЭ-36.....	339
<i>Т.А. Кухтина, Е.О. Клименко</i> Опережающее развитие Дальнего востока – это наш абсолютный приоритет на весь XXI век .....	341
<i>А.В. Ларош, Я.К. Чубченко</i> Разработка стандартных образцов изотопного состава воды.....	343
<i>С.М. Лебедев, В.В. Лесин, О.А. Свирская, О.Б. Ермолова, А.Ю. Стелюк</i> Особенности формирования комплектов аттестованных объектов плотности топливных таблеток при недостаточном количестве рабочих тел.....	344
<i>А.П. Леготин, И.А. Куликова, А.И. Стрехнин</i> Идентификация средств измерений по внешнему виду с точки зрения действующего законодательства .....	345
<i>А.А. Лепшеева</i> Разработка и внедрение автоматизированной системы проверки соответствия газа горючего природного требованиям технического регламента Евразийского экономического союза 046/2018 «О безопасности газа горючего природного, подготовленного к транспортированию и (или) использованию».....	347
<i>М.В. Ломоносов, А.А. Калдышева</i> Разработка стандартных справочных данных в аспекте реализации мероприятий по стандартизации в документах стратегического планирования.....	349
<i>А.В. Лотонин, А.А. Нечаев, В.А. Кошев</i> Метрологическое обеспечение газоаналитических средств измерений на основе использования динамических генераторов газовых смесей.....	351
<i>Г.С. Лукин</i> Подготовка воды для ультразвуковых измерений .....	355

<i>П. О. Маракулин</i> Подтверждение метрологических характеристик электрошоковых устройств .....	357
<i>Г.А. Мацур, Н. С. Теряев, А.В. Вепрук</i> Разработка технологии автоматизированной разметки контура размерного химического травления деталей с геометрически сложными поверхностями при помощи стационарной КИМ .....	359
<i>Н.В. Минчев, А.В. Минчева</i> Калибровка датчиков стационарных газоанализаторов контроля технологических процессов .....	361
<i>В.В. Милорадов, А.С. Павлов</i> Разработка алгоритма определения центра штриха при проведении работ по поверке и калибровке штриховых мер длины 1 разряда .....	363
<i>А.В. Миргородская, С.Д. Пономарев, А.А. Луценко</i> Применение машинного зрения при частичной автоматизации определения кинематической вязкости жидкости капиллярными вискозиметрами любого типа.....	365
<i>К.А. Моренова</i> Анализ проблем микробиологических испытаний пивоваренной продукции в целях подтверждения соответствия.....	367
<i>Д.В. Москаленко, А.А. Неклюдова</i> Перспективы развития метрологического обеспечения высоковязких средств измерений .....	369
<i>К.Ф. Муравьева</i> Анализ актуальных проблем фальсификации средств измерений и пути их решения .....	371
<i>В.П. Невзорова, С.В. Никитин</i> Проблемы воздействия относительной влажности окружающего воздуха на процедуры поверки радиометрических и спектрометрических средств измерений .....	373
<i>А.И. Нигматуллина, Э.В. Сафин</i> Анализ действующих национальных и международных стандартов в области метрологического обеспечения измерений и испытаний станков на точность .....	376
<i>А. А. Никандрова</i> Проблемы метрологического обеспечения аттестации испытательного оборудования в части наличия средств измерений требуемой метрологической точности отечественного производства .....	378
<i>И.В. Новикова</i> Оценка влияния расположения температурных датчиков на погрешность измерения длины.....	380
<i>И.В. Носов, В.Н. Логинов, Д.С. Резанов</i> Преобразователи термоэлектрические с действительной (индивидуальной) статической характеристикой преобразования .....	382
<i>Н.О. Обухова, Е.П. Собина, И.П. Аронов</i> Разработка стандартного образца сорбционных свойств диоксида титана .....	383
<i>О.В. Паздников</i> Разработка устройства индикации текущего времени.....	385
<i>О.И. Перекрест</i> Технологии сетевого рейтинга экономико-математических моделей арктической зоны РФ.....	387

<i>А.А. Пименова</i> Разработка методики по определению интервалов между поверками.....	389
<i>И.С. Позмогов</i> Поверка ультразвуковых и радарных уровнемеров. Модель стенда: состав и принцип работы.....	392
<i>И.Н. Пономарева, М.М. Шайхулова</i> Перспектива разработки и внедрения стандарта на схемы сертификации сварочного производства.....	393
<i>Н.В. Посохова, А.Ю. Ворошилов, Е.Л. Мурашова, Д.В. Афанасенко, С.И. Ромадова</i> Методическое обеспечение контроля радиоизотопного и радиохимического производства источников на основе радионуклида криптон-85 .....	395
<i>М. Д. Пышкина, А. В. Васильев, А. А. Екидин, Е. И. Назаров, Л. А. Мищенко, О. И. Фуртикова</i> Пространственное распределение характеристик неоднородного стационарного поля источника быстрых нейтронов .....	397
<i>Г.А. Расшивалин</i> Цифровизация механизмов регистрации и идентификации средств измерений .....	399
<i>Д.А. Рудь, Р.Б. Асташкин</i> Разработка и внедрение программного обеспечения для автоматизации процесса поверки.....	401
<i>В.А. Семенова</i> Проблемы обеспечения единства измерений концентрации водяных паров в газовых средах .....	403
<i>А.С. Сергеев</i> Первичная поверка преобразователей расхода жидкости турбинных HELIFLU TZN фирма "FAURE HERMAN SAS", Франция на месте эксплуатации в составе СИКН .....	405
<i>Н.А. Синельникова, Н.В. Иванникова, М.В. Беднова, А.В. Стрельников</i> Анализ метрологического обеспечения кондуктометрических измерений при гидрологических исследованиях.....	407
<i>И. А. Сладовский</i> Анализ различных конфигураций переходов Джозефсона для реализации эталона вольта.....	409
<i>Д.В. Спутнова</i> Оценка значения поправок на нестабильность средств измерений при корректировке межкалибровочного интервала .....	411
<i>М.В. Степанов, М.Н. Перов, Д.А. Скоробогатько</i> К вопросу о применении волоконно-оптических датчиков с закрытым оптическим каналом в изделиях РКТ .....	413
<i>А.С. Степанов</i> Систематическая погрешность, возникающая при поверке аудиометров.....	416
<i>А.П. Степанова, А.Л. Рунов</i> Моделирование распределения молекул ДНК при проведении цкПЦР для повышения точности измерений.....	418



<i>А.О. Стрельчик, И.В. Бугуцкий, С.В. Дегтярёв</i> Цифровая трансформация системы учета материальных потоков в ООО «Газпром добыча Оренбург» .....	420
<i>Е.К. Субботина, Е.Е. Никитина, С.А. Клинов</i> Анализ метрологической экспертизы технической документации на АО «Решетнёв» .....	422
<i>П.И. Сухинин, В.А. Куликов, Д.В. Афанасенко</i> Метрологическое обеспечение механических испытаний металлов.....	426
<i>В.В. Сухов</i> Сравнительный анализ метрологических характеристик современных глюкометров.....	428
<i>Н.В. Сычева, Е.В. Широкова, С.С. Широков, Е.В. Комарова, М.А. Илюхина, В.Б. Горшков</i> Аттестация и апробация образцов активности америция-241 для метрологического обеспечения радиационного мониторинга .....	430
<i>В.В. Сычев, И.Ю. Шмигельский</i> Факторы, влияющие на результат измерений силы при проведении измерений методом совокупных измерений.....	432
<i>М.В. Сясько</i> Метрологическое обеспечение измерений толщины неэлектропроводящих покрытий на металлических немагнитных основаниях .....	434
<i>А.И. Титаренко</i> Обеспечение достоверности информации в базе данных автоматизированной системы метрологической службы .....	435
<i>Н. А. Толочилин</i> Определение флавоноидов лекарственного растительного сырья методом капиллярного электрофореза .....	438
<i>А.В. Трапезников</i> Совершенствование системы метрологического обеспечения в вакуумных измерениях на примере ФБУ «Уралтест» .....	440
<i>В.Ю. Третьякова, Л.Ю. Момотова, С.Ю. Малахова, О.Б. Пономарева</i> МСИ как инструмент контроля качества измерений .....	442
<i>А.О. Туровцев, Л.В. Нечаев</i> Система автоматизированной поверки и калибровки «Сапсан» .....	445
<i>А.Е. Тюрнина, П.В. Мигаль</i> Ускоренные испытания преобразователей давления до метрологического отказа .....	446
<i>С.В. Тюфяков</i> Проблема сохранения точности измерений ультразвуковых расходомеров на месте эксплуатации.....	448
<i>А.С. Тымкив</i> Приложение «ОФПРО» как пример использования мобильных технологий в деятельности метрологической службы организации.....	449

<i>Ф.С. Уметбаев, Д.С. Шуткова</i> Актуальные вопросы развития кадрового потенциала в области стандартизации станкостроения .....	451
<i>М. О. Уранбаев, М. В. Беднова</i> Пути совершенствования метрологического обеспечения кондуктометрических анализаторов жидкостей.....	454
<i>И.В. Федотов</i> Непрерывное автоматизированное измерение массовой концентрации нефтепродуктов в воде с постоянным контролем .....	456
<i>Д. С. Фридрихсен, Т. М. Кормилицын, С. Ю. Обудовский, А. В. Панкратенко, Ю. А. Кацук, Н. Н. Моисеев</i> Оценка сечения реакции $^{35}\text{Cl} (n,p)^{35}\text{S}$ для нейтронов с энергией 2,5 МэВ по результатам измерений сцинтилляционным спектрометром $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ .....	458
<i>С.Ю. Хижняк, О.В. Довыденко, А.И. Самойленко</i> Погрешность измерения скорости воздушного потока при переходе от малых дозвуковых скоростей к большим.....	460
<i>И.К. Хужахметов</i> Оптимизация проведения поверки информационно-измерительных систем.....	463
<i>И.К. Хужахметов</i> Модернизация установки поверочной для счетчиков газа.....	464
<i>О.М. Чернышева, И.А. А.А. Горшкова</i> Особенности подтверждения метрологических характеристик в Российской Федерации и зарубежных странах.....	465
<i>Е.В. Чухланцева, О.В. Степанова, К.А. Джевелло, О.Ю. Диченко, Ю.М. Татарникова</i> Разработка методик измерений радионуклидного состава остеклованных высокоактивных отходов с целью их характеристики и последующего глубинного захоронения .....	467
<i>А.Э. Шафигина, А.И. Сойко</i> Применение контрольных карт при оценке метрологических отказов средств измерений.....	470
<i>А.Л. Шестаков, О. Л. Ибряева, В.А. Еремеева</i> Оценка достоверности показаний датчика давления на основе метода Прони и алгоритма поиска оптимальной частоты дискретизации сигнала .....	473
<i>А.П. Шипицын, А.М. Непомилуев, А.Е. Тюрнина</i> Исследование и разработка стандартных образцов температуры фазовых переходов на основе никеля и палладия .....	475
<i>М.В. Шипицына, В.В. Казанцев</i> Состояние и перспективы совершенствования метрологического обеспечения в области измерений толщины покрытий радиационными методами .....	477
<i>И.Ю. Шмигельский, В.А. Чечель</i> Оценка факторов, влияющих на результат измерений, при измерении массы нетто нефтепродуктов в железнодорожных цистернах в движении .....	479

*А.Д. Яковенко, И.И. Федосов*

Повышение достоверности измерения температуры с использованием новой измерительной схемы  
многозонного термоэлектрического преобразователя..... 481

ДЛЯ ЗАМЕТОК





Научное издание

**III Международная научно-практическая конференция  
молодых ученых и специалистов  
«ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ»**

**Пилотный Международный конкурс  
«Лучший молодой метролог МГС СНГ» 2024 года**

*Сборник тезисов докладов*

Составитель: Шафигина Альбина Эриковна

Оригинал-макет подготовлен

ООО «Типография Литас+»

Подписано в печать 13.05.2024. Формат 60 × 90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Minion Pro.

Объем 28,75 п.л. Тираж 400 экз. Заказ № 40854

Отпечатано в ООО «Типография Литас+».

Санкт-Петербург, ул. Лифляндская, д. 3

Тел.: +7 (812) 325-51-34