

S tandardization
M etrology
A ccreditation
R egulation
T rade



ҚАЗСТАНДАРТ

ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛ

SMART

№ 2 (96), 2026 / ISSN 3105-9791



**Стандарттау, метрология, аккредиттеу, техникалық реттеу және сауда
бағыттары бойынша мәселелерді қамтиды**

№ 2 (96), 2026

«SMART» ғылыми-техникалық журналы 2021 жылдан бастап жарық көріп келеді.

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде тіркелген.

Тіркеу туралы куәлік № KZ70VPY00116915, 11.04.2025 ж.

«SMART» ғылыми-техникалық журналы — стандарттау, метрология, аккредиттеу, техникалық реттеу және сауда салаларына байланысты бастапқы зерттеулердің нәтижелерін, әдеби шолуларды, сондай-ақ практикадан алынған жағдайларды жариялайтын рецензияланатын ғылыми-техникалық басылым.

Қолжазба авторлары және журналдың негізгі оқырмандық аудиториясы — ғылыми ұйымдар мен ғылыми-зерттеу институттарының ғылыми қызметкерлері, Қазақстан, ТМД және алыс шетел жоғары оқу орындарының профессорлық-оқытушылық құрамы, сондай-ақ стандарттау, метрология, аккредиттеу, техникалық реттеу және сауда салаларындағы мамандар, докторанттар мен магистранттар.

Тақырыптық бағыттары: стандарттау, метрология, аккредиттеу, техникалық реттеу және сауда.

Редакциялық алқа мүшелері:

Байхожаева Бахыткүл Узаққызы — техника ғылымдарының докторы, редакциялық алқаның төрайымы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Стандарттау, сертификаттау және метрология» кафедрасының меңгерушісі (келісім бойынша) (Қазақстан).

Ережеп Дархан Есейұлы — техника ғылымдарының кандидаты, PhD, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің «Стандарттау, сертификаттау және метрология» кафедрасының меңгерушісі (келісім бойынша) (Қазақстан).

Ыбраев Марат Қырымбайұлы — академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің химия факультетінің деканы, зерттеуші-профессор, химия ғылымдарының докторы (келісім бойынша) (Қазақстан).

Қонқанов Марат Жұматаевич — PhD, «ENU-lab» ғылыми-зерттеу орталығының директоры, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (келісім бойынша) (Қазақстан).

Мехтиев Әлі Джаваширұлы — техника ғылымдарының кандидаты, А. Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университетінің академиялық мәселелер жөніндегі проректоры (келісім бойынша) (Қазақстан).

Ратушная Татьяна Юрьевна — PhD, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің Инженерия және цифрлық технологиялар факультетінің аға оқытушысы, доцент (келісім бойынша) (Қазақстан).

Стукач Олег Владимирович — техника ғылымдарының докторы, Ресей, Ұлттық зерттеу университеті Жоғары экономика мектебінің Мәскеу электроника және математика институты (келісім бойынша) (Ресей).

Уажанова Раушангуль Улангазиевна — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Алматы технологиялық университеті» АҚ «Азық-түлік өнімдерінің қауіпсіздігі және сапасы» кафедрасының меңгерушісі, № 67 ТК төрайымы (келісім бойынша) (Қазақстан).

Тунгышбаева Улбала Облбековна — PhD, «Алматы технологиялық университеті» АҚ «Азық-түлік өнімдерінің қауіпсіздігі және сапасы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, азық-түлік өнімдерінің сәйкестігін және сапа мен қауіпсіздік менеджменті жүйесін растау жөніндегі сарапшы-аудитор (келісім бойынша) (Қазақстан).

Беккожин Руслан Сабырович — докторант, «Ұлттық мемлекеттік ғылыми-техникалық сараптама орталығы» АҚ Мемлекеттік ғылыми-техникалық сараптама департаменті директорының м.а. (келісім бойынша) (Қазақстан).

Есенгелді Ілияс Бақытжанұлы — «ҚазСтандарт» РМК бас директорының орынбасары.

Мукашева Динара Талғатқызы — «ҚазСтандарт» РМК Ғылыми-зерттеу жұмысы және оқыту басқармасының үйлестірушісі.

Жумакаева Динара Саятовна — «ҚазСтандарт» РМК Заңнамалық метрология басқармасының басшысы.

«SMART» ғылыми - техникалық журналы редакциясының құрамы:

Сәулебай Мәлік Оралұлы — бас редактор, «Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК-ның бас директоры.

Абубакирова Әсел Нұрболатқызы — техникалық редактор, магистр, PhD кандидаты, «Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК-ның ғылыми-зерттеу жұмысы және оқыту басқармасының бас маманы.

Заңды мекенжайы:

010000, Қазақстан, Астана қ., Мәңгілік ел д-лы., 11

Байланысу телефоны: +7 (7272) 79-59-26

e-mail: smart.journal@ksm.kz

Веб-сайт: <https://smart-journal.ksm.kz/ru/publication-ethics/>

Құрылтайшы: «Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК

Тіркелу туралы куәлігі: № KZ70VPY00116915, 29.12.2011 ж.

Таралымы: жылына 4 рет.

**Охватывает вопросы в области стандартизации, метрологии,
аккредитации, технического регулирования и торговли**

Научно-технический журнал «SMART» издается с 2021 года.

Журнал зарегистрирован в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан.

Свидетельство о регистрации № KZ70VPY00116915 от 11.04.2025 г.

Научно-технический журнал «SMART» — это рецензируемое издание, публикующее результаты оригинальных исследований, литературные обзоры, а также практические кейсы в области стандартизации, метрологии, аккредитации, технического регулирования и торговли.

Авторами рукописей и основной читательской аудиторией журнала являются научные сотрудники научных организаций и научно-исследовательских институтов, профессорско-преподавательский состав высших учебных заведений Казахстана, стран СНГ и дальнего зарубежья, а также специалисты, докторанты и магистранты в области стандартизации, метрологии, аккредитации, технического регулирования и торговли.

Тематические направления: стандартизация, метрология, аккредитация, техническое регулирование и торговля.

Члены редакционной коллегии:

Байхожаева Бахыткуль Узаковна — доктор технических наук, председатель редакционного совета, заведующая кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология» НАО «Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва» (по согласованию) (Казахстан).

Ережеп Дархан Есейұлы — кандидат технических наук, PhD, заведующий кафедрой стандартизации, сертификации и метрологии Казахского национального технического университета имени К. И. Сатпаева (по согласованию) (Казахстан).

Ибраев Марат Киримбаевич — декан химического факультета Карагандинского университета имени академика Е. А. Букетова, профессор-исследователь, доктор химических наук (по согласованию) (Казахстан).

Конканов Марат Джуматаевич — PhD, директор НПЦ «ENU-lab» НАО «Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва» (по согласованию) (Казахстан).

Мехтиев Али Джаваширович — кандидат технических наук, проректор по академическим вопросам Карагандинского технического университета имени А. Сагинова (по согласованию) (Казахстан).

Ратушная Татьяна Юрьевна — PhD, старший преподаватель факультета инженерии и цифровых технологий НАО «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», доцент (по согласованию) (Казахстан).

Стукач Олег Владимирович — доктор технических наук, Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ (по согласованию) (Россия).

Уажанова Раушангуль Улангазиевна - кандидат технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Безопасность и качество пищевых продуктов» АО «Алматинский технологический университет», председатель ТК № 67 (по согласованию) (Казахстан).

Тунгышбаева Улбала Облбековна - PhD, ассоциированный профессор кафедры «Безопасность и качество пищевых продуктов» АО «Алматинский технологический университет», эксперт-аудитор по подтверждению соответствия пищевой продукции и системы менеджмента качества и безопасности (по согласованию) (Казахстан).

Беккожин Руслан Сабырович - докторант, и.о. директора департамента государственной научно-технической экспертизы АО «НЦГНТЭ» (по согласованию) (Казахстан).

Есенгелді Ілияс Бақытжанұлы – Заместитель генерального директора РГП «КазСтандарт»

Мукашева Динара Талгатовна - координатор управления научно-исследовательской работы и обучения РГП «КазСтандарт»

Жумакаева Динара Саятовна - Руководитель управления законодательной метрологии РГП «КазСтандарт»

Состав редакции научно-технического журнала «SMART»:

Сәулебай Мәлік Оралұлы - главный редактор, генеральный директор РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии».

Абубакирова Әсел Нұрболатқызы – технический редактор, магистр, кандидат PhD, главный специалист управления научно-исследовательской работы и обучения РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии»

Юридический адрес:

010000, Казахстан, г. Астана, пр. Мәңгілік Ел, 11

Контактный телефон: +7 (7272) 79-59-26

E-mail: smart.journal@ksm.kz

Веб-сайт: <https://smart-journal.ksm.kz/ru/publication-ethics/>

Учредитель: РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии»

Свидетельство о регистрации: № KZ70VPY00116915 от 29.12.2011 г.

Периодичность издания: 4 раза в год.

**Covers issues in the fields of standardization, metrology, accreditation,
technical regulation, and trade.**

The “*SMART*” scientific and technical journal has been published since 2021.

The journal is registered with the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan. Registration certificate No. KZ70VPY00116915, dated 11.04.2025.

The “*SMART*” scientific and technical journal is a peer-reviewed publication that presents the results of original research, literature reviews, and practical case studies in the fields of standardization, metrology, accreditation, technical regulation, and trade.

Authors of manuscripts and the main readership of the journal include researchers of scientific organizations and research institutes, academic staff of higher educational institutions of Kazakhstan, the CIS countries, and beyond, as well as specialists, doctoral and master’s degree students in the fields of standardization, metrology, accreditation, technical regulation, and trade.

Thematic areas: standardization, metrology, accreditation, technical regulation, and trade.

Members of the Editorial Board:

Baikhozhayeva Bakhytkul Uzakovna — Doctor of Technical Sciences, Chairperson of the Editorial Board, Head of the Department of Standardization, Certification and Metrology, L. N. Gumilyov Eurasian National University (by agreement) (Kazakhstan).

Erezhep Darkhan Eseiuly — Candidate of Technical Sciences, PhD, Head of the Department of Standardization, Certification and Metrology, Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev (by agreement) (Kazakhstan).

Ibraev Marat Kirimbaevich — Dean of the Faculty of Chemistry, Karaganda University named after Academician E. A. Buketov, Research Professor, Doctor of Chemistry (by agreement) (Kazakhstan).

Konkanov Marat Dzhumataevich — PhD, Director of the Research and Production Center ENU-lab, L. N. Gumilyov Eurasian National University (by agreement) (Kazakhstan)

Mekhtiev Ali Javashirovich — Candidate of Technical Sciences, Vice-Rector for Academic Affairs, Karaganda Technical University named after A. Saginov (by agreement) (Kazakhstan).

Ratushnaya Tatyana Yuryevna — PhD, Senior Lecturer at the Faculty of Engineering and Digital Technologies, North Kazakhstan University named after M. Kozybayev, Associate Professor (by agreement) (Kazakhstan).

Stukach Oleg Vladimirovich — Doctor of Technical Sciences, Moscow Institute of Electronics and Mathematics, HSE University (by agreement) (Russia).

Uazhanova Raushangul Ulangazievna — Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of “Food Safety and Quality” at Almaty Technological University JSC, Chairperson of Technical Committee No. 67 (by agreement) (Kazakhstan).

Tungyshbayeva Ulbala Oblbekovna — PhD, Associate Professor of the Department of “Food Safety and Quality” at Almaty Technological University JSC, Expert Auditor for Conformity Assessment of Food Products and Quality and Safety Management Systems (by agreement) (Kazakhstan).

Bekkozhin Ruslan Sabyrovich — Doctoral Student, Acting Director of the Department of State Scientific and Technical Expertise at JSC “National Center of State Scientific and Technical Expertise” (NCSTTE) (by agreement) (Kazakhstan).

Yesengeldi Ilyas Bakytzhanuly — Deputy Director General of the Republican State Enterprise “KazStandard”.

Mukasheva Dinara Talgatovna — Coordinator of the Department of Research and Education at the Republican State Enterprise “KazStandard”.

Zhumakayeva Dinara Sayatovna — Head of the Legislative Metrology Department of the Republican State Enterprise “KazStandard”.

Editorial Team of the “SMART” Scientific and Technical Journal:

Säulebay Mälik Oraluly — Editor-in-Chief, General Director, RSE Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology.

Abubakirova Äsel Nurbolatkyzy — Technical Editor, Master, PhD, Lead Specialist of the Research and Training Department, RSE Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology.

Legal address:

010000, Kazakhstan, Astana, Mangilik El Ave., 11

Contact phone: +7 (7272) 79-59-26

E-mail: smart.journal@ksm.kz

Website: <https://smart-journal.ksm.kz/ru/publication-ethics/>

Founder: RSE “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”

Registration certificate: No. KZ70VPY00116915, dated 29.12.2011

Frequency of publication: 4 times a year.

МАЗМҰНЫ/ СОДЕРЖАНИЕ/CONTENT

СТАНДАРТТАУ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТУ САЛАЛАРЫНДАҒЫ ЖАЛПЫ ШОЛУЛАР/ ОБЩИЙ ОБЗОР В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИИ/ GENERAL OVERVIEW OF STANDARDIZATION AND TECHNICAL REGULATION

Анализ международного опыта развития систем добровольной сертификации <i>Г. Мукыжсанов</i> 9	
Значение функционирования информационного центра по тбт/сфс мерам республики казахстан для обеспечения прозрачности технического регулирования <i>Э. Оразбаева</i> 16	

Оценка неопределённости измерений при поверке эталонного хлорсеребряного электрода сравнения <i>Б.Жанасбаева, А. Мерекенова, А. Кабенов</i> 23	
Исследование метрологических характеристик государственного первичного эталона единицы электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла <i>Ы. Жәйманова</i> 30	
Метрология в условиях цифровой трансформации измерительных систем <i>Т. Козлянская</i> 39	
Метрологическое обеспечение систем позитронно-эмиссионной томографии: состояние и перспективы <i>М. Кудайбергенов, Б. Ермек</i> 48	

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ

Г. Г. Мукузжанов

*РГП на ПХВ «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», г.Астана, Республика Казахстан
g.mukyzhanov@ksm.kz*

Аннотация

Добровольная сертификация является важным элементом инфраструктуры качества, обеспечивающим подтверждение характеристик продукции, процессов и услуг сверх обязательных требований законодательства.

В статье проведен сравнительный анализ моделей организации добровольной сертификации, применяемых в Европейском союзе, США, Китае, Российской Федерации и Республике Казахстан. Выявлены особенности распределения функций между государством, бизнесом и национальными системами аккредитации, а также определены общие закономерности развития добровольной оценки соответствия.

Установлено, что эффективность национальных систем добровольной сертификации определяется согласованным взаимодействием государства, бизнеса и институтов инфраструктуры качества.

Ключевые слова: добровольная сертификация, оценка соответствия, техническое регулирование, инфраструктура качества, аккредитация, органы по подтверждению соответствия, стандартизация, добровольные системы сертификации.

Введение

В современных условиях добровольная сертификация становится одним из ключевых инструментов подтверждения характеристик продукции, процессов и услуг, выходящих за рамки обязательных требований безопасности. Ее развитие способствует формированию конкурентных преимуществ отечественной продукции, расширению экспортных возможностей и повышению прозрачности рыночных отношений.

Анализ зарубежного опыта свидетельствует, что развитие добровольной сертификации определяется характером взаимодействия государства, бизнеса и институтов инфраструктуры качества. При этом национальные модели различаются по степени государственного участия, механизмам формирования добровольных систем и распределению функций между участниками оценки соответствия.

В Республике Казахстан сформирована нормативная основа добровольной сертификации, однако потенциал данного механизма реализован не в полной мере. Это

обуславливает необходимость изучения зарубежного опыта и определения подходов, которые могут быть адаптированы с учетом особенностей национальной системы технического регулирования.

Теоретические основы добровольной сертификации.

Добровольная сертификация представляет собой форму оценки соответствия, осуществляемую по инициативе заявителя для подтверждения соответствия продукции, процессов, услуг или систем менеджмента требованиям стандартов, технических условий и иных документов. В отличие от обязательного подтверждения соответствия, направленного на соблюдение требований безопасности, добровольная сертификация ориентирована на подтверждение дополнительных характеристик, представляющих интерес для потребителей и участников рынка.

В международной практике добровольная сертификация рассматривается как инструмент рыночного регулирования, обеспечивающий объективное подтверждение характеристик

продукции и снижение информационной асимметрии между производителем и потребителем.

Функционирование добровольной сертификации основывается на принципах независимости, компетентности, беспристрастности, прозрачности и объективности оценки соответствия, закрепленных в международных стандартах серии ISO/IEC 17000.

Современное развитие добровольной сертификации характеризуется расширением сфер применения. Помимо подтверждения характеристик продукции все более широкое распространение получают системы оценки экологических показателей, энергоэффективности, информационной безопасности, устойчивости производства и социальной ответственности.

Таким образом, добровольная сертификация представляет собой самостоятельный элемент инфраструктуры качества, развитие которого определяется потребностями рынка, уровнем институционального развития и эффективностью механизмов оценки соответствия.

Международные модели развития систем добровольной сертификации.

Организация добровольной сертификации в различных странах определяется особенностями национальной системы технического регулирования, уровнем развития институтов инфраструктуры качества и распределением функций между государством и бизнесом. Несмотря на различия в организационных подходах, все существующие модели направлены на обеспечение объективности оценки соответствия и создание условий для признания ее результатов участниками рынка.

Сравнительный анализ зарубежной практики позволяет выделить четыре основные модели организации добровольной сертификации: рыночную, государственно-координируемую, государственно-регулируемую и смешанную.

Рыночная модель

Рыночная модель получила наибольшее развитие в США. Ее отличительной особенностью является ведущая роль профессиональных объединений, отраслевых ассоциаций и независимых органов по сертификации в разработке и реализации добровольных схем оценки соответствия. Государство ограничивается установлением обязательных требований безопасности и

осуществлением государственного контроля, не вмешиваясь в развитие добровольных механизмов. Такой подход обеспечивает высокую адаптивность системы к изменениям рыночной конъюнктуры и запросам производителей.

Государственно-координируемая модель

Для государств Европейского союза характерна государственно-координируемая модель, основанная на разграничении функций между государственными органами и профессиональным сообществом. Государство формирует нормативные условия функционирования системы, обеспечивает деятельность национальных органов по аккредитации и осуществляет рыночный надзор, тогда как разработка добровольных схем остается сферой ответственности бизнеса и отраслевых объединений.

Государственно-регулируемая модель

В Российской Федерации и Республике Казахстан применяется государственно-регулируемая модель, предусматривающая более значительную роль государства в определении порядка создания и функционирования систем добровольной сертификации. Вместе с тем непосредственная оценка соответствия осуществляется независимыми органами по подтверждению соответствия, что позволяет сочетать единые требования к организации системы с возможностью развития добровольных инициатив.

Смешанная модель

Смешанная модель наиболее полно представлена в Китайской Народной Республике. Она сочетает государственное стратегическое управление с активным участием бизнеса и отраслевых объединений в разработке добровольных схем. Такой подход позволяет использовать добровольную сертификацию как инструмент реализации промышленной политики и повышения конкурентоспособности национальной продукции.

Независимо от организационной модели обязательными условиями эффективного функционирования добровольной сертификации являются применение международно признанных принципов оценки соответствия, компетентность органов по сертификации и прозрачность процедур подтверждения соответствия.

Таким образом, существующие модели отличаются прежде всего распределением функций между государством и бизнесом, тогда

как их общая цель заключается в создании эффективной системы добровольной оценки соответствия, отвечающей потребностям экономики и международной торговли.

Сравнительный анализ международного опыта и направления его применения в Республике Казахстан.

Рассмотренные модели добровольной сертификации свидетельствуют об отсутствии универсального подхода к организации национальных систем оценки соответствия. Их формирование определяется уровнем развития экономики, институциональной среды и особенностями государственного регулирования. Вместе с тем проведенный анализ позволяет выявить ряд общих закономерностей, имеющих практическое значение для совершенствования системы добровольной сертификации Республики Казахстан.

Прежде всего установлено, что ключевым фактором устойчивого функционирования добровольной сертификации является не степень участия государства, а эффективность взаимодействия всех участников системы. Независимо от национальной модели государство формирует нормативные условия функционирования системы, бизнес определяет потребность в добровольной оценке соответствия, а органы по подтверждению соответствия обеспечивают объективность проводимых работ.

Второй общей закономерностью является усиление роли предпринимательского сообщества. В странах с наиболее развитой системой добровольной сертификации именно отраслевые объединения и профессиональные ассоциации выступают инициаторами разработки новых схем оценки соответствия, ориентированных на потребности конкретных отраслей экономики. Государство при этом выполняет преимущественно координирующие и надзорные функции.

Еще одной характерной тенденцией является расширение сферы применения добровольной сертификации. Если первоначально она использовалась преимущественно для подтверждения качества продукции, то в настоящее время все большее распространение получают добровольные схемы в области экологического менеджмента, устойчивого развития, информационной безопасности, энергоэффективности, туризма и социальной ответственности.

Таким образом, сравнительный анализ позволяет сделать вывод, что успешное развитие добровольной сертификации достигается при сочетании эффективного государственного регулирования, высокой активности бизнеса и развитой инфраструктуры качества. При этом конкретная организационная модель имеет меньшее значение, чем согласованность функционирования ее основных институтов.

Направления совершенствования системы добровольной сертификации Республики Казахстан.

Проведенный сравнительный анализ международного опыта свидетельствует, что дальнейшее развитие системы добровольной сертификации Республики Казахстан должно быть направлено на формирование условий, обеспечивающих более активное участие бизнеса, повышение эффективности институтов инфраструктуры качества и расширение применения добровольной оценки соответствия в различных секторах экономики.

При этом совершенствование национальной системы целесообразно осуществлять по следующим взаимосвязанным направлениям.

Совершенствование нормативно-правовой базы

Приоритетной задачей является дальнейшее развитие нормативного регулирования добровольной сертификации, обеспечивающего единообразие требований к функционированию добровольных систем оценки соответствия при сохранении принципа добровольности. Законодательство должно создавать условия для развития новых добровольных схем, исключая избыточные административные процедуры и обеспечивая прозрачность их функционирования.

Развитие отраслевых систем добровольной сертификации

Международный опыт показывает, что наиболее эффективные добровольные системы формируются по инициативе профессионального сообщества с учетом специфики отдельных отраслей экономики. В этой связи целесообразно стимулировать разработку отраслевых систем добровольной сертификации в строительстве, нефтегазовой отрасли, машиностроении, агропромышленном комплексе, информационных технологиях, туризме и других секторах, где подтверждение дополнительных характеристик продукции и услуг имеет существенное значение для потребителей и деловых партнеров.

Повышение роли бизнеса

Одним из ключевых направлений совершенствования системы является расширение участия бизнеса в формировании добровольных схем оценки соответствия. Государственная политика должна быть ориентирована не на усиление административного регулирования, а на создание условий, при которых добровольная сертификация становится востребованным рыночным инструментом повышения конкурентоспособности продукции, реализации инвестиционных проектов и продвижения товаров на внутреннем и внешнем рынках.

Таким образом, развитие системы добровольной сертификации Республики Казахстан должно осуществляться на основе сбалансированного взаимодействия государства, бизнеса и институтов инфраструктуры качества. Такой подход позволит обеспечить устойчивое развитие национальной системы оценки соответствия и повысить ее практическую значимость для экономики страны.

Выводы.

Проведенное исследование позволило выполнить сравнительный анализ современных моделей организации добровольной сертификации, применяемых в Европейском союзе, США, Китайской Народной Республике, Российской Федерации и Республике Казахстан, а также определить общие закономерности их развития.

Установлено, что национальные системы добровольной сертификации отличаются прежде всего распределением функций между государством, бизнесом и институтами оценки соответствия. При этом успешность их функционирования определяется не выбором конкретной организационной модели, а согласованностью взаимодействия участников системы, наличием эффективной нормативной базы и развитием институтов инфраструктуры качества.

Результаты исследования показывают, что современное развитие добровольной сертификации характеризуется усилением роли профессионального сообщества и отраслевых объединений, расширением сфер применения добровольной оценки соответствия и ориентацией на международно признанные принципы оценки соответствия. Независимо от национальных особенностей именно эти факторы обеспечивают устойчивость системы и признание результатов сертификации.

Практическая реализация предложенных подходов будет способствовать развитию национальной инфраструктуры качества, повышению конкурентоспособности отечественной продукции и более широкому использованию добровольной сертификации как инструмента устойчивого развития экономики Республики Казахстан.

Список источников

1. Закон Республики Казахстан от 5 октября 2018 года № 183-VI «О стандартизации».
2. Закон Республики Казахстан от 30 декабря 2020 года № 396-VI «О техническом регулировании».
3. Правила регистрации систем добровольной сертификации, утвержденные приказом Министра торговли и интеграции Республики Казахстан.
4. Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
5. Регламент (ЕС) № 765/2008 Европейского парламента и Совета от 9 июля 2008 года, устанавливающий требования к аккредитации и надзору за рынком в отношении реализации продукции.
6. Регламент (ЕС) 2018/848 Европейского парламента и Совета от 30 мая 2018 года об органическом производстве и маркировке органической продукции.
7. Решение № 768/2008/ЕС Европейского парламента и Совета об общей системе реализации продукции.

References

1. Law of the Republic of Kazakhstan No. 183-VI of 5 October 2018 “On Standardization”.
2. Law of the Republic of Kazakhstan No. 396-VI of 30 December 2020 “On Technical Regulation”.
3. Rules for the Registration of Voluntary Certification Systems, approved by the Order of the Minister of Trade and Integration of the Republic of Kazakhstan.
4. Federal Law of the Russian Federation No. 184-FZ of 27 December 2002 “On Technical Regulation”.
5. Regulation (EC) No 765/2008 of the European Parliament and of the Council of 9 July 2008 setting out the requirements for accreditation and market surveillance relating to the marketing of products.

-
6. Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products.
 7. Decision No 768/2008/EC of the European Parliament and of the Council on a common framework for the marketing of products.

ЕРІКТІ СЕРТИФИКАТТАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ДАМУДЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕСІН ТАЛДАУ

Г.Г. Муқыжанов

*«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Астана қ., Қазақстан
Республикасы
g.mukyzhanov@ksm.kz*

Аңдатпа

Ерікті сертификаттау заңнамамен белгіленген міндетті талаптардан тыс өнімнің, процестер мен көрсетілетін қызметтердің сипаттамаларын растауды қамтамасыз ететін сапа инфрақұрылымының маңызды элементі болып табылады.

Мақалада Еуропалық одақта, АҚШ-та, Қытайда, Ресей Федерациясында және Қазақстан Республикасында қолданылатын ерікті сертификаттауды ұйымдастыру модельдеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Мемлекет, бизнес және ұлттық аккредиттеу жүйелері арасындағы функциялардың бөліну ерекшеліктері айқындалып, ерікті сәйкестікті бағалау жүйелерінің дамуының жалпы заңдылықтары анықталды.

Ұлттық ерікті сертификаттау жүйелерінің тиімділігі мемлекет, бизнес және сапа инфрақұрылымы институттарының үйлесімді өзара іс-қимылымен айқындалатыны анықталды.

Кілт сөздер: ерікті сертификаттау, сәйкестікті бағалау, техникалық реттеу, сапа инфрақұрылымы, аккредиттеу, сәйкестікті растау жөніндегі органдар, стандарттау, ерікті сертификаттау жүйелері

ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF VOLUNTARY CERTIFICATION SYSTEMS

G.G. Mukyzhanov

*RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, Astana city, Republic of Kazakhstan
g.mukyzhanov@ksm.kz*

Abstract

Voluntary certification is an important element of the quality infrastructure, providing confirmation of the characteristics of products, processes, and services beyond the mandatory requirements established by legislation.

This article presents a comparative analysis of voluntary certification models implemented in the European Union, the United States, China, the Russian Federation, and the Republic of Kazakhstan. The study identifies the specific distribution of responsibilities among the government, businesses, and national accreditation systems, and determines the common patterns in the development of voluntary conformity assessment.

The findings demonstrate that the effectiveness of national voluntary certification systems depends on the coordinated interaction between the government, businesses, and quality infrastructure institutions.

Keywords: voluntary certification, conformity assessment, technical regulation, quality infrastructure, accreditation, conformity assessment bodies, standardization, voluntary certification systems

АВТОР ТУРАЛЫ

Муқыжанов Галым Габдуллаевич — Талдау және жүйелеу үйлестіру орталығы басшысының орынбасары, шаруашылық жүргізу құқығындағы «Қазақстан стандарттау және метрология институты» республикалық мемлекеттік кәсіпорны, e-mail: g.mukyzhanov@ksm.kz, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

ОБ АВТОРЕ

Муқыжанов Галым Габдуллаевич — Заместитель руководителя Координационного центра анализа и систематизации Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: g.mukyzhanov@ksm.kz, г. Астана, Республика Казахстан.

ABOUT THE AUTHOR

Mukyzhanov Galym Gabdullayevich — Deputy Head of the Coordination Center for Analysis and Systematization of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology», e-mail: g.mukyzhanov@ksm.kz, Astana, Republic of Kazakhstan..

ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПО ТБТ/СФС МЕРАМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Э. С. Оразбаева*

*РГП на ПХВ «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», г.Астана, Республика Казахстан
e.oralbayeva@ksm.kz*

Аннотация

В статье рассматривается роль Всемирной торговой организации (ВТО) в формировании современной системы международной торговли, основанной на принципах транспарентности, предсказуемости и недискриминации. Особое внимание уделено механизмам Соглашений ВТО по техническим барьерам в торговле (ТБТ) и санитарным и фитосанитарным мерам (СФС), а также институциональной роли национальных информационных центров как ключевых элементов обеспечения прозрачности и эффективного информационного обмена между государствами-членами. Проведен комплексный анализ деятельности Информационного центра по ТБТ/СФС мерам Республики Казахстан как важнейшего инструмента реализации международных обязательств страны в рамках ВТО. Рассмотрены его основные функции, включая обработку, перевод и распространение уведомлений ВТО, координацию взаимодействия с государственными органами и бизнес-сообществом, а также участие в формировании и представлении национальной позиции по проектам зарубежных нормативных актов на ранних стадиях их разработки. На основе анализа практической деятельности Информационного центра за последние годы показано, что его функционирование способствует повышению уровня информированности участников внешнеэкономической деятельности, развитию механизмов превентивного реагирования на потенциальные торговые барьеры, снижению рисков несоответствия продукции требованиям внешних рынков, а также укреплению институциональных позиций Республики Казахстан в международной торговой системе. Особо подчеркивается роль Центра как платформы для диалога между государством и бизнесом, обеспечивающей учет национальных интересов в условиях глобализации и усиления регуляторных требований.

Ключевые слова: Всемирная торговая организация, ВТО, технические барьеры в торговле, ТБТ, санитарные и фитосанитарные меры, СФС, техническое регулирование, Информационный центр, уведомления ВТО, транспарентность, международная торговля, Республика Казахстан.

Введение

Современные условия международной торговли характеризуются возрастающими требованиями к прозрачности национальных систем регулирования, предсказуемости принимаемых государствами решений и соблюдению единых международных правил торговли. Усиление глобальной взаимозависимости экономик, развитие цепочек добавленной стоимости и рост объемов трансграничной торговли усиливают значимость унифицированных регуляторных подходов и механизмов международного контроля за торговой политикой государств.

В этой связи особую роль играет Всемирная

торговая организация (ВТО), созданная 1 января 1995 года в результате завершения Уругвайского раунда многосторонних торговых переговоров [1]. ВТО пришла на смену Генеральному соглашению по тарифам и торговле (ГАТТ), которое с 1948 года являлось основным международным инструментом регулирования торговых отношений между государствами [2].

ГАТТ - принятое в 1948 г. Многостороннее соглашение между многими странами мира, содержащее правила заключения межгосударственных торговых контрактов и

ведения международных торговых операций. Главная цель ГАТТ - снижение барьеров в международной торговле.

Переход от ГАТТ к ВТО стал не просто институциональной заменой, а качественным преобразованием всей системы многостороннего регулирования мировой торговли. Если ГАТТ функционировал преимущественно как договорная система, основанная на раундах переговоров и ограниченном институциональном аппарате, то ВТО была создана как постоянно действующая международная организация с четко структурированными органами управления, юридически обязательными соглашениями и расширенным мандатом регулирования не только торговли товарами, но также услугами и торговыми аспектами интеллектуальной собственности.

Цель и задачи исследования

Основной целью ВТО является содействие свободному и предсказуемому движению товаров и услуг посредством снижения тарифных и нетарифных барьеров, обеспечения недискриминационного режима торговли и повышения прозрачности торговой политики государств-членов. ВТО выполняет функцию институциональной основы, обеспечивающей согласованность торговых правил, контроль за их соблюдением и площадку для урегулирования торговых споров [3].

Объект исследования – система технического регулирования Республики Казахстан в контексте выполнения международных обязательств в рамках ВТО.

Предмет исследования – деятельность Информационного центра по ТБТ/СФС мерам Республики Казахстан как инструмента обеспечения прозрачности технического регулирования, информационного обмена и выполнения обязательств по соглашениям ВТО.

Цель исследования – анализ роли и значения функционирования Информационного центра по ТБТ/СФС мерам Республики Казахстан в обеспечении транспарентности технического регулирования и выполнении обязательств в рамках ВТО.

Задачи исследования:

- анализ нормативно-правовой базы функционирования Информационного центра; изучение его институциональных функций; оценка практики обработки и распространения уведомлений ВТО; определение влияния деятельности Центра на

снижение технических барьеров в торговле;

Методологическую основу исследования составляют анализ нормативно-правовой базы Республики Казахстан в сфере технического регулирования, а также обобщение практической деятельности Информационного центра по ТБТ/СФС мерам за текущий и предыдущие годы, включая обработку уведомлений ВТО, информационный обмен и взаимодействие с государственными органами и бизнес-сообществом.

Гипотеза исследования заключается в том, что эффективное функционирование Информационного центра по ТБТ/СФС мерам способствует повышению прозрачности технического регулирования, снижению торговых барьеров и укреплению позиций Республики Казахстан в международной торговой системе.

Деятельность Информационного центра по ТБТ/СФС мерам

Республика Казахстан, присоединившись к ВТО в 2015 году в соответствии с Законом Республики Казахстан «О ратификации Протокола о присоединении Республики Казахстан к Марракешскому соглашению об учреждении ВТО» [4], приняла на себя обязательства по соблюдению соглашений организации, включая Соглашение по техническим барьерам в торговле и Соглашение по применению санитарных и фитосанитарных мер.

Казахстан как страна с рыночной экономикой, взявшая курс на достижение сильных позиций в международном сообществе, стремится повысить свой внешнеторговый потенциал. Членство в ВТО рассматривается как основной фактор для повышения доступа казахстанской продукции к мировым рынкам, ее конкурентоспособности, развития отечественного бизнеса, увеличения объемов инвестиций и стабилизации экономического роста. Членство ВТО является ключевой предпосылкой для экономической модернизации, а также развития и соответствия международным стандартам.

Как отмечают многие эксперты, членство республики в ВТО — это определенный показатель для международного сообщества, свидетельствующий, что Казахстаном соблюдаются цивилизованные, общепринятые правила торговли, и в случае возникновения торговых спорных ситуаций отечественные компании будут использовать международные механизмы и институты разрешения торговых споров.

Одним из ключевых требований Соглашений ВТО по ТБТ и СФС является создание национального Информационного центра, обеспечивающего своевременное информирование всех заинтересованных сторон о разрабатываемых и действующих технических регламентах, стандартах, процедурах оценки соответствия и санитарных мерах.

Одним из основных требований ВТО, в соответствии с Соглашениями ВТО по техническим барьерам в торговле и применению санитарных и фитосанитарных мер, является наличие в государстве Информационного центра по техническим барьерам в торговле (ТБТ), санитарным и фитосанитарным мерам (СФС).

В этой связи, статьей 12 Закона Республики Казахстан от 30 декабря 2020 года «О техническом регулировании» предусмотрено функционирование Информационного центра в структуре государственной системы технического регулирования.

Информационный центр является структурным подразделением республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии».

В функции Информационного центра входит предоставление информации секретариату ВТО, государствам-членам ВТО и всем заинтересованным сторонам (в том числе госорганам, предприятиям и организациям Казахстана) информации о применяемых технических регламентах, СФС мерах, стандартах, изменениях к ним и процедурах подтверждения соответствия продукции, применяемых в Казахстане и странах-членах ВТО, в том числе перевод и обработка уведомлений Секретариата ВТО, стран-членов ВТО и уполномоченных органов Республики Казахстан, предоставление которых требуется Соглашениями ВТО по ТБТ и применению СФС мер.

Кроме того, Информационный центр обеспечивает информационную и диалоговую площадку во всех регионах Казахстана для обсуждения с бизнес-сообществом и потребителями проектов нормативных документов, разрабатываемых в странах-членах ВТО, разъяснения вопросов по техническому регулированию, в целях выработки позиции от Казахстана с учетом интересов всех заинтересованных сторон.

Функционирование Центра помогает предприятиям РК:

получать актуальную информацию о разрабатываемых технических регламентах (обязательных правилах), стандартах, процедурах оценки соответствия продукции, санитарных и фитосанитарных мерах в странах-членах ВТО;

позволяет хозяйствующим субъектам и государственным органам Республики Казахстан осуществлять своевременный мониторинг изменений в нормативно-техническом регулировании торговых партнеров, заблаговременно оценивать потенциальное влияние новых требований на экспортно-импортные операции, адаптировать продукцию к изменяющимся стандартам, а также снижать риски несоответствия продукции обязательным требованиям иностранных рынков. Доступ к такой

информации обеспечивает повышение предсказуемости внешнеэкономической деятельности и способствует развитию экспортной ориентированности национальной экономики.

возможность подавать предложения и замечания к проектам вышеупомянутых правил стран-партнеров для предотвращения возникновения технических барьеров в торговле и дискриминационных требований;

обеспечивает реализацию принципа транспарентности и участия заинтересованных сторон в формировании международных



регуляторных решений. Данный механизм позволяет Республике Казахстан и национальному бизнес-сообществу на ранних стадиях нормотворческого процесса направлять обоснованные комментарии, основанные на международной практике и национальных интересах, с целью недопущения введения избыточных или дискриминационных требований, способных ограничить доступ казахстанской продукции на внешние рынки. Тем самым формируется превентивный инструмент защиты торгово-экономических интересов страны.

в случае неприятия замечаний, возможность поднятия и урегулирования вопроса на Комитете ВТО по техническим барьерам в торговле.

обеспечивает использование многостороннего институционального механизма урегулирования торговых разногласий в рамках ВТО. Данный инструмент позволяет государствам-членам инициировать обсуждение спорных регуляторных мер на экспертной площадке, добиваться разъяснений их правомерности и соответствия соглашениям ВТО, а также вырабатывать согласованные решения на основе диалога. Это повышает эффективность защиты торговых интересов и снижает вероятность возникновения необоснованных ограничений в международной торговле.

Информационным центром за последние 6 лет



получено более 15 000 наиболее актуальных уведомлений по ТБТ/СФС мерам стран-членов ВТО (табл.1).

Ежегодно Информационный центр получает более 2 500 наиболее актуальных уведомлений от Секретариата ВТО, обрабатывает, переводит на государственный и русский языки и публикует на официальном сайте КазСтандарта (www.ksm.kz).

Вместе с полученными уведомлениями по ТБТ/СФС мерам Информационный центр получает чрезвычайные уведомления по санитарным и фитосанитарным мерам, которые касаются открытия/закрытия границ на ввоз определенной продукции на территорию страны-члена ВТО и других чрезвычайных санитарных или фитосанитарных мер, направленных на страны-члены ВТО.

За последние 6 лет такого рода уведомления было получено более 1 000 (табл. 2). Данные уведомления незамедлительно направляются Государственным органам Республики Казахстан, таким как Министерство сельского хозяйства РК, Министерство здравоохранения РК и др., предприятиям Республики Казахстан в рамках их компетенции, заинтересованным сторонам (технические комитеты, общественные объединения и др.).

Как указано ранее Информационный центр получает ежедневно уведомления по ТБТ/СФС от всех стран-членов ВТО, однако Республика Казахстан также оповещает Секретариат ВТО о своей деятельности в рамках ТБТ/СФС мер.

Информационный центр получает от уполномоченных государственных органов РК необходимую информацию по ТБТ/СФС мерам, переводит на английский язык и по форме, установленной Секретариатом ВТО, направляет через уполномоченный орган по работе с ВТО в лице Министерства торговли и интеграции РК для оповещения всех стран-членов ВТО на информационную площадку ВТО (E-ping platform).

В течении 6 лет от Республики Казахстан опубликовано более 200 уведомлений по ТБТ/СФС мерам.

Заключение

Наличие Информационного центра по ТБТ/СФС мерам в Республике Казахстан в первую очередь является исполнением требований Соглашений ВТО, которые Республика Казахстан подписала при вступлении в ВТО. Информирование государственных органов и заинтересованных сторон о санитарных и фитосанитарных мерах, требованиях и правил стран-членов ВТО играют важную роль при защите населения от рисков, возникающих в связи с проникновением, закреплением или распространением вредных или болезнетворных организмов, заболеваний, а информирование по техническим барьерам в торговле влияет на качественное исполнение требований ВТО в части прозрачности принимаемых обязательных технических требований к продукции и др.

Функционирование Информационного центра по ТБТ/СФС мерам является ключевым элементом выполнения международных обязательств Республики Казахстан в рамках ВТО. Центр обеспечивает прозрачность технического регулирования, способствует снижению информационных барьеров в торговле и формирует механизм раннего предупреждения для бизнеса.

Информационный центр выступает не только как технический инструмент уведомления, но и как институциональный посредник между государством, бизнесом и международной торговой системой.

Список источников

Марракешская декларация: соглашение от 15 апреля 1994 г. — Марракеш, 1994.

Генеральное соглашение по тарифам и торговле (ГАТТ 1947): международное соглашение. — 1947.

Hoekman B., Kostecki M. The Political Economy of the World Trading System. — 3rd ed. — Oxford : Oxford University Press, 2009. — 744 p.

О ратификации Протокола о присоединении Республики Казахстан к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации : Закон Республики Казахстан от 12 октября 2015 года № 356-V ЗРК.

References

Marrakesh Declaration : Agreement of 15 April 1994. — Marrakesh, 1994.

General Agreement on Tariffs and Trade (GATT 1947) : International Agreement. — 1947.

Hoekman, B., Kostecki, M. The Political Economy of the World Trading System. — 3rd ed. — Oxford : Oxford University Press, 2009. — 744 p.

On Ratification of the Protocol on the Accession of the Republic of Kazakhstan to the Marrakesh Agreement Establishing the World Trade Organization : Law of the Republic of Kazakhstan No. 356-V ZRK of 12 October 2015.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУДІҢ АШЫҚТЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДЕГІ СТК/СФС ШАРАЛАРЫ ЖӨНІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ОРТАЛЫҚ ҚЫЗМЕТІНІҢ МАҢЫЗЫ

Э.С. Оразбаева

*«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Астана қ., Қазақстан
Республикасы
e.oralbayeva@ksm.kz*

Аңдатпа

Мақалада Дүниежүзілік сауда ұйымы (ДСҰ)-ның транспаренттілік, болжамдылық және кемсітпеушілік қағидаттарына негізделген қазіргі халықаралық сауда жүйесін қалыптастырудағы рөлі қарастырылады. Ерекше назар ДСҰ-ның саудадағы техникалық кедергілер (СТК) және санитариялық және фитосанитариялық шаралар (СФС) жөніндегі келісімдерінің тетіктеріне, сондай-ақ мүше мемлекеттер арасындағы ашықтықты және тиімді ақпарат алмасуды қамтамасыз ететін негізгі элементтер ретінде ұлттық ақпараттық орталықтардың институционалдық рөліне аударылады.

Қазақстан Республикасының СТК/СФС шаралары бойынша Ақпараттық орталығының қызметіне ДСҰ шеңберіндегі халықаралық міндеттемелерді іске асырудың маңызды құралы ретінде кешенді талдау жүргізілді. Оның негізгі функциялары, соның ішінде ДСҰ хабарламаларын өңдеу, аудару және тарату, мемлекеттік органдармен және бизнес-қоғамдастықпен өзара іс-қимылды үйлестіру, сондай-ақ шетелдік нормативтік құқықтық актілер жобалары бойынша ұлттық ұстанымды оларды әзірлеудің бастапқы кезеңдерінде қалыптастыру және ұсыну мәселелері қарастырылды.

Соңғы жылдардағы практикалық қызметті талдау негізінде Ақпараттық орталықтың тиімді жұмыс істеуі сыртқы экономикалық қызметке қатысушылардың ақпараттану деңгейін арттыруға, ықтимал сауда кедергілеріне алдын ала әрекет ету тетіктерін дамытуға, өнімнің сыртқы нарықтардың талаптарына сәйкес келмеу тәуекелдерін төмендетуге, сондай-ақ Қазақстан Республикасының халықаралық сауда жүйесіндегі институционалдық позицияларын нығайтуға ықпал ететіні көрсетілді. Сонымен қатар, Орталықтың мемлекет пен бизнес арасындағы диалог алаңы ретіндегі рөлі ерекше атап өтіліп, жаһандану және реттеуші талаптардың күшеюі жағдайында ұлттық мүдделерді ескеруді қамтамасыз ететіні айқындалады.

Түйінді сөздер: Дүниежүзілік сауда ұйымы, ДСҰ, саудадағы техникалық кедергілер, СТК, санитарлық және фитосанитарлық шаралар, СФС, Техникалық реттеу, Ақпараттық орталық, ДСҰ хабарламалары, транспаренттілік, Халықаралық Сауда, Қазақстан Республикасы.

THE IMPORTANCE OF THE FUNCTIONING OF THE INFORMATION CENTER ON TBT/SPS MEASURES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN FOR ENSURING TRANSPARENCY OF TECHNICAL REGULATION

E.S. Orazbayeva

*RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, Astana city, Republic of Kazakhstan
e.oralbayeva@ksm.kz*

Abstract

The article examines the role of the World Trade Organization (WTO) in shaping the modern system of international trade based on the principles of transparency, predictability, and non-discrimination. Particular attention is given to the mechanisms of the WTO Agreements on Technical Barriers to Trade (TBT) and Sanitary and Phytosanitary Measures (SPS), as well as to the institutional role of national enquiry points as key elements in ensuring transparency and effective information exchange among member states.

A comprehensive analysis is conducted of the activities of the TBT/SPS Enquiry Point of the Republic of Kazakhstan as a crucial instrument for implementing the country's international obligations within the WTO framework. Its main functions are examined, including the processing, translation, and dissemination of WTO notifications, coordination of interaction with government authorities and the business community, as well as

participation in the development and submission of national positions on draft foreign regulatory acts at early stages of their development.

Based on the analysis of the Enquiry Point's practical activities in recent years, it is demonstrated that its functioning contributes to increasing the level of awareness among participants in foreign economic activity, developing mechanisms for early response to potential trade barriers, reducing the risks of non-compliance of products with foreign market requirements, and strengthening the institutional position of the Republic of Kazakhstan in the international trading system. Particular emphasis is placed on the role of the Enquiry Point as a platform for dialogue between the state and business, ensuring the consideration of national interests in the context of globalization and increasingly stringent regulatory requirements.

Keywords: *World Trade Organization, WTO, Technical Barriers to Trade, TBT, Sanitary and Phytosanitary Measures, SPS, technical regulation, Information Centre, WTO notifications, transparency, international trade, Republic of Kazakhstan.*

АВТОР ТУРАЛЫ

Оразбаева Эльмира Сериковна — Саудадағы техникалық кедергілер, санитариялық және фитосанитариялық шаралар жөніндегі Ақпараттық орталықтың бас маманы, шаруашылық жүргізу құқығындағы «Қазақстан стандарттау және метрология институты» республикалық мемлекеттік кәсіпорны, e-mail: e.orazbayeva@ksm.kz, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

ОБ АВТОРЕ

Оразбаева Эльмира Сериковна — главный специалист Информационного центра по техническим барьерам в торговле, санитарным и фитосанитарным мерам Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: e.orazbayeva@ksm.kz, г. Астана, Республика Казахстан.

ABOUT THE AUTHOR

Elmira Serikovna Orazbayeva— Chief Specialist of the Information Centre on Technical Barriers to Trade, Sanitary and Phytosanitary Measures of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology», e-mail: e.orazbayeva@ksm.kz, Astana, Republic of Kazakhstan.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОВЕРКЕ ЭТАЛОННОГО ХЛОРСЕРЕБРЯНОГО ЭЛЕКТРОДА СРАВНЕНИЯ

Б. К. Жанасбаева,^{1*} А. К. Мерекенова,² А. Е. Кабенов³

*РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», Астана, Казахстан
b.zhanasbayeva@ksm.kz*

Аннотация

Целью работы является количественная оценка неопределённости измерений при поверке эталонного хлорсеребряного электрода сравнения и анализ полноты учёта влияющих величин на неопределённость. Работа имеет практическое значение для совершенствования методики поверки эталонных электродов сравнения и снижения рисков принятия ошибочных решений.

Ключевые слова: эталонный электрод сравнения, хлорсеребряный электрод, поверка, неопределённость измерений, бюджет неопределённости, электродный потенциал, нормальный водородный электрод.

Введение

Эталонные хлорсеребряные электроды сравнения предназначены для создания опорного потенциала при потенциометрических, вольтамперометрических и других электрохимических измерениях. Метрологическая пригодность таких электродов подтверждается процедурой поверки, по результатам которой выносится заключение о соответствии электрода установленным требованиям. Достоверность этого заключения непосредственно зависит от полноты учёта источников неопределённости измерений.

Вопросы оценивания и обеспечения достоверности электрохимических измерений широко обсуждаются в зарубежной литературе. В работе (Smith, Dickinson, 2022) с позиций метрологии систематизированы источники погрешностей и неопределённости трёхэлектродных электрохимических измерений и обоснована необходимость количественного выражения неопределённости результатов. Температурная зависимость потенциала хлорсеребряного электрода экспериментально исследована в (Dendo, Seki, 2007: 990), где для растворов KCl различной концентрации определены неизотермические температурные коэффициенты, использованные в настоящей работе для обоснования температурной составляющей неопределённости. Прослеживаемость измерений pH и связанные с ними источники неопределённости рассмотрены в (Hindayani et al., 2021) применительно

к буферным растворам, что существенно при учёте неопределённости аттестованного значения pH.

Материалы и методы

Объектом исследования является хлорсеребряный электрод сравнения насыщенный образцовый 2-го разряда (тип ЭСО-01 по ГОСТ 17792). Предметом исследования служит бюджет неопределённости измерения электродного потенциала и его влияние на заключение о соответствии. Измеряемая величина — электродный потенциал E , мВ, относительно нормального водородного электрода (далее — НВЭ).

Для электрода ЭСО-01 установлены следующие нормированные метрологические характеристики: потенциал относительно нормального водородного электрода при температуре $(20,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ — от 199,5 до 204,5 мВ; нестабильность потенциала в течение года — не более $\pm 0,5$ мВ; температурный коэффициент потенциала — не более $0,2$ мВ/ $^\circ\text{C}$ (по модулю); электрическое сопротивление электрода при $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ — не более 10 кОм. Диапазон рабочих температур составляет от 15 до 35 $^\circ\text{C}$, электрод отнесён к рабочим эталонам 2-го разряда. Приведённые нормированные характеристики использованы далее при идентификации источников неопределённости и обосновании принятых числовых значений.

Хлорсеребряный электрод сравнения представляет собой электрохимический полуэлемент Ag/AgCl , KCl(нас.) с электродной реакцией $\text{AgCl(тв.)} + e^- \rightleftharpoons \text{Ag(тв.)} + \text{Cl}^-$, потенциал которого описывается

уравнением Нернста:

$$E = E^{\circ}(\text{AgCl}/\text{Ag}) - (RT/F) \cdot \ln a(\text{Cl}^-) \quad (1)$$

В насыщенном растворе KCl активность хлорид-ионов фиксирована, что обеспечивает стабильный и воспроизводимый опорный потенциал. Согласно условной шкале электродных потенциалов, потенциал НВЭ при всех температурах принят равным нулю и служит началом отсчёта.

В соответствии с п. 9.2 СТ РК 2.238-2012 определяют потенциал эталонного электрода сравнения относительно нормального водородного электрода. В электрохимической ячейке водородный электрод — электрохимический полуэлемент, состоящий из платиновой пластины, покрытой губчатой платиной, контактирующей одновременно с

газообразным водородом и буферным раствором тетрабората натрия концентрацией 0,01 моль/кг, — образует второй полуэлемент ячейки; потенциал нормального водородного электрода согласно условной шкале электродных потенциалов при всех температурах принят равным нулю и служит началом отсчёта. Измеряется разность потенциалов ΔE при термостатировании ($20,0 \pm 0,2$) °C в течение 30 мин до стабилизации (изменение ΔE не более 0,1 мВ за 10 мин).

Потенциал эталонного электрода сравнения относительно НЭВ

$$E_{\text{эт}} = \Delta E - k \cdot [\text{pH} + \frac{1}{2} \cdot \lg((P_{\text{атм}} - P_{\text{H}_2\text{O}}) / P^{\circ})] \quad (2)$$

где ΔE — измеренная разность потенциалов, мВ; $k = 58,168$ мВ — коэффициент преобразования при 20 °C; $\text{pH} = 9,225$ — значение pH буферного раствора тетрабората натрия 0,01 моль/кг при 20 °C (ГОСТ 8.134); $P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па; $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2333$ Па — давление насыщенного пара воды при 20 °C; $P^{\circ} = 101325$ Па — стандартное давление.

Значение $k = 58,168$ мВ соответствует $(RT/F) \ln 10$ при $T = 293,15$ К. Проверка: $(8,314 \times 293,15 / 96485) \times 2,303 = 58,22$ мВ. Расхождение с принятым значением составляет 0,1 % и связано с различиями в используемых значениях универсальной газовой постоянной или температуры.

Действующая методика учитывает два источника: неопределённость измерения ΔE (погрешность прибора и разрешение, тип В, прямоугольное распределение) и неопределённость измерения $P_{\text{атм}}$. Коэффициенты чувствительности: $c_{\Delta E} = \partial E_{\text{эт}} / \partial \Delta E = 1$; $c_P = \partial E_{\text{эт}} / \partial P_{\text{атм}}$.

Результаты и обсуждение

К модели измерения по действующей методике СТ РК 2.238-2012 добавлены поправки, формально равные нулю, но вносящие неопределённость:

$$E_{\text{эт}} = \Delta E - k[\text{pH} + \frac{1}{2} \cdot \lg((P_{\text{атм}} - P_{\text{H}_2\text{O}}) / P^{\circ})] + \delta E_{\text{т}} + \delta E_{\text{повт}} + \delta E_{\text{асимм}} \quad (3)$$

где $\delta E_{\text{т}}$ — поправка на отклонение температуры от 20 °C; $\delta E_{\text{повт}}$ — случайный разброс (повторяемость); $\delta E_{\text{асимм}}$ — нестабильность и потенциал асимметрии электрода.

Расчёт выполнен при $T = 20,0$ °C; $P_{\text{атм}} = 101\,000$ Па; $\text{pH} = 9,225$.

Температурный коэффициент потенциала электрода ЭСО-01 согласно описанию типа (рег. № 87605-22) по модулю не превышает 0,2 мВ/°C. Это значение согласуется с экспериментальными данными

литературного источника (Dendo, Seki, 2007: 990): для раствора KCl концентрацией 1,0 моль/кг получено 0,26 мВ/°C, а для 0,1 моль/кг — 0,42 мВ/°C, причём для насыщенного раствора ($\approx 4,8$ моль/кг при 20 °C) коэффициент ещё ниже. Принятое в работе значение $|dE/dT| = 0,3$ мВ/°C превышает нормированный предел и принято как консервативная верхняя оценка, обеспечивающая гарантированный охват температурной составляющей неопределённости.

Таблица 1 – Идентификация и количественная оценка источников неопределённости

Источник	Параметр	Расчёт	$u(x_i)$
Прибор	ΔE (тип В)	$\Delta_{пр} = 0,3$ мВ	0,173 мВ
Разрешение	ΔE (тип В)	0,1 мВ	0,058 мВ
Повторяемость (тип А)	$s = 0,2$ мВ; $n = 10$	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	0,063 мВ
Давление	$P_{атм}$ (тип В)	$\Delta_{пр} = 100$ Па	58 Па
Температура (тип В)	$\pm 0,2$ °С; $ dE/dT = 0,3$ мВ/°С	$\frac{0,2}{\sqrt{3}}$	0,115 °С
pH буфера (тип В)	$U(pH) = 0,005$; $k = 2$	$0,005 / 2$	0,0025
Асимметрия (тип В)	$\pm 0,3$ мВ	$\frac{0,3}{\sqrt{3}}$	0,173 мВ

Коэффициенты чувствительности:

По давлению: $c_P = -(k/2) \cdot \lg e / (P_{атм} - 2333) = -1,28 \cdot 10^{-4}$ мВ/Па; вклад 0,007 мВ.

По температуре: $c_t = 0,3$ мВ/°С, вклад 0,035 мВ.

По pH буфера: $c_{pH} = -k = -58,168$ мВ/ед. pH, вклад 0,145 мВ.

Таблица 2 – Бюджет неопределённости

Источник	X_i	$u(x_i)$	c_i	Вклад, мВ	Распр.
Прибор	ΔE	0,173 мВ	1	0,173	равном.
Разрешение	ΔE	0,058 мВ	1	0,058	равном.
Повторяемость	—	0,063 мВ	1	0,063	нормал.
Давление	$P_{атм}$	58 Па	$1,28 \cdot 10^{-4}$	0,007	равном.
Температура	—	0,115 °С	0,3 мВ/°С	0,035	равном.
pH буфера	—	0,0025	58,168 мВ/ед	0,145	нормал.
Асимметрия	—	0,173 мВ	1	0,173	равном.

Суммарная стандартная неопределённость:

$$u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0,173^2 + 0,058^2 + 0,063^2 + 0,007^2 + 0,035^2 + 0,145^2 + 0,173^2}$$

$$u_c = 0,30 \text{ мВ} \quad (4)$$

Расширенная неопределённость при коэффициенте охвата $k = 2$ ($P \approx 95\%$):

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 0,30 = 0,60 \text{ мВ} \quad (5)$$

Результат поверки: $E_{эт} = (200,0 \pm 0,6)$ мВ относительно НВЭ, $k = 2$. Полученное значение находится в пределах нормированного диапазона потенциала электрода ЭСО-01 от 199,5 до 204,5 мВ (рег. № 87605-22).

В базовой модели все источники неопределённости приняты некоррелированными, что допустимо для первичной оценки. Вместе с тем температура является общим фактором, одновременно воздействующим как на электродный

потенциал (через уравнение Нернста), так и на активность ионов водорода в буферном растворе (через температурную зависимость константы диссоциации тетрабората натрия). Положительная корреляция между этими составляющими означает, что итоговая неопределённость при полном учёте ковариации может оказаться ниже расчётной. Для окончательной оценки рекомендуется применение метода Монте-Карло с совместным моделированием температуры и pH.

Действующая методика СТ РК 2.238-2012

(Приложение Г) учитывает три из семи рассмотренных источников неопределённости — погрешность измерительного прибора и разрешение при измерении разности потенциалов ΔE ($\Delta_{\text{пр}} = 0,3$

мВ и 0,1 мВ соответственно, тип В, прямоугольное распределение), а также неопределённость атмосферного давления $P_{\text{атм}}$. Суммарная стандартная неопределённость:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{0,3}{3}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,007^2} = 0,18 \text{ мВ}$$

Расширенная неопределённость: $U = 2 \times 0,18 = 0,37 \text{ мВ}$ (округлённо 0,4 мВ).

Таблица 3 – Сопоставление бюджетов неопределённости

Бюджет	u_c , мВ	U ($k=2$), мВ
По действующей методике СТ РК (3 источника)	0,18	0,37
Расширенный (7 источников)	0,30	0,60
Отношение	1,6	1,6

Расширенная оценка превышает оценку по действующей методике СТ РК приблизительно в 1,6 раза. Доминирующие вклады, не учтённые в действующей методике, — потенциал асимметрии и неопределённость pH буферного раствора (суммарно около 60 % дисперсии). Вклад температурного фактора составляет 0,035 мВ при принятой консервативной оценке; при использовании экспериментального значения коэффициента из литературного источника (0,26 мВ/°C для 1,0 моль/кг KCl; Dendo, Seki, 2007) его вклад снижается до 0,024 мВ. Вклад атмосферного давления пренебрежимо мал ($< 0,01 \text{ мВ}$). Полученный результат демонстрирует, что действующая методика СТ РК систематически занижает приписываемую неопределённость.

Заключение

Действующая методика поверки эталонных хлорсеребряных электродов сравнения СТ РК 2.238-2012 учитывает лишь три источника неопределённости: погрешность измерительного прибора и разрешение при измерении разности потенциалов, а также неопределённость атмосферного давления. Предложенная расширенная модель дополнительно включает температурный фактор, потенциал асимметрии, повторяемость и неопределённость pH буферного раствора. Сравнительный анализ показал, что неопределённость, вычисленная по действующей методике СТ РК 2.238-2012, приблизительно в 1,6 раза ниже расширенной.

Список литератур

- ГОСТ 8.134–98. ГСИ. Шкала pH водных растворов.
- ГОСТ 8.395–80. ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования.

3. ГОСТ 17792–72. Электрод сравнения хлорсеребряный насыщенный образцовый 2-го разряда.

4. ГОСТ 34100.1–2017 (ISO/IEC Guide 98-1:2009). Неопределённость измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределённости измерения.

5. ГОСТ 34100.3–2017 (ISO/IEC Guide 98-3:2008). Неопределённость измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределённости измерения (GUM).

6. Описание типа средств измерений. Электроды сравнения хлорсеребряные насыщенные образцовые 2-го разряда ЭСО-01. Рег. № 87605-22 : утверждено приказом Росстандарта от 12.12.2022 № 3140. – 3 л.

7. Р 50.2.033–2004. ГСИ. Электроды сравнения для электрохимических измерений. Методика поверки.

8. РМГ 43–2001. ГСИ. Применение Руководства по выражению неопределённости измерений.

9. СТ РК 2.238–2012. ГСИ Республики Казахстан. Электроды сравнения хлорсеребряные насыщенные образцовые 2-го разряда. Методика поверки.

10. СТ РК ISO/IEC 17025. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

11. Dendo, I., Seki, K. Electrode Potentials of a Silver-Silver Chloride Electrode vs. Temperature for Biosensors // IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems. – 2007. – Vol. 127, No. 7. – P. 990–994. – DOI: 10.1541/ieej.iss.127.990.

12. Hindayani, A., Hamim, N., Elishian, C. et al. Establishment of Traceability Chain for pH Measurement in Indonesia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1011. – Art. 012059. – DOI: 10.1088/1757-899X/1011/1/012059.

13. Smith, G., Dickinson, E. J. F. Error, Reproducibility and Uncertainty in Experiments for Electrochemical Energy Technologies // Nature Communications. – 2022. – Vol. 13. – Art. 6832. – DOI: 10.1038/s41467-022-34594-x.

References

1. GOST 8.134–98. GSI. Shkala pH vodnykh rastvorov [State system for ensuring the uniformity of measurements. pH scale of aqueous solutions].

2. GOST 8.395–80. GSI. Normal'nye usloviya izmereniy pri poverke. Obshchie trebovaniya [State system for ensuring the uniformity of measurements. Normal conditions of measurements at verification. General requirements].

3. GOST 17792–72. Elektrod sravneniya khloroserebryanyy nasyshchennyy obraztsovy 2-go razryada [Saturated silver-silver chloride reference electrode of the 2nd order].

4. GOST 34100.1–2017 (ISO/IEC Guide 98-1:2009). Neopredelennost' izmereniya. Chast' 1. Vvedenie v rukovodstva po neopredelennosti izmereniya [Uncertainty of measurement. Part 1. Introduction to the Guide to the expression of uncertainty in measurement].

5. GOST 34100.3–2017 (ISO/IEC Guide 98-3:2008). Neopredelennost' izmereniya. Chast' 3. Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniya (GUM) [Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement].

6. Opisanie tipa sredstv izmereniy. Elektrodu sravneniya khloroserebryanye nasyshchennye obraztsovy 2-go razryada ESO-01 [Type approval description. Saturated silver-silver chloride reference electrodes of the 2nd order ESO-01]. Reg. No. 87605-22. Approved by Rosstandart

Order No. 3140 of 12.12.2022. – 3 p.

7. R 50.2.033–2004. GSI. Elektrodu sravneniya dlya elektrokhimicheskikh izmereniy. Metodika poverki [State system for ensuring the uniformity of measurements. Reference electrodes for electrochemical measurements. Verification procedure].

8. RMG 43–2001. GSI. Primenenie Rukovodstva po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniy [State system for ensuring the uniformity of measurements. Application of the Guide to the expression of uncertainty in measurement].

9. ST RK 2.238–2012. GSI Respubliki Kazakhstan. Elektrodu sravneniya khloroserebryanye nasyshchennye obraztsovy 2-go razryada. Metodika poverki [State system for ensuring the uniformity of measurements of the Republic of Kazakhstan. Saturated silver-silver chloride reference electrodes of the 2nd order. Verification procedure].

10. ST RK ISO/IEC 17025. Obshchie trebovaniya k kompetentnosti ispytatel'nykh i kalibrovochnykh laboratoriy [General requirements for the competence of testing and calibration laboratories].

11. Dendo, I., Seki, K. Electrode Potentials of a Silver-Silver Chloride Electrode vs. Temperature for Biosensors // IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems. – 2007. – Vol. 127, No. 7. – P. 990–994. – DOI: 10.1541/ieej.iss.127.990.

12. Hindayani, A., Hamim, N., Elishian, C. et al. Establishment of Traceability Chain for pH Measurement in Indonesia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1011. – Art. 012059. – DOI: 10.1088/1757-899X/1011/1/012059.

13. Smith, G., Dickinson, E. J. F. Error, Reproducibility and Uncertainty in Experiments for Electrochemical Energy Technologies // Nature Communications. – 2022. – Vol. 13. – Art. 6832. – DOI: 10.1038/s41467-022-34594-x.

ЭТАЛОНДЫҚ КҮМІС ХЛОРИДТІ САЛЫСТЫРУ ЭЛЕКТРОДЫН ТЕКСЕРУ КЕЗІНДЕГІ ӨЛШЕУ АНЫҚСЫЗДЫҒЫН БАҒАЛАУ

Б. К. Жанасбаева,^{1*} А. К. Мерекенова,² А. Е. Кабенов³

*«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМҚ, Астана қ., Қазақстан
Республикасы
b.zhanasbayeva@ksm.kz*

Аңдатпа

Жұмыстың мақсаты анықтамалық күміс хлор электродын салыстыру кезінде өлшеулердің белгісіздігін сандық бағалау және белгісіздікке әсер ететін шамаларды есепке алудың толықтығын талдау болып табылады. Жұмыс эталондық электродтарды салыстыру әдістемесін жетілдіру және қате шешімдер қабылдау қаупін азайту үшін практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: эталондық салыстыру электроды, күміс хлоридті электрод, тексеру, өлшеу анықсыздығы, анықсыздық бюджеті, электродтық потенциал, қалыпты сутегі электроды.

ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY IN THE VERIFICATION OF A REFERENCE SILVER–SILVER CHLORIDE ELECTRODE

B. K. Zhanasbayeva,^{1*} A. K. Merekenova,² A. E. Kabenov³

*RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, Astana city, Republic of Kazakhstan
b.zhanasbayeva@ksm.kz*

Abstract

The aim of the work is to quantify the uncertainty of measurements during verification of the reference silver chloride reference electrode and to analyze the completeness of accounting for the influencing quantities on the uncertainty. The work is of practical importance for improving the verification methodology of reference comparison electrodes and reducing the risks of making erroneous decisions.

Keywords: reference electrode, silver–silver chloride electrode, verification, measurement uncertainty, uncertainty budget, electrode potential, normal hydrogen electrode.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ

Жанасбаева Бибинур Қасымқызы – «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының № 3 зертханасының бас маманы, e-mail: b.zhanasbayeva@ksm.kz, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мерекенова Әсем Қайратбекқызы – «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының № 3 зертханасының бас маманы, e-mail: a.merekenova@ksm.kz, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Кабенов Әділбек Еркенұлы – «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының № 3 зертханасының басшысы, e-mail: a.kabenov@ksm.kz, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

ОБ АВТОРАХ

Жанасбаева Бибинур Касымовна — главный специалист Лаборатории № 3 Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: b.zhanasbayeva@ksm.kz, г. Астана, Республика Казахстан.

Мерекенова Асем Кайратбековна - главный специалист Лаборатории № 3 Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: a.merekenova@ksm.kz, г. Астана, Республика Казахстан.

Кабенов Адильбек Еркенович - руководитель Лаборатории № 3 Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: a.kabenov@ksm.kz, г. Астана, Республика Казахстан.

ABOUT THE AUTHORS

Bibinur Kassymovna Zhanasbayeva – Chief Specialist of Laboratory No. 3, Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: b.zhanasbayeva@ksm.kz, Astana, Republic of Kazakhstan.

Asem Kairatbekovna Merekenova – Chief Specialist of Laboratory No. 3, Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: a.merekenova@ksm.kz, Astana, Republic of Kazakhstan.

Adilbek Erkenovich Kabenov – Head of Laboratory No. 3, Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: a.kabenov@ksm.kz, Astana, Republic of Kazakhstan.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КВАНТОВОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Ы.Т. Жэйманова

*РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», Астана, Казахстан
y.zhaymanova@ksm.kz*

Аннотация

Государственный первичный эталон единицы электрического сопротивления Республики Казахстан, основанный на квантовом эффекте Холла, является высшим звеном национальной системы обеспечения единства измерений в области электрического сопротивления. Эталон обеспечивает воспроизведение, хранение и передачу единицы электрического сопротивления рабочим эталонам и средствам измерений, используемым в промышленности, энергетике, научных исследованиях и испытательных лабораториях.

В условиях постоянного совершенствования квантовых технологий, развития методов цифровой метрологии и повышения требований к точности измерений особую актуальность приобретает исследование метрологических характеристик государственного первичного эталона.

Ключевые слова: электрическое сопротивление, квантовый эффект Холла, государственный эталон

Введение

Современное развитие науки, промышленности и высокотехнологичных отраслей экономики предъявляет все более высокие требования к точности и прослеживаемости результатов измерений. Электрическое сопротивление является одной из основных физических величин, используемых при производстве и эксплуатации электронных компонентов, средств измерений, энергетического оборудования, телекоммуникационных систем и устройств автоматизации. Обеспечение единства измерений электрического сопротивления является необходимым условием для развития промышленности, проведения научных исследований и международного признания результатов измерений.

В последние десятилетия метрология электрических измерений претерпела значительные изменения, связанные с внедрением квантовых методов воспроизведения единиц измерений. После пересмотра Международной системы единиц (SI) в 2019 году единица электрического сопротивления

воспроизводится через фундаментальные физические константы — постоянную Планка и элементарный заряд.

В условиях постоянного совершенствования квантовых технологий, развития методов цифровой метрологии и повышения требований к точности измерений особую актуальность приобретает исследование метрологических характеристик государственного первичного эталона.

Целью настоящей работы является исследование метрологических характеристик Государственного первичного эталона единицы электрического сопротивления Республики Казахстан, основанного на квантовом эффекте Холла, анализ его возможностей по воспроизведению и передаче единицы электрического сопротивления, а также оценка перспектив дальнейшего развития национальной эталонной базы с учетом современных достижений квантовой метрологии.

Теоретические основы воспроизведения единицы электрического сопротивления

Ом — единица электрического сопротивления — имеет богатую историю развития. После открытия

Георгом Симоном Омом закона $U=I \times R$ в 1827 году появилась возможность количественно описывать сопротивление. В дальнейшем работы Гаусса и Вебера позволили связать электрические величины с механическими единицами. В конце XIX века быстрое развитие электроэнергетики потребовало создания воспроизводимых международных единиц. В 1893 году Международный электротехнический конгресс определил международный Ом через столбик ртути, а с 1 января 1911 года Международный Ом был официально принят [1].

Крупным прорывом в метрологии сопротивления стало открытие квантового эффекта Холла (КЭХ). Открытый в 1980 году Клаусом фон Клитцингом, КЭХ обеспечил новую, высокостабильную основу для эталонов сопротивления, представлена на рисунке 1.

В 1987 году на 18-й сессии Генеральной конференции по мерам и весам были приняты

рекомендация о переходе с 1 января 1990 г. на новый способ представления единицы электрического сопротивления посредством реализации КЭХ (константы фон Клитцинга). Эталон на основе КЭХ признан естественным эталоном единицы электрического сопротивления, размер которой неизменен во времени и привязан к отношению фундаментальных констант:

$$R_H = \frac{h}{ie^2} = 25812,807... \Omega$$

где h - постоянная Планка; e - заряд электрона; i - натуральное число.

КЭХ позволяет определять сопротивление в терминах фундаментальных констант, что привело ко второму пересмотру значения Ома 1 января 1990 года. Это изменение устранило проблемы, связанные с эталонами материалов, и значительно повысило точность измерений сопротивления.:

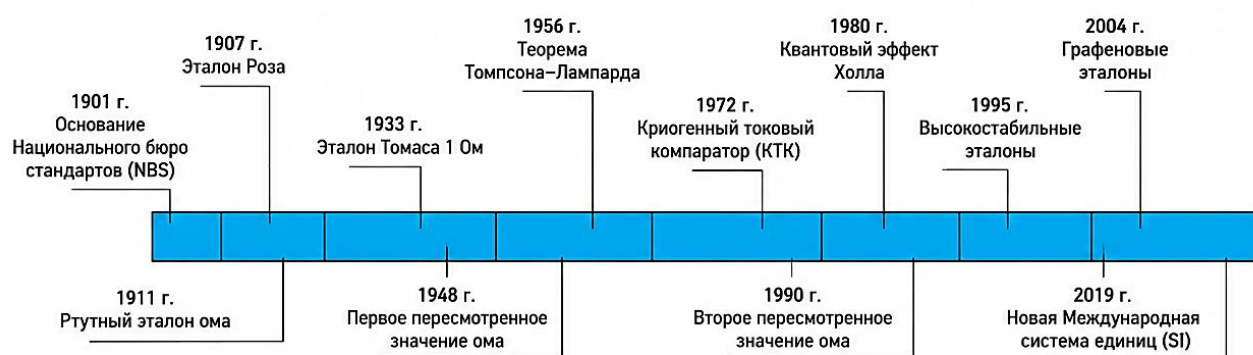


Рисунок 1 - Основные этапы развития единицы электрического сопротивления (Ом)

Эталон на основе КЭХ позволяет получать наиболее устойчивые ступени квантования для $i = 2; 4$, что соответствует значениям КСХ 12906,4035 Ом и 6453,20 Ом соответственно, с точностью $1 \cdot 10^{-8}$, и передавать размер единицы сопротивления мерам сопротивления и эталонам традиционного типа.

Переход на естественные эталоны позволяет воспроизводить единицы физических величин независимо от времени, места и внешних условий. Принципиальная возможность такого воспроизведения основывается на неразличимости тождественных частиц и универсальности и простоте законов, управляющих элементарными квантовыми явлениями.

Государственный первичный эталон единицы электрического сопротивления Республики Казахстан

Государственный первичный эталон предназначен для воспроизведения и передачи размера единицы электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла, путем воспроизведения дробного квантового эффекта Холла и передавать размер единицы электрического сопротивления с прослеживаемостью от фундаментальных физических постоянных.

Государственный первичный эталон единицы электрического сопротивления создан с учетом перспектив развития современной метрологии и международного опыта по обеспечению единства измерений.

Порядок передачи размера единицы от государственного первичного эталона осуществляется в соответствии с [2].

Государственный первичный эталон представляет собой комплекс, состоящий из средств измерений, представленных на рисунке 2



Рисунок 2 - Состав Государственного первичного эталона электрического сопротивления на основе КЭХ

Ядром эталона является полупроводниковый гетероструктурный образец по рисунку 3, который необходимо охладить до температуры близкой к

абсолютному нулю (порядка 1,4 Кельвина) и затем воздействовать на него магнитным полем в диапазоне от 0 до 8 Тесла:

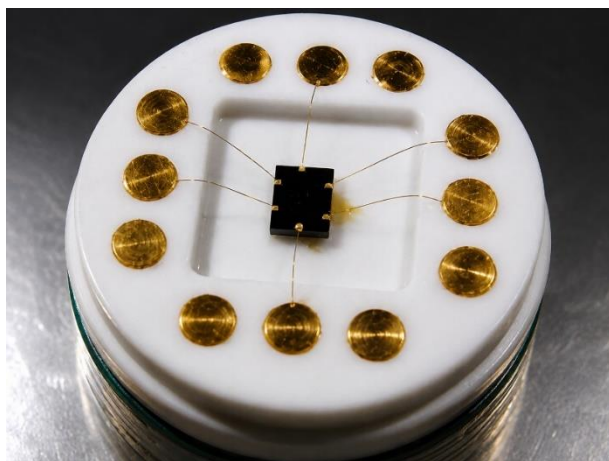


Рисунок 3 - Вид гетероструктурного образца GaAs–Al_xGa_{1-x}As (арсенид галлия и арсенид галлия и алюминия)

В этих условиях на поперечном срезе полупроводникового гетероструктурного образца возникает сопротивление Холла (появляется плато на $\frac{1}{2}$ доли отношения h/e^2 постоянной

Клитцинга) квантовое значение $R_H = 12\,906,40373$ Ом (новое значение от 20 мая 2022 года)

Эталон применяют для проведения следующих работ:

- передача размера единицы;
- измерения, связанные с исследованием эталона;
- исследования с целью совершенствования эталона;
- арбитражные измерения и исследования, требующие данной точности;
- при проведении международных (региональных) сличений.

Исследование метрологических характеристик эталона

Работы по реализации квантового эффекта Холла выполняются последовательно и включают подготовку криогенной системы, создание рабочих условий для гетероструктурного образца квантованного холловского сопротивления, проверку добротности квантования и последующую передачу размера единицы электрического сопротивления рабочим мерам сопротивления.

1. Вакуумирование сосуда Дьюара

Первым этапом выполняется вакуумирование сосуда Дьюара с целью удаления воздуха, влаги и посторонних газовых примесей из внутреннего объема системы. Наличие остаточного воздуха может ухудшить теплоизоляционные свойства сосуда, привести к увеличению расхода жидкого гелия, нестабильности температурного режима и ухудшению условий для работы сверхпроводящего магнита.

Вакуумирование проводится в несколько циклов. При каждом цикле вакуумный насос подключается к соответствующему порту сосуда Дьюара, после чего производится откачка воздуха до достижения требуемого уровня остаточного давления. После завершения одного цикла система выдерживается в течение установленного времени, затем процедура повторяется. Выполнение трех циклов вакуумирования позволяет повысить качество удаления воздуха и обеспечить более стабильные криогенные условия.

На данном этапе контролируются герметичность соединений, исправность вакуумной линии, показания вакуумметра, а также отсутствие признаков подсоса воздуха. Результаты вакуумирования фиксируются в рабочем журнале с указанием времени начала и окончания каждого цикла, достигнутого уровня вакуума и состояния оборудования.

2. Заправка сосуда Дьюара жидким гелием до уровня 90 %

После завершения вакуумирования выполняется заправка сосуда Дьюара жидким гелием. Жидкий гелий необходим для охлаждения сверхпроводящего магнита и создания условий, при которых магнит переходит в сверхпроводящее состояние и способен формировать стабильное магнитное поле высокой индукции.

Заправка проводится постепенно, с соблюдением требований безопасности при работе с криогенными жидкостями. В процессе заполнения контролируется уровень жидкого гелия с использованием датчика и монитора уровня. Заполнение сосуда до уровня 90 % обеспечивает достаточный запас хладагента для проведения полного цикла измерений, стабилизации температурного режима и работы сверхпроводящего магнита.

При заправке необходимо учитывать возможность интенсивного испарения гелия в начальный период охлаждения системы. Поэтому после достижения требуемого уровня проводится выдержка для стабилизации состояния криогенной системы. В журнале фиксируются начальный и конечный уровень жидкого гелия, время заправки, состояние арматуры, показания датчика уровня и наличие отклонений в процессе заполнения.

3. Стабилизация температуры гетероструктурного МДП-образца (металл–диэлектрик–полупроводник) до температуры 20 К

Следующим этапом является охлаждение и стабилизация температуры гетероструктурного образца квантованного холловского сопротивления. Образец представляет собой полупроводниковую гетероструктуру на основе GaAs/AlGaAs, в которой при низкой температуре и сильном магнитном поле формируется двумерный электронный газ.

Температура образца должна быть доведена до установленного значения и стабилизирована. В данном случае контрольной точкой является температура 20 К. Стабилизация температуры необходима для обеспечения воспроизводимых физических условий, при которых возможно последующее формирование квантованного холловского сопротивления. Нестабильность температуры может привести к изменению концентрации носителей заряда, увеличению продольного сопротивления и ухудшению качества квантового плато.

В процессе стабилизации контролируются

показания регулятора/монитора температуры, скорость изменения температуры, устойчивость показаний и отсутствие резких температурных скачков. После достижения заданного значения температура должна оставаться стабильной в течение установленного времени. Результаты фиксируются в протоколе с указанием установленной температуры, фактических показаний, времени стабилизации и допустимого отклонения.

4. Проверка показаний температуры образца и уровня жидкого гелия

После стабилизации температуры проводится проверка соответствия показаний температуры на гетероструктурном образце, а также контроль уровня жидкого гелия в сосуде Дьюара. Данный этап необходим для подтверждения готовности криогенной системы к дальнейшей работе и исключения влияния нестабильных условий на результаты измерений.

Показания температуры сверяются по регулятору/монитору температуры. При наличии нескольких каналов контроля проверяется согласованность показаний датчиков. Одновременно проверяется уровень жидкого гелия, так как снижение уровня ниже допустимого значения может привести к нарушению режима работы сверхпроводящего магнита, изменению теплового режима и невозможности завершения измерительного цикла.

Особое внимание уделяется стабильности температуры и отсутствию признаков интенсивного испарения гелия. При необходимости проводится дополнительная выдержка системы до установления стабильного режима. В протоколе указываются температура образца, уровень жидкого гелия, время контроля, состояние системы и вывод о готовности к дальнейшим операциям.

5. Настройка параметров работы сверхпроводящего магнита

После подтверждения готовности криогенной системы выполняется настройка параметров сверхпроводящего магнита. Сверхпроводящий магнит предназначен для создания магнитного поля, необходимого для возникновения квантового эффекта Холла в гетероструктурном образце.

Настройка включает установление требуемого значения тока питания магнита, скорости нарастания тока, предельных значений тока и напряжения, а также режима работы

источника питания. Увеличение тока должно выполняться плавно, без резких изменений, чтобы исключить возникновение аварийных режимов, перегрев, срыв сверхпроводимости или нестабильность магнитного поля.

В процессе настройки контролируются показания источника питания, состояние сверхпроводящего магнита, отсутствие аварийных сигналов, стабильность тока и соответствие установленного режима требованиям методики измерений. После выхода на заданное магнитное поле система выдерживается до стабилизации. В протоколе фиксируются установленный ток, соответствующее значение магнитной индукции, скорость изменения тока, время стабилизации и состояние оборудования.

6. Проверка исправности гетероструктурного QHR-образца и добротности квантования

После создания необходимых температурных и магнитных условий проводится проверка исправности гетероструктурного образца квантованного холловского сопротивления и оценка добротности квантования. На данном этапе через образец пропускается измерительный ток, после чего определяются холловское и продольное сопротивления.

Основным критерием пригодности образца является наличие выраженного квантового плато холловского сопротивления. При этом холловское сопротивление должно соответствовать квантованному значению, определяемому постоянной фон Клитцинга, а продольное сопротивление должно стремиться к нулю. Для наиболее распространенного плато с индексом $i = 2$ значение холловского сопротивления составляет приблизительно 12 906,4037 Ом.

Проверка добротности квантования включает оценку стабильности показаний, повторяемости результатов, величины продольного сопротивления, состояния электрических контактов и отсутствия признаков деградации образца. Если продольное сопротивление имеет повышенное значение или холловское сопротивление не формирует устойчивое плато, измерения не могут считаться достоверными, и требуется повторная настройка температурного, магнитного или токового режима.

По результатам проверки делается вывод о

пригодности QHR-образца к воспроизведению единицы электрического сопротивления и передаче размера единицы рабочим мерам.

7. Калибровка однозначных мер сопротивления МС 3050 номиналом 1000 Ом от первичного эталона

Заключительным этапом является передача размера единицы электрического сопротивления от первичного квантового эталона к однозначным мерам сопротивления МС 3050 номиналом 1000 Ом. Данная операция обеспечивает прослеживаемость рабочих мер сопротивления к государственному первичному эталону.

Калибровка выполняется с использованием автоматического моста-компаратора постоянного тока и матричного сканера. Квантованное холловское сопротивление принимается в качестве исходного эталонного значения. Далее с помощью мостовой схемы выполняется сравнение эталонного сопротивления с калибруемой мерой. Для уменьшения влияния термо-ЭДС и случайных составляющих измерения проводятся с реверсом тока и многократными повторениями.

Для каждой меры сопротивления определяются фактическое значение

сопротивления, отклонение от номинального значения, стандартная неопределенность, расширенная неопределенность и коэффициент охвата. При обработке результатов учитываются составляющие неопределенности, связанные с квантовым эталоном, мостом-компаратором, стабильностью меры, температурным коэффициентом сопротивления, термо-ЭДС, повторяемостью измерений и условиями окружающей среды.

Результаты исследования оформляются в виде протокола исследования. В документе указываются номинальное значение меры, измеренное значение, поправка, расширенная неопределенность, условия проведения измерений, дата исследования и сведения о прослеживаемости к Государственному первичному эталону единицы электрического сопротивления.

Таким образом, исследование Государственного первичного эталона единицы электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла проводилось в 2025 году, результаты которых представлены в таблицах 1-3.

в 2025 году, результаты которых представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 - Характеристики эталонной и калибруемой мер

Параметр	Эталонная мера	Калибруемая мера
Тип	МС3020	МС3050
Обозначение	sR2	sR1
Номинал	10000 Ом	1000 Ом
Действительное значение	9999,94275 Ом	999,9955796 Ом
Неопределенность	0,17 ppm	0,0219 ppm

Таблица 2 - Статистические результаты серии измерений

Показатель	Значение
Количество измерений	35
Среднее отношение сопротивлений	9,999987637493
Стандартное отклонение	0,0126 ppm
Полученное значение сопротивления	999,995511245 Ом
Расширенная неопределенность	0,1725 ppm
Отклонение от номинала	-4,489 ppm

Таблица 3 - Анализ качества квантования

Критерий	Результат
Стабильность серии	Высокая
Наличие выбросов	Не обнаружено
Разброс результатов	Менее 0,02 ppm

Повторяемость	Высокая
Добротность квантования	Подтверждена

По результатам 35 последовательных измерений установлено, что реализация квантового эффекта Холла характеризуется высокой стабильностью и воспроизводимостью. Среднее значение отношения сопротивлений составило 9,999987637493, при стандартном отклонении 0,0126 ppm, что свидетельствует о низком уровне случайной составляющей погрешности измерений.

Полученное значение сопротивления калибруемой меры составило 999,995511245 Ом, а расширенная неопределенность измерений — 0,1725 ppm. Отклонение от номинального значения равно -4,489 ppm, что находится в пределах допустимых значений для передачи размера единицы электрического сопротивления от государственного первичного эталона.

Анализ серии измерений показал отсутствие аномальных значений и устойчивость результатов на протяжении всего измерительного цикла. Это подтверждает корректную работу сверхпроводящего магнита, стабильность гетероструктурного QHR-образца и возможность использования установки для высокоточной передачи размера единицы электрического сопротивления.

Закключение

В рамках проведенной работы было изучено, как Государственный первичный эталон Республики Казахстан воспроизводит единицу электрического сопротивления, опираясь на принципы квантового эффекта Холла. Детально был рассмотрен механизм возникновения квантованного холловского сопротивления, устройство эталонной установки и процесс передачи эталонного значения сопротивления рабочим средствам измерений.

Исследование продемонстрировало, что применение гетероструктурного образца на основе GaAs/AlGaAs, демонстрирующего квантованное холловское сопротивление, в сочетании с мощным сверхпроводящим магнитом, системой криогенного охлаждения и автоматизированным мостом-компаратором постоянного тока, позволяет достичь исключительно высокой точности, стабильности и воспроизводимости при воспроизведении единицы электрического сопротивления. Анализ полученных данных подтвердил устойчивость квантового плато, отсутствие значительных отклонений в процессе измерений и полное соответствие метрологических характеристик эталона строгим требованиям, предъявляемым к государственным первичным эталонам.

Эти результаты свидетельствуют о том, что

Государственный первичный эталон обеспечивает надежную и прослеживаемую передачу размера единицы электрического сопротивления эталонным мерам, поддерживая связь с Международной системой единиц (SI) через фундаментальные физические константы. Это критически важно для обеспечения единства измерений электрического сопротивления в Казахстане при проведении калибровочных, поверочных работ и испытаний измерительного оборудования.

Таким образом, Государственный первичный эталон единицы электрического сопротивления Республики Казахстан служит фундаментом национальной системы обеспечения единства измерений в данной области, гарантируя воспроизведение, хранение и передачу единицы сопротивления на уровне современных международных стандартов. Проведенное исследование подтверждает его метрологическую состоятельность и определяет стратегические направления дальнейшего развития, направленные на повышение точности измерений, расширение международного признания измерительных возможностей Казахстана и укрепление национальной метрологической инфраструктуры.

Список источников

1. Jarrett G. D., Rigosi A. F. From Ohm to Quantum Ohm [Электронный ресурс]. — National Institute of Standards and Technology (NIST). — URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=960133.
2. СТ РК 2.19-2011. Государственный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений электрического сопротивления.

References

1. Jarrett G. D., Rigosi A. F. From Ohm to Quantum Ohm [Electronic resource]. — National Institute of Standards and Technology (NIST). — Available at: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=960133.
2. ST RK 2.19-2011. The State Standard and the State Verification Scheme for Measuring Electrical Resistance.

КВАНТТЫҚ ХОЛЛ ЭФФЕКТІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ЭЛЕКТРЛІК КЕДЕРГІ БІРЛІГІНІҢ МЕМЛЕКЕТТІК БІРІНШІЛІК ЭТАЛОНЫНЫҢ МЕТРОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Ы.Т. Жәйманова

*«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Астана қ., Қазақстан
Республикасы
y.zhaymanova@ksm.kz*

Аңдатпа

Холлдың кванттық әсеріне негізделген Қазақстан Республикасының электр кедергісі бірлігінің мемлекеттік бастапқы эталоны электр кедергісі саласындағы өлшем бірлігін қамтамасыз етудің ұлттық жүйесінің жоғары буыны болып табылады. Эталон электр кедергісі бірлігін өндірісте, энергетикада, ғылыми зерттеулерде және сынақ зертханаларында қолданылатын жұмыс эталондары мен өлшеу құралдарына көбейтуді, сақтауды және беруді қамтамасыз етеді.

Кванттық технологияларды үнемі жетілдіру, цифрлық метрология әдістерін дамыту және өлшеу дәлдігіне қойылатын талаптарды арттыру жағдайында мемлекеттік бастапқы эталонның метрологиялық сипаттамаларын зерттеу ерекше өзекті болып табылады.

Түйін сөздер: электр кедергісі, кванттық Холл эффектiсi, мемлекеттік эталон

INVESTIGATION OF THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STATE PRIMARY STANDARD OF THE UNIT OF ELECTRICAL RESISTANCE BASED ON THE QUANTUM HALL EFFECT

Y.T. Zhaimanova

*RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, Astana city, Republic of Kazakhstan
y.zhaymanova@ksm.kz*

Abstract

The state primary standard of the electrical resistance unit of the Republic of Kazakhstan, based on the quantum Hall effect, is the highest link in the national system for ensuring the uniformity of measurements in the field of electrical resistance. The standard provides reproduction, storage and transmission of electrical resistance units to working standards and measuring instruments used in industry, energy, scientific research and testing laboratories.

In the context of the constant improvement of quantum technologies, the development of digital metrology methods and increasing requirements for measurement accuracy, the study of the metrological characteristics of the state primary standard is becoming particularly relevant.

Keywords: electrical resistance, quantum Hall effect, state standard

АВТОР ТУРАЛЫ

Жәйманова Ырысжан Таңатарқызы – «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының № 1 зертханасының жетекші маманы, e-mail: y.zhaymanova@ksm.kz, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

ОБ АВТОРЕ

Жәйманова Ырысжан Таңатарқызы — ведущий специалист Лаборатории № 1 Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: y.zhaymanova@ksm.kz, г. Астана, Республика Казахстан.

ABOUT THE AUTHOR

Zhaymanova Yryszhan Tanatarkyzy — Leading Specialist of Laboratory No. 1 of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: y.zhaymanova@ksm.kz, Astana, Republic of Kazakhstan.

МЕТРОЛОГИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Т.Н. Козлянская

*РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», г. Усть-Каменогорск, Казахстан
t.kozlyanskaya@ksm.kz*

Аннотация

В статье рассматриваются основные аспекты метрологического обеспечения измерительных систем в условиях цифровизации. Проанализировано влияние цифровых технологий на методы метрологии, обеспечение прослеживаемости и достоверности измерительных данных, а также адаптация процедур калибрования и поверки. Особое внимание уделено оценке неопределённости измерений с учётом влияния программного обеспечения и алгоритмической обработки данных. Выявлены основные нормативные и методические проблемы внедрения цифровых измерительных систем, а также обозначены перспективные направления развития цифровой метрологии в рамках комплексной цифровой метрологической инфраструктуры.

Ключевые слова: цифровизация, метрология, измерительные системы, метрологическое обеспечение, цифровые измерения, аналитика данных, неопределённость измерений, поверка, калибрование.

Введение

В последние годы цифровые технологии оказывают существенное влияние на развитие науки, промышленности и систем управления технологическими процессами. Одним из наиболее значимых направлений цифровой трансформации является модернизация измерительных систем, обеспечивающих получение информации о параметрах объектов, процессов и окружающей среды. В условиях цифровой экономики качество измерительной информации становится одним из ключевых факторов, определяющих эффективность принятия технических и управленческих решений.

Развитие цифровых технологий привело к изменению традиционных подходов к выполнению измерений. Если ранее основное внимание уделялось метрологическим характеристикам средств измерений и точности их аппаратной части, то в настоящее время значительное влияние на результат измерения оказывают программное обеспечение, алгоритмы обработки данных, средства передачи информации и вычислительные ресурсы. В результате измерительная система становится сложным программно-аппаратным комплексом, в котором отдельные элементы тесно взаимосвязаны и совместно участвуют в формировании результата

измерения.

Под цифровой измерительной системой понимается совокупность технических и программных средств, обеспечивающих получение, обработку, хранение и передачу измерительной информации в цифровой форме. В состав таких систем входят первичные измерительные преобразователи, аналого-цифровые преобразователи, вычислительные устройства, программное обеспечение и средства информационного обмена.

Широкое внедрение цифровых измерительных систем сопровождается возникновением новых задач в области обеспечения единства измерений. Особую актуальность приобретают вопросы подтверждения достоверности результатов измерений, обеспечения их прослеживаемости к государственным и международным эталонам, оценки влияния программного обеспечения на метрологические характеристики системы и анализа неопределённости измерений в условиях цифровой обработки данных.

Цифровизация метрологии – это не только автоматизация поверки или калибровки, но и расширение метрологических задач в области анализа больших данных, цифровых коммуникаций и виртуальных измерительных процессов. Это открывает новые направления для развития

метрологических служб.

1. Технологические аспекты цифровизации измерительных систем

Цифровизация измерительных систем представляет собой закономерный этап развития измерительной техники, обусловленный совершенствованием средств вычислительной техники и информационно-коммуникационных технологий. В отличие от традиционных аналоговых систем современные цифровые комплексы способны не только регистрировать значения измеряемых величин, но и выполнять автоматизированную обработку полученных данных, осуществлять их долговременное хранение и передачу в режиме реального времени.

Применение цифровых технологий существенно расширяет функциональные возможности измерительных систем. Использование микропроцессорных устройств позволяет реализовывать сложные алгоритмы обработки сигналов, компенсировать влияние внешних факторов, выполнять статистический анализ данных и проводить автоматическую диагностику состояния измерительного оборудования. Благодаря этому повышается качество измерительной информации и снижается влияние человеческого фактора на результаты измерений.

Важной особенностью цифровых измерительных систем является возможность их интеграции в корпоративные информационные сети и автоматизированные системы управления технологическими процессами. Такая интеграция обеспечивает непрерывный обмен данными между различными элементами производственной инфраструктуры и способствует повышению эффективности управления технологическими объектами.

Вместе с тем, использование цифровых технологий приводит к появлению новых факторов, оказывающих влияние на результат измерения. К ним относятся процессы аналого-цифрового преобразования сигналов, особенности программной обработки данных, характеристики каналов передачи информации и надёжность функционирования вычислительных средств. Вследствие этого становится необходимым расширение традиционных представлений о структуре измерительного процесса и учёт дополнительных источников погрешностей и неопределённости.

В современных приложениях цифровая метрология выходит за рамки традиционных измерительных процедур и охватывает киберфизические системы и цифровые двойники, интегрирующие измерительные узлы и их виртуальные модели для постоянного мониторинга метрологических характеристик и автоматической калибровки.

2. Концептуальная модель цифровой измерительной системы

С метрологической точки зрения цифровая измерительная система представляет собой многоуровневую структуру, в которой результат измерения формируется последовательно на нескольких этапах преобразования информации. На первом этапе измеряемая величина воспринимается первичным измерительным преобразователем и преобразуется в сигнал, пригодный для дальнейшей обработки. Затем этот сигнал подвергается аналого-цифровому преобразованию и поступает в вычислительный модуль системы.

Полученные цифровые данные обрабатываются с использованием программных алгоритмов, которые могут включать фильтрацию шумов, усреднение результатов, коррекцию систематических влияний и расчёт искомых параметров. После завершения вычислений результаты измерений сохраняются в базах данных, передаются пользователям или используются для автоматического управления технологическими процессами.

Таким образом, итоговый результат измерения определяется не только характеристиками измерительного преобразователя, но и корректностью функционирования программного обеспечения, качеством алгоритмов обработки информации и надёжностью цифровых каналов связи. В отличие от традиционных средств измерений цифровые системы требуют комплексного рассмотрения всех этапов преобразования данных, поскольку каждый из них способен вносить дополнительный вклад в общую неопределённость результата измерения.

Именно поэтому современная метрология всё чаще рассматривает цифровую измерительную систему как единую измерительно-информационную среду, в которой аппаратные и программные компоненты обладают одинаково важным значением для обеспечения достоверности измерительной информации.

3. Методологические особенности метрологического обеспечения цифровых измерительных систем

Развитие цифровых технологий оказывает существенное влияние на содержание и структуру метрологического обеспечения измерений. Если традиционно основное внимание уделялось характеристикам средств измерений и процедурам передачи размера единиц от эталонов к рабочим средствам измерений, то в условиях цифровизации объектом метрологического контроля становится значительно более широкий круг элементов измерительной системы.

Современные цифровые измерительные системы представляют собой совокупность аппаратных и программных компонентов, функционирующих как единый комплекс. По этой причине достоверность результатов измерений определяется не только характеристиками измерительных преобразователей,

но и корректностью работы программного обеспечения, надёжностью цифровых каналов передачи информации, качеством алгоритмов обработки данных и особенностями хранения результатов измерений.

Важнейшей задачей метрологического обеспечения остаётся подтверждение единства измерений и обеспечение сопоставимости результатов, получаемых различными измерительными системами. Однако в цифровой среде данная задача требует учёта дополнительных факторов, связанных с обработкой данных на различных этапах измерительного процесса. Это приводит к необходимости совершенствования существующих методик поверки и калибровки, а также разработки новых подходов к оценке метрологических характеристик цифровых измерительных комплексов.

Особое значение приобретает документирование всех параметров, способных оказывать влияние на результат измерения. Помимо сведений о средстве измерений в документации должны фиксироваться версии программного обеспечения, параметры вычислительных алгоритмов, настройки цифровых интерфейсов и условия обработки данных. Такой подход позволяет обеспечить воспроизводимость измерительных результатов и повысить уровень доверия к измерительной информации.

4. Цифровая прослеживаемость измерений как новое направление развития метрологии

Одним из ключевых принципов метрологии является прослеживаемость результатов измерений к национальным или международным эталонам. В условиях цифровой трансформации содержание данного принципа существенно расширяется. Если ранее прослеживаемость обеспечивалась преимущественно посредством документированной последовательности поверок и калибровок, то в настоящее время возникает необходимость прослеживания не только измерительных данных, но и цифровых процессов, участвующих в их формировании.

В цифровой измерительной системе результат измерения представляет собой итог последовательных преобразований информации, выполняемых аппаратными и программными средствами. Поэтому подтверждение прослеживаемости требует документирования не только характеристик средства измерений, но и алгоритмов обработки данных, параметров программного обеспечения и условий передачи информации между отдельными элементами системы.

В мировой метрологической практике активно развивается концепция цифровой прослеживаемости, предусматривающая применение цифровых сертификатов калибровки и машиночитаемых

форматов представления метрологических данных. Такой подход обеспечивает автоматизированный обмен информацией между лабораториями, органами по подтверждению соответствия и промышленными предприятиями. Использование цифровых сертификатов позволяет снизить вероятность ошибок при передаче данных и существенно повысить эффективность управления метрологической информацией.

Перспективным направлением является формирование единой цифровой среды обеспечения единства измерений, в которой результаты поверки, калибровки и испытаний будут доступны в электронном виде на протяжении всего жизненного цикла средства измерений. Реализация данной концепции создаёт предпосылки для дальнейшей автоматизации метрологических процессов и повышения прозрачности процедур подтверждения соответствия.

5. Анализ неопределённости измерений в цифровой среде

Оценка неопределённости измерений традиционно рассматривается как один из важнейших элементов метрологического анализа. В цифровых измерительных системах данная задача приобретает дополнительную сложность вследствие появления новых факторов влияния, отсутствующих либо малозначимых в традиционных аналоговых измерениях.

На результат измерения могут оказывать влияние процессы аналого-цифрового преобразования сигналов, особенности квантования данных, алгоритмы цифровой фильтрации, процедуры статистической обработки информации и характеристики программного обеспечения. Каждая из указанных составляющих способна вносить дополнительный вклад в общую неопределённость результата измерения.

С метрологической точки зрения результат измерения в цифровой системе может рассматриваться как функция нескольких взаимосвязанных составляющих, включающих значение измеряемой величины, неопределённость цифрового преобразования сигнала, неопределённость алгоритмической обработки данных и неопределённость, связанную с передачей и хранением информации. Вследствие этого оценка неопределённости требует комплексного анализа всех этапов измерительного процесса.

Особое внимание должно уделяться алгоритмам обработки данных. Современные программные средства способны выполнять коррекцию результатов измерений, компенсацию влияющих факторов и прогнозирование значений параметров на основе математических моделей. Несмотря на очевидные преимущества подобных технологий, применение вычислительных алгоритмов требует подтверждения их метрологической пригодности и

оценки влияния на итоговую неопределённость измерений.

Таким образом, традиционные методы оценки неопределённости нуждаются в дальнейшем развитии и адаптации к условиям цифровой среды, что является одной из актуальных задач современной метрологии.

6. Классификация источников неопределённости в цифровых измерительных системах

В отличие от классических средств измерений результат в цифровой среде формируется не только аппаратной частью измерительной системы, но и программными средствами обработки и передачи данных.

С учётом особенностей цифровых измерительных технологий источники неопределённости целесообразно подразделять на три основные группы: аппаратные, программные и информационно-коммуникационные:

- к аппаратным источникам относятся составляющие неопределённости, обусловленные характеристиками первичных измерительных преобразователей, аналого-цифровых преобразователей, измерительных каналов и

вспомогательного оборудования. Данные факторы традиционно рассматриваются в рамках метрологического анализа и хорошо изучены в классической метрологии;

- программные источники неопределённости связаны с функционированием алгоритмов цифровой обработки данных. Их возникновение может быть обусловлено процедурами фильтрации сигналов, округлением результатов вычислений, использованием математических моделей, методами интерполяции и аппроксимации данных, а также особенностями реализации программного кода;

- информационно-коммуникационные источники неопределённости обусловлены процессами передачи, хранения и обмена измерительной информацией. К данной группе относятся задержки передачи данных, потери информационных пакетов, нарушения синхронизации времени, ошибки хранения информации и иные факторы, возникающие в цифровой инфраструктуре измерительной системы.

Предлагаемая классификация позволяет более полно учитывать влияние цифровой среды на формирование результата измерения и может быть использована при разработке методик оценки неопределённости для современных цифровых измерительных комплексов.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика традиционной и цифровой метрологии

Показатель	Традиционная метрология	Цифровая метрология
Объект метрологического контроля	Средство измерений	Измерительная система в целом
Формирование результата измерения	Аппаратными средствами	Аппаратными и программными средствами
Форма хранения результатов	Бумажные документы	Электронные базы данных
Обеспечение прослеживаемости	Через документы о поверке и калибровке	Через цифровые данные и цифровые сертификаты
Проведение метрологических процедур	Преимущественно локально	Возможно дистанционно
Обработка результатов	Ограниченная	Автоматизированная и интеллектуальная
Управление данными	Частично автоматизированное	Интегрированное в цифровые платформы
Контроль программного обеспечения	Обычно не требуется	Является обязательным элементом
Прослеживаемость	Документальная	Цифровая
Программное обеспечение	Не учитывается	Метрологически значимо
Кибербезопасность	Не рассматривается	Обязательна
Цифровой сертификат	Нет	Да
Удалённая проверка	Нет	Да

7. Практическое значение результатов исследования

Результаты могут быть использованы при совершенствовании систем метрологического обеспечения цифровых измерительных комплексов, применяемых в промышленности, научных исследованиях и сфере испытаний продукции. Представленные подходы к анализу цифровой прослеживаемости и оценке неопределённости измерений позволяют более полно учитывать особенности современных цифровых технологий при разработке методик измерений, программ поверки и процедур калибровки.

Предложенная классификация источников неопределённости может служить основой для формирования методического аппарата оценки метрологических характеристик интеллектуальных измерительных систем и автоматизированных комплексов контроля технологических процессов. Кроме того, результаты работы могут быть использованы при актуализации нормативных документов в области обеспечения единства измерений и разработке требований к программному обеспечению средств измерений.

Практическая реализация рассмотренных подходов способствует повышению достоверности измерительной информации, снижению риска возникновения метрологических ошибок и повышению эффективности управления измерительными данными в условиях цифровой экономики.

8. Метрологическая оценка программного обеспечения измерительных систем

В современных цифровых измерительных системах программное обеспечение становится полноценным элементом измерительной цепи и непосредственно участвует в формировании результата измерения. По этой причине вопросы метрологической оценки программного обеспечения приобретают особую актуальность.

Программные алгоритмы используются для преобразования сигналов, вычисления значений измеряемых величин, статистической обработки результатов и хранения измерительной информации. Ошибки в программном коде или некорректная реализация алгоритмов способны привести к систематическим отклонениям результатов

измерений и снижению достоверности измерительной информации.

Одним из важнейших условий обеспечения достоверности результатов является идентификация программного обеспечения и контроль его версий. Любые изменения программного кода, способные повлиять на результат измерения, должны сопровождаться анализом их влияния на метрологические характеристики системы. Кроме того, особое внимание следует уделять процедурам верификации и валидации программного обеспечения, позволяющим подтвердить корректность функционирования реализованных алгоритмов.

Существенное значение имеют также вопросы защиты программного обеспечения от несанкционированного вмешательства. В условиях широкого распространения сетевых технологий обеспечение целостности программных модулей становится не только метрологической, но и информационно-безопасностной задачей. Поэтому современные подходы к метрологическому обеспечению цифровых измерительных систем должны учитывать требования к кибербезопасности и защите метрологически значимых данных.

9. Нормативно-правовые и методические вызовы цифровой метрологии

Активное внедрение цифровых технологий опережает развитие нормативной базы в области обеспечения единства измерений. Значительная часть действующих нормативных документов была разработана для традиционных средств измерений и не в полной мере учитывает особенности современных цифровых измерительных систем.

Одной из наиболее актуальных проблем является отсутствие унифицированных подходов к оценке программного обеспечения измерительных систем. В различных странах применяются собственные процедуры испытаний и критерии оценки, что затрудняет взаимное признание результатов метрологических работ и усложняет международное сотрудничество.

Дополнительные сложности связаны с внедрением цифровых сертификатов калибровки и электронного документооборота в области метрологии. Для эффективного функционирования цифровой инфраструктуры необходимо обеспечить совместимость

информационных систем, единообразие форматов представления данных и надёжную защиту информации от несанкционированного доступа.

Важным направлением дальнейшего развития является гармонизация национальных нормативных документов с международными рекомендациями и стандартами. Такой подход позволит обеспечить сопоставимость метрологических требований и будет способствовать развитию международного сотрудничества в области цифровой метрологии.

10. Перспективы развития цифровой метрологии

Анализ современных тенденций показывает, что дальнейшее развитие метрологии будет тесно связано с расширением применения цифровых технологий. Одним из наиболее перспективных направлений является создание цифровых эталонов и цифровых моделей измерительных систем, обеспечивающих автоматизированное управление метрологическими характеристиками на протяжении всего жизненного цикла оборудования.

Значительный потенциал имеет внедрение цифровых двойников измерительных систем. Использование виртуальных моделей позволяет исследовать влияние различных факторов на результаты измерений, прогнозировать изменение метрологических характеристик оборудования и оптимизировать процедуры технического обслуживания.

Перспективным направлением также является применение методов искусственного интеллекта для анализа измерительной информации. Современные алгоритмы способны выявлять скрытые закономерности в больших массивах данных, повышать эффективность диагностики измерительных систем и обеспечивать раннее обнаружение отклонений метрологических характеристик.

Дальнейшее развитие концепции цифровой прослеживаемости, интеграция метрологических данных в государственные и корпоративные информационные системы, а также расширение применения автоматизированных процедур поверки и калибровки. Реализация указанных направлений позволит существенно повысить эффективность метрологической деятельности

и обеспечить её соответствие требованиям цифровой экономики.

Цифровизация открывает новые направления: виртуальные измерительные процессы, анализ больших данных и цифровая трансформация метрологических услуг. Это позволяет формировать единую цифровую инфраструктуру метрологического контроля на национальном и международном уровнях.

Заключение

Цифровизация измерительных систем оказывает комплексное влияние на развитие современной метрологии и формирует новые требования к обеспечению единства измерений. В условиях цифровой трансформации результат измерения становится продуктом совместного функционирования аппаратных средств, программного обеспечения и информационно-коммуникационной инфраструктуры, что требует пересмотра ряда традиционных подходов к метрологическому обеспечению.

Развитие цифровых измерительных систем сопровождается возникновением новых источников неопределённости, связанных с цифровой обработкой данных, программными алгоритмами и передачей информации. В связи с этим, особое значение приобретают вопросы цифровой прослеживаемости измерений, метрологической оценки программного обеспечения и совершенствования методов анализа неопределённости в цифровой среде.

Дальнейшее развитие метрологии – это внедрении цифровых эталонов, цифровых сертификатов калибровки, технологий цифровых двойников и интеллектуальных методов обработки измерительной информации. Успешная реализация данных направлений позволит обеспечить высокий уровень достоверности измерений, повысить эффективность метрологической деятельности и создать условия для полноценного функционирования цифровой экономики.

Список источников

1. Кузнецов В. П. Метрология и цифровые измерительные системы. — М.: Наука, 2021.
2. СТА.ru. Пересмотр метрологических понятий для цифровых измерений. — 2022.
3. Материалы международной научно-практической конференции (Казань, 10–11 апреля 2025 г.) / под общ. ред. И. Г. Ахметовой.

— Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. — 2690 с.

4. Digital Metrology Forum. Advances in Digital Measurement Science. — Metrologia, 2022.

5. PTB Technical Report. Digital Transformation in Metrology. — Braunschweig, 2019.

6. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых (Екатеринбург, 21 апреля 2020 г.) / ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». — Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2020. — 367 с.

References

1. Kuznetsov V. P. Metrology and Digital Measuring Systems. — Moscow: Nauka Publ., 2021.

2. CTA.ru. Revision of Metrological Concepts for Digital Measurements. — 2022.

3. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Kazan, April 10–11, 2025) / edited by I. G. Akhmetova. — Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2025. — 2690 p.

4. Digital Metrology Forum. Advances in Digital Measurement Science. — Metrologia, 2022.

5. PTB Technical Report. Digital Transformation in Metrology. — Braunschweig, 2019.

6. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists (Yekaterinburg, April 21, 2020) / Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin. — Yekaterinburg: Azhur Publishing House, 2020. — 367 p.

МЕТРОЛОГИЯ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖАҒДАЙЫНДА ӨЛШЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Т.Н. Козлянская

«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы
t.kozlyanskaya@ksm.kz

Аңдатпа

Мақалада цифрландыру жағдайында өлшеу жүйелерін метрологиялық қамтамасыз етудің негізгі аспектілері қарастырылады. Сандық технологиялардың метрология әдістеріне әсері, өлшеу деректерінің қадағалануы мен дұрыстығын қамтамасыз ету, сондай-ақ калибрлеу және тексеру процедураларын бейімдеу талданды. Бағдарламалық жасақтаманың және алгоритмдік деректерді өңдеудің әсерін ескере отырып, өлшеулердің белгісіздігін бағалауға ерекше назар аударылады. Цифрлық өлшеу жүйелерін енгізудің негізгі нормативтік және әдістемелік мәселелері анықталды, сондай-ақ кешенді цифрлық метрологиялық Инфрақұрылым шеңберінде цифрлық метрологияны дамытудың перспективалық бағыттары белгіленді.

Түйінді сөздер: цифрландыру, метрология, өлшеу жүйелері, метрологиялық қамтамасыз ету, сандық өлшеу, деректерді талдау, өлшеудің белгісіздігі, тексеру, калибрлеу.

METROLOGY IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION MEASURING SYSTEMS

T. N. Kozlyanskaya

RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, Ust-Kamenogorsk city, Republic of Kazakhstan
t.kozlyanskaya@ksm.kz

Abstract

The article discusses the main aspects of metrological support of measuring systems in the context of digitalization. The impact of digital technologies on metrology methods, ensuring the traceability and reliability of measurement data, as well as adapting calibration and verification procedures is analyzed. Special attention is paid to the estimation of measurement uncertainty, taking into account the influence of software and algorithmic data processing. The main regulatory and methodological problems of the introduction of digital measuring systems have been identified, as well as promising areas for the development of digital metrology within the framework of an integrated digital metrological infrastructure.

Keywords: digitalization, metrology, measuring systems, metrological support, digital measurements, data analytics, measurement uncertainty, verification, calibration

АВТОР ТУРАЛЫ

Козлянская Татьяна Николаевна — «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының Шығыс Қазақстан филиалының бас маманы, e-mail: t.kozlyanskaya@ksm.kz, Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы.

ОБ АВТОРЕ

Козлянская Татьяна Николаевна — главный специалист Восточно-Казахстанского филиала Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: t.kozlyanskaya@ksm.kz, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан.

ABOUT THE AUTHOR

Kozlyanskaya Tatyana Nikolaevna — Chief Specialist of the East Kazakhstan Branch of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: t.kozlyanskaya@ksm.kz, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.А. Кудайбергенов ^{1*}, Б.Қ. Ермек ²

РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», г. Алматы, Казахстан
m.kudaibergenov@ksm.kz

Аннотация

В статье представлен анализ метрологического обеспечения систем позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) в Республике Казахстан с учетом международного опыта. Рассмотрены нормативно-правовая база Республики Казахстан, международные стандарты и практики метрологического контроля ПЭТ-систем в США, Европейском союзе и азиатских странах. Исследованы технические характеристики и метрологические требования к позитронно-эмиссионным томографам. Определены основные метрологические характеристики, подлежащие контролю: точность определения координат излучения, чувствительность детекторов, пространственное разрешение, временное разрешение и энергетическое разрешение. Проанализирован опыт функционирования ПЭТ-центра в г. Астане с момента его открытия в 2010 году. Выявлена необходимость разработки специализированных методик поверки для ПЭТ-систем, ввозимых на территорию Республики Казахстан, и создания национальной системы метрологического контроля высокотехнологичного медицинского оборудования.

Ключевые слова: метрология, позитронно-эмиссионная томография, ПЭТ, поверка медицинской техники, онкодиагностика, радиофармпрепараты, метрологическая аттестация, единство измерений

Введение

Обеспечение единства измерений в здравоохранении является фундаментальной основой безопасности и эффективности медицинской помощи [1, 2]. Метрологическое обеспечение медицинской техники приобретает особое значение в контексте высокотехнологичных методов диагностики, к которым относится позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Согласно требованиям Закона Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений», средства измерения, применяемые при обеспечении защиты жизни и здоровья людей, диагностике и лечении заболеваний, подлежат обязательной поверке [3].

Позитронно-эмиссионная томография представляет собой высокоточный метод функциональной визуализации, основанный на

регистрации аннигиляционного излучения позитронов, испускаемых радиофармпрепаратами [4, 5]. Метод широко применяется в онкологии, кардиологии и неврологии, обеспечивая раннюю диагностику патологических процессов на молекулярном уровне.

Глобальная статистика демонстрирует устойчивый рост применения ПЭТ-технологий. Объём мирового рынка ПЭТ-сканеров составил 2,5 млрд долл. США в 2023 году и, по прогнозам, достигнет 3,5 млрд долл. к 2028 году при среднегодовом темпе роста 6,6% [6]. Рост числа ПЭТ-центров в мире с 2010 по 2023 год превысил 140%. Это обусловлено возрастающей ролью ПЭТ в ранней диагностике онкологических заболеваний, где метод демонстрирует чувствительность до 90–95% для выявления опухолей, как показано на рисунках 1 и 2 [7, 8].

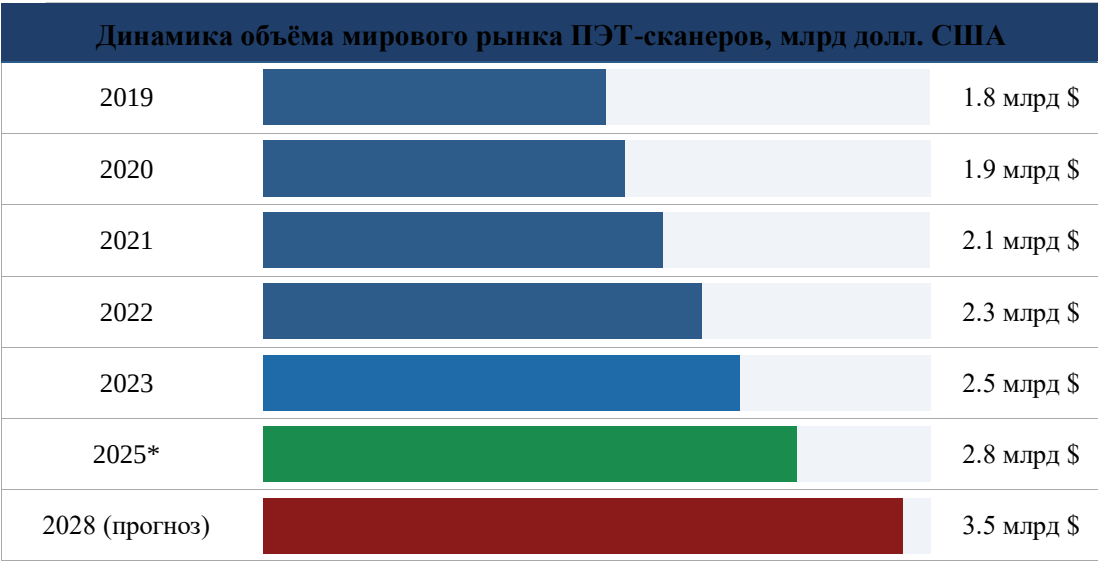


Рисунок 1 – Динамика объёма мирового рынка ПЭТ-сканеров, млрд долл. США

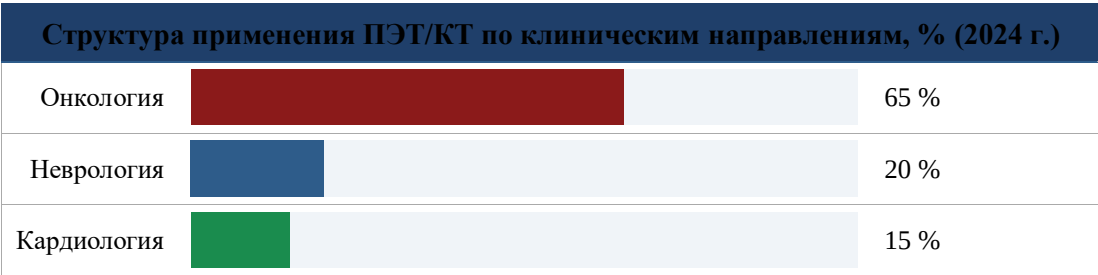


Рисунок 2 – Структура применения ПЭТ/КТ по клиническим направлениям, % (2024 г.)

Международные стандарты и практики

В Соединённых Штатах Америки метрологическое обеспечение ПЭТ-систем регулируется Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств (FDA) и Американским колледжем радиологии (ACR) [11, 12]. ACR разработала детальные протоколы контроля качества, включающие ежедневные, еженедельные, ежеквартальные и ежегодные процедуры тестирования [13]. Основные параметры контроля включают пространственное разрешение, чувствительность детекторов, временное и энергетическое разрешение, точность коррекции ослабления и рассеяния излучения.

Европейская ассоциация ядерной медицины (EANM) выпустила серию руководств по контролю качества ПЭТ-систем [14, 15]. EANM Guidelines подчёркивают важность регулярной калибровки с использованием фантомов, имитирующих распределение

радиофармпрепарата в тканях человека. Наиболее широко применяются фантомы типа NEMA NU 2 для ПЭТ-сканеров и фантом Jaszczak для контроля пространственного разрешения [16].

В Японии установлены строгие требования к калибровке дозиметрического оборудования ПЭТ-центров с периодичностью не реже одного раза в 6 месяцев [17]. Японская практика также включает обязательное участие в межлабораторных сличительных испытаниях для центров, выполняющих более 1000 исследований в год.

Международная электротехническая комиссия (IEC) разработала стандарт IEC 61675, определяющий требования к рабочим характеристикам позитронно-эмиссионных томографов [18]. Этот стандарт служит основой для национальных стандартов во многих странах. Сравнительный анализ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ международных систем метрологического контроля ПЭТ-систем

Страна / регион	Регулятор	Стандарт/руководство	Периодичность проверки	Особенности
США	FDA, ACR	NEMA NU 2, ACR TI-RADS	Ежедневно/ежегодно	4-уровневый контроль качества
Евросоюз	EANM	EANM Guidelines v2.0	Ежеквартально	Обязателен медицинский физик
Япония	NISA	JIS Z 4951	1 раз в 6 мес.	Межлабораторные сличения
Республика Корея	MFDS	IEC 61675 + нац. доп.	Ежегодно	Национальный эталон активности
Китай	NMPA	GB/T 18988	Ежегодно	Сертификация типа СИ
Казахстан (2010)	КазСтандарт	СТ РК 2.75-2009 (аттест.)	По регламенту	Методика поверки отсутствует

Технические аспекты ПЭТ-диагностики
Позитронно-эмиссионная томография основана на детектировании пары гамма-квантов с энергией 511 кэВ, образующихся при аннигиляции позитрона с электроном [19]. Современные ПЭТ-системы используют сцинтилляционные детекторы на основе кристаллов лютеций-иттрий-оксидортофосфата (LYSO), обеспечивающих высокую эффективность регистрации и временное разрешение [20].

Критическим элементом ПЭТ-

исследования является производство и применение радиофармпрепаратов. Наиболее распространённым является ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ) с периодом полураспада 109,8 минут [21]. Короткий период полураспада позитронных излучателей требует наличия циклотрона в непосредственной близости от ПЭТ-центра или надёжной логистической цепи доставки радиофармпрепаратов [22]. В таблице 2 показано эволюция ключевых характеристик ПЭТ/КТ-систем.

Таблица 2 – Эволюция ключевых технических характеристик ПЭТ/КТ-систем

Параметр	2005–2010 гг.	2011–2018 гг.	2019–2026 гг.
Пространственное разрешение (центр)	4,5–6,0 мм	3,5–5,0 мм	2,5–4,0 мм
Временное разрешение (TOF)	Не поддерживается / >600 пс	300–600 пс	178–300 пс
Тип детектора	PMT + NaI/LSO	PMT + LYSO	SiPM + LYSO
Число каналов детектора	10 000–20 000	20 000–30 000	>50 000
Поле зрения по оси (мм)	150–162	162–200	200–2000 (тотальные ПЭТ)
Чувствительность (имп./с·кБк)	5,0–7,0	7,0–10,0	10,0–18,0
Доза ^{18}F -ФДГ (МБк)	370–740	185–370	37–185 (низкодоз.)

Технические аспекты ПЭТ-диагностики

Позитронно-эмиссионная томография основана на детектировании пары гамма-квантов с энергией 511 кэВ, образующихся при аннигиляции позитрона с электроном [19]. Современные ПЭТ-системы используют сцинтилляционные детекторы на основе кристаллов лютеций-иттрий-оксидосиликата (LYSO), обеспечивающих высокую эффективность регистрации и временное разрешение [20].

Критическим элементом ПЭТ-исследования

является производство и применение радиофармпрепаратов. Наиболее распространённым является ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ) с периодом полураспада 109,8 минут [21]. Короткий период полураспада позитронных излучателей требует наличия циклотрона в непосредственной близости от ПЭТ-центра или надёжной логистической цепи доставки радиофармпрепаратов [22]. В таблице 2 показано эволюция ключевых характеристик ПЭТ/КТ-систем

Таблица 2 – Эволюция ключевых технических характеристик ПЭТ/КТ-систем

Параметр	2005–2010 гг.	2011–2018 гг.	2019–2026 гг.
Пространственное разрешение (центр)	4,5–6,0 мм	3,5–5,0 мм	2,5–4,0 мм
Временное разрешение (TOF)	Не поддерживается / >600 пс	300–600 пс	178–300 пс
Тип детектора	PMT + NaI/LSO	PMT + LYSO	SiPM + LYSO
Число каналов детектора	10 000–20 000	20 000–30 000	>50 000
Поле зрения по оси (мм)	150–162	162–200	200–2000 (тотальные ПЭТ)
Чувствительность (имп./с·кБк)	5,0–7,0	7,0–10,0	10,0–18,0
Доза ^{18}F -ФДГ (МБк)	370–740	185–370	37–185 (низкодоз.)

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе Филиала РГП «КазСтандарт» по городу Алматы и Алматинской области в период 2009–2010 гг. в рамках подготовки к вводу в эксплуатацию первого в Республике Казахстан ПЭТ-центра. Методология исследования включала:

- Анализ нормативно-правовой базы Республики Казахстан в области метрологического обеспечения медицинской техники;
- Изучение международных стандартов (NEMA NU 2, IEC 61675, рекомендаций ACR и EANM);
- Сравнительный анализ технических характеристик ПЭТ-систем ведущих производителей (Siemens, GE Healthcare, Philips);

– Разработку концепции методики поверки для ПЭТ-томографов, адаптированной к условиям Республики Казахстан.

Нормативно-правовая база Республики Казахстан

Система метрологического обеспечения медицинской техники в Республике Казахстан регламентируется рядом нормативных документов. Ключевым является стандарт СТ РК 2.75-2018 «Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Порядок аттестации испытательного оборудования», согласно которому к испытательному оборудованию относятся тестовое, терапевтическое и диагностическое оборудование [9]. Данный стандарт определяет, что медицинские установки и приборы в большинстве случаев имеют нормированные метрологические характеристики и,

следовательно, являются средствами измерений.

Средства измерений, предназначенные для серийного производства или ввоза на территорию Республики Казахстан партиями, подлежат испытаниям с последующим утверждением типа; изготовленные или ввозимые в единичных экземплярах подвергаются метрологической аттестации [10]. Это требование имеет особую актуальность для ПЭТ-систем, которые, как правило, ввозятся ограниченными партиями.

Следует отметить, что по состоянию на период исследования (2009–2010 гг.) национальная методика поверки ПЭТ-томографов в Республике Казахстан отсутствовала, что и обусловило необходимость настоящего исследования.

Результаты и обсуждение

26 марта 2010 года в г. Астане состоялась официальная церемония ввода в эксплуатацию первого в Республике Казахстан позитронно-эмиссионного томографа [23]. ПЭТ-центр был оснащён комбинированным ПЭТ/КТ сканером Siemens Biograph 16 (программное обеспечение syngo MI Applications VB30D, год выпуска 2009), позволяющим за одно исследование получать функциональные данные позитронно-эмиссионной томографии и анатомические данные 16-срезовой рентгеновской компьютерной томографии. Данная модель на момент ввода в эксплуатацию относилась к классу высокопроизводительных ПЭТ/КТ-систем и соответствовала требованиям стандарта NEMA NU 2-2007.

Центр специализируется на:

– Диагностике злокачественных опухолей различных типов и локализаций;

– Оценке жизнеспособности миокарда при планировании реконструктивных операций у пациентов с ишемической болезнью сердца;

– Исследованиях при эпилепсии, черепно-мозговых травмах и цереброваскулярных заболеваниях;

– Контроле эффективности лечения онкологических больных.

Актуальность и развитие парка оборудования

Настоящая статья описывает ситуацию применительно к периоду 2009–2010 годов – времени подготовки к вводу в эксплуатацию и первого года работы ПЭТ-центра. Установленный сканер Siemens Biograph 16 соответствовал актуальному мировому уровню технологий на момент закупки. За прошедшие годы отрасль претерпела значительные изменения: появились системы с временным разрешением менее 210 пс (Siemens Biograph Vision.X, GE Discovery MI), осуществлён переход на цифровые детекторы на кремниевых фотоумножителях (SiPM), созданы тотальные ПЭТ-сканеры с полем зрения до 2 метров (uEXPLORER). В стране, на сегодняшний день функционируют 10 центров ядерной медицины, в которых работают 14 аппаратов ПЭТ/КТ и 4 циклотронно-производственных комплекса, а также 7 аппаратов однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. В июне 2025 года Казахстан объявил о планах открытия 5 новых ПЭТ/КТ-центров, что свидетельствует о расширении национальной сети ядерной медицины. Актуализацию сведений о составе оборудования ПЭТ-центра целесообразно проводить совместно со специалистами Национального научного онкологического центра. В таблице 3 показаны сравнение характеристик Siemens Biograph.

Таблица 3 – Сравнение характеристик Siemens Biograph 16 (2009 г.) с современными аналогами

Характеристика	Biograph 16 (2009)	Biograph mCT (2012–2019)	Biograph Vision.X (2023+)
Пространственное разрешение (центр)	4,7 мм FWHM	4,4 мм FWHM	3,1 мм FWHM
Временное разрешение (TOF)	—	540 пс	178 пс
Тип детектора	PMT + LSO	PMT + LSO	SiPM + LSO
Число срезов КТ	16	20 / 40 / 64	128

Характеристика	Biograph 16 (2009)	Biograph mCT (2012–2019)	Biograph Vision.X (2023+)
Чувствительность (имп./с·кБк)	7,0	9,7	~17,8
Поле зрения ПЭТ по оси (мм)	162	167	263
Соответствие стандарту	NEMA NU 2- 2007	NEMA NU 2-2012	NEMA NU 2-2018

Метрологические требования к ПЭТ-системам

На основе анализа международного опыта были определены ключевые метрологические параметры ПЭТ-систем, подлежащие обязательному контролю:

- Точность определения координат излучения – допустимое отклонение не должно превышать ± 2 мм для центральной области сканирования и ± 3 мм для периферии;
- Чувствительность детекторов – должна соответствовать спецификациям производителя с допуском $\pm 10\%$ для всех детекторных

Анализ международного опыта показывает, что эффективность ПЭТ-диагностики напрямую зависит от качества метрологического обеспечения оборудования. Исследования American College of Radiology продемонстрировали, что регулярная калибровка ПЭТ-систем повышает точность диагностики на 12–15% [26]. European Association of Nuclear Medicine подчёркивает необходимость участия медицинских физиков в программах контроля качества [27].

Особое внимание в международной практике уделяется калибровке дозаторов радиофармпрепаратов. Отклонение введённой активности от расчётной более чем на 20% может привести к неинформативному исследованию или избыточной лучевой нагрузке на пациента [28]. Поэтому дозаторы активности должны проходить поверку не реже одного раза в 6 месяцев.

Важным аспектом является адаптация

модулей;

- Энергетическое разрешение – для кристаллов LYSO должно составлять 10–15% при энергии 511 кэВ;
- Временное разрешение – для систем с технологией TOF современные сканеры демонстрируют разрешение 178–500 пс;
- Однородность поля изображения – коэффициент вариации не должен превышать 5% в центральной области;
- Точность калибровки активности – расхождение не должно превышать $\pm 5\%$.

международных стандартов к национальным условиям. Опыт Южной Кореи показывает, что успешное внедрение ПЭТ-технологий требует создания национального эталона активности для позитрон-излучающих радионуклидов [29]. Республике Казахстан необходимо развивать собственную метрологическую базу в этом направлении.

Анализ работы ПЭТ-центра в г. Астане выявил необходимость систематического обучения технического персонала процедурам контроля качества. Международный опыт показывает, что наиболее эффективной является трёхуровневая система контроля: ежедневные процедуры (выполняются техниками-радиологами), ежемесячные и ежеквартальные (медицинские физики), ежегодные (независимые аккредитованные лаборатории) [30].

Таблица 6 — Трёхуровневая система контроля качества ПЭТ-систем (международная практика)

Уровень	Исполнитель	Периодичность	Процедуры	Документация
1 — Оперативный	Техник-радиолог	Ежедневно	Нормировка детекторов,	Журнал ежедневного

Уровень	Исполнитель	Периодичность	Процедуры	Документация
			проверка однородности, стандартный калибровочный скан	КК
2 — Расширенный	Медицинский физик	Ежемесячно/квартально	NEMA NU 2 тесты, полный фантомный скан, проверка TOF, калибровка дозкалибратора	Протокол QA, отчёт физика
3 — Независимый	Аккредитованная лаборатория / ACR	Ежегодно	Полная аккредитация по ACR/EANM, межлабораторные сличения, метрологическая аттестация	Сертификат аккредитации

На сегодняшний день в Республике Казахстан функционируют 10 центров ядерной медицины, в которых эксплуатируются 14 аппаратов позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), 4 циклотронно-производственных комплекса, а также 7 аппаратов однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. Наличие и дальнейшее расширение указанной инфраструктуры обуславливают необходимость формирования единой национальной системы метрологического обеспечения высокотехнологичного оборудования ядерной медицины. Метрологическое обеспечение ПЭТ/КТ-систем является одним из условий получения достоверных, воспроизводимых и сопоставимых результатов диагностических исследований, используемых при выявлении, мониторинге и планировании лечения онкологических заболеваний. В этой связи требуется разработка специализированных методик поверки ПЭТ-систем с учётом требований законодательства Республики Казахстан, международных стандартов NEMA NU 2 и IEC 61675, а также рекомендаций ACR и EANM. Перспективными направлениями являются создание национального эталона единицы активности позитрон-излучающих радионуклидов, внедрение многоуровневой системы контроля качества, включающей ежедневный, периодический и независимый внешний контроль, систематическое обучение технического персонала ПЭТ-центров и участие метрологических организаций Республики

Казахстан в международных программах сличительных испытаний. Реализация указанных мероприятий позволит обеспечить метрологическую прослеживаемость результатов измерений, повысить качество онкологической диагностики и снизить вероятность ошибок при принятии клинических решений.

Список источников

1. Фридман, А. Э. Основы метрологии. Современный курс / А. Э. Фридман. — Санкт-Петербург : НПО «Профессионал», 2008. — 284 с.
2. Шабалин, С. А. Измерения для всех : книга для учащихся / С. А. Шабалин. — Москва : Атомиздат, 1991. — 176 с.
3. Об обеспечении единства измерений : Закон Республики Казахстан от 7 июня 2000 года № 61-ІІ.
4. Cherry, S. R. Physics in Nuclear Medicine / S. R. Cherry, J. A. Sorenson, M. E. Phelps. — 4th ed. — Philadelphia : Elsevier, 2012. — 523 p.
5. Bailey, D. L. Positron Emission Tomography: Basic Sciences / D. L. Bailey [et al.]. — London : Springer, 2005. — 520 p.
6. MarketsandMarkets. Positron Emission Tomography Market : Global Forecast to 2028. — 2023.
7. Beyer, T. A combined PET/CT scanner for clinical oncology / T. Beyer [et al.] // Journal of Nuclear Medicine. — 2000. — Vol. 41, № 8. — P.

1369–1379.

8. Gambhir, S. S. A tabulated summary of the FDG PET literature / S. S. Gambhir [et al.] // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2001. — Vol. 42. — P. 1S–93S.

9. СТ РК 2.75-2009. Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Порядок аттестации испытательного оборудования. — Астана, 2009.

10. ГОСТ Р 8.568-97. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. — Москва : Стандартинформ, 1997.

11. U.S. Food and Drug Administration. Guidance for Industry and FDA Staff. — 2008.

12. American College of Radiology. ACR–AAPM Technical Standard for PET/CT. — Revised 2016.

13. National Electrical Manufacturers Association. NEMA NU 2-2018: Performance Measurements of Positron Emission Tomographs. — Rosslyn, VA : NEMA, 2018.

14. Boellaard, R. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines v2.0 / R. Boellaard [et al.] // *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. — 2015. — Vol. 42. — P. 328–354.

15. Boellaard, R. FDG PET: EANM procedure guidelines v1.0 / R. Boellaard [et al.] // *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. — 2010. — Vol. 37. — P. 181–200.

16. Karp, J. S. Benefit of time-of-flight in PET / J. S. Karp [et al.] // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2008. — Vol. 49. — P. 462–470.

17. Tanaka, E. Optimal relaxation parameters of DRAMA for 3D-PET / E. Tanaka, H. Kudo // *Physics in Medicine and Biology*. — 2010. — Vol. 55. — P. 2917–2939.

18. International Electrotechnical Commission. IEC 61675-1:2013. Radionuclide imaging devices. — Geneva : IEC, 2013.

19. Moses, W. W. Fundamental limits of spatial resolution in PET / W. W. Moses // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. — 2011. — Vol. 648. — P. S236–S240.

20. Lecoq, P. Development of new scintillators for medical applications / P. Lecoq // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. — 2016. — Vol. 809. — P. 130–139.

21. Phelps, M. E. PET: the merging of

biology and imaging / M. E. Phelps // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2000. — Vol. 41. — P. 661–681.

22. Vallabhajosula, S. 18F-labeled PET radiopharmaceuticals in oncology / S. Vallabhajosula // *Seminars in Nuclear Medicine*. — 2007. — Vol. 37. — P. 400–419.

23. Официальное открытие ПЭТ-центра в г. Астане // *Казахстанский онкологический журнал*. — 2010. — № 2. — С. 45–46.

24. Kinahan, P. E. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner / P. E. Kinahan [et al.] // *Medical Physics*. — 1998. — Vol. 25. — P. 2046–2053.

25. Zaidi, H. Determination of the attenuation map in emission tomography / H. Zaidi, B. Hasegawa // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2003. — Vol. 44. — P. 291–315.

26. Scheuermann, J. S. Qualification of PET scanners in multicenter clinical trials / J. S. Scheuermann [et al.] // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2009. — Vol. 50. — P. 1187–1193.

27. Busemann Sokole, E. Acceptance testing for nuclear medicine instrumentation / E. Busemann Sokole [et al.] // *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. — 2010. — Vol. 37. — P. 672–681.

28. Sunderland, J. J. Quantitative PET/CT scanner performance characterization / J. J. Sunderland, P. E. Christian // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2015. — Vol. 56. — P. 145–152.

29. Lee, M. S. Deep-dose: a voxel dose estimation method using deep CNN / M. S. Lee [et al.] // *Scientific Reports*. — 2019. — Vol. 9. — Art. 10308.

30. Graham, M. M. Variations in PET/CT methodology at U.S. academic medical centers / M. M. Graham [et al.] // *Journal of Nuclear Medicine*. — 2011. — Vol. 52. — P. 311–317.

References

1. Fridman A.E. Fundamentals of Metrology. A Modern Course. Saint Petersburg: NPO “Professional”, 2008. 284 p.

2. Shabalin S.A. Measurements for Everyone: A Book for Students. Moscow: Atomizdat, 1991. 176 p.

3. Law of the Republic of Kazakhstan “On Ensuring the Uniformity of Measurements” dated June 7, 2000, No. 61-II.

4. Cherry S.R., Sorenson J.A., Phelps M.E. Physics in Nuclear Medicine. 4th ed. Philadelphia: Elsevier, 2012. 523 p.

5. Bailey D.L. et al. Positron Emission Tomography: Basic Sciences. London: Springer, 2005. 520 p.
6. MarketsandMarkets. Positron Emission Tomography Market. Global Forecast to 2028. 2023.
7. Beyer T. et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology // Journal of Nuclear Medicine. 2000. Vol. 41, No. 8. P. 1369–1379.
8. Gambhir S.S. et al. A tabulated summary of the FDG PET literature // Journal of Nuclear Medicine. 2001. Vol. 42. P. 1S–93S.
9. ST RK 2.75-2009. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements of the Republic of Kazakhstan. Procedure for Certification of Test Equipment. Astana, 2009.
10. GOST R 8.568-97. Certification of Test Equipment. General Provisions. Moscow: Standartinform, 1997.
11. U.S. Food and Drug Administration. Guidance for Industry and FDA Staff. 2008.
12. American College of Radiology. ACR-AAPM Technical Standard for PET/CT. Revised 2016.
13. National Electrical Manufacturers Association. NEMA NU 2-2018: Performance Measurements of Positron Emission Tomographs. Rosslyn, VA: NEMA, 2018.
14. Boellaard R. et al. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines v2.0 // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2015. Vol. 42. P. 328–354.
15. Boellaard R. et al. FDG PET: EANM procedure guidelines v1.0 // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2010. Vol. 37. P. 181–200.
16. Karp J.S. et al. Benefit of time-of-flight in PET // Journal of Nuclear Medicine. 2008. Vol. 49. P. 462–470.
17. Tanaka E., Kudo H. Optimal relaxation parameters of DRAMA for 3D-PET // Physics in Medicine and Biology. 2010. Vol. 55. P. 2917–2939.
18. International Electrotechnical Commission. IEC 61675-1:2013 — Radionuclide Imaging Devices. Geneva: IEC, 2013.
19. Moses W.W. Fundamental limits of spatial resolution in PET // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2011. Vol. 648. P. S236–S240.
20. Lecoq P. Development of new scintillators for medical applications // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2016. Vol. 809. P. 130–139.
21. Phelps M.E. PET: the merging of biology and imaging // Journal of Nuclear Medicine. 2000. Vol. 41. P. 661–681.
22. Vallabhajosula S. 18F-labeled PET radiopharmaceuticals in oncology // Seminars in Nuclear Medicine. 2007. Vol. 37. P. 400–419.
23. Official Opening of the PET Centre in Astana // Kazakhstan Journal of Oncology. 2010. No. 2. P. 45–46.
24. Kinahan P.E. et al. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner // Medical Physics. 1998. Vol. 25. P. 2046–2053.
25. Zaidi H., Hasegawa B. Determination of the attenuation map in emission tomography // Journal of Nuclear Medicine. 2003. Vol. 44. P. 291–315.
26. Scheuermann J.S. et al. Qualification of PET scanners in multicenter clinical trials // Journal of Nuclear Medicine. 2009. Vol. 50. P. 1187–1193.
27. Busemann Sokole E. et al. Acceptance testing for nuclear medicine instrumentation // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2010. Vol. 37. P. 672–681.
28. Sunderland J.J., Christian P.E. Quantitative PET/CT scanner performance characterization // Journal of Nuclear Medicine. 2015. Vol. 56. P. 145–152.
29. Lee M.S. et al. Deep-dose: a voxel dose estimation method using deep CNN // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. Art. 10308.
30. Graham M.M. et al. Variations in PET/CT methodology at U.S. academic medical centers // Journal of Nuclear Medicine. 2011. Vol. 52. P. 311–317.

ПОЗИТРОНДЫ-ЭМИССИЯЛЫҚ ТОМОГРАФИЯ ЖҮЙЕЛЕРІН МЕТРОЛОГИЯЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ: ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

М.А. Кудайбергенов^{1*}, Б.Қ. Ермек²

«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

m.kudaibergenov@ksm.kz

Аңдатпа

Мақалада халықаралық тәжірибені ескере отырып, Қазақстан Республикасындағы позитрондық-эмиссиялық томография (ПЭТ) жүйелерін метрологиялық қамтамасыз етуге талдау жүргізілген. Қазақстан Республикасының нормативтік-құқықтық базасы, халықаралық стандарттар, сондай-ақ АҚШ-та, Еуропалық одақ елдерінде және Азия елдерінде ПЭТ-жүйелерін метрологиялық бақылау тәжірибесі қарастырылған. Позитрондық-эмиссиялық томографтардың техникалық сипаттамалары мен метрологиялық талаптары зерттелген. Бақылауға жататын негізгі метрологиялық сипаттамалар айқындалған: сәулелену көзінің координаталарын анықтау дәлдігі, детекторлардың сезімталдығы, кеңістіктік ажырату қабілеті, уақыттық ажырату қабілеті және энергетикалық ажырату қабілеті. 2010 жылы ашылғаннан бері Астана қаласындағы ПЭТ-орталықтың жұмыс істеу тәжірибесі талданған. Қазақстан Республикасының аумағына әкелінетін ПЭТ-жүйелеріне арналған мамандандырылған салыстырып тексеру әдістемелерін әзірлеу және жоғары технологиялық медициналық жабдықтарды метрологиялық бақылаудың ұлттық жүйесін құру қажеттілігі анықталған.

Түйін сөздер: метрология, позитрондық-эмиссиялық томография, ПЭТ, медициналық техниканы салыстырып тексеру, онкологиялық диагностика, радиофармпрепараттар, метрологиялық аттестаттау, өлшем бірлігін қамтамасыз ету.

METROLOGICAL SUPPORT OF POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY SYSTEMS: CURRENT STATE AND PROSPECTS

M.A. Kudaibergenov^{1*}, B.K. Yermek²

RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, Almaty city, Republic of Kazakhstan

m.kudaibergenov@ksm.kz

Abstract

Abstract. This article presents an analysis of the metrological assurance of positron emission tomography (PET) systems in the Republic of Kazakhstan, taking into account international experience. The regulatory and legal framework of the Republic of Kazakhstan, international standards, and practices of metrological control of PET systems in the United States, the European Union, and Asian countries are reviewed. The technical characteristics and metrological requirements for positron emission tomographs are examined. The main metrological characteristics subject to control are identified, including the accuracy of determining radiation-source coordinates, detector sensitivity, spatial resolution, temporal resolution, and energy resolution. The experience of operating a PET centre in Astana since its opening in 2010 is analysed. The study identifies the need to develop specialised verification procedures for PET systems imported into the Republic of Kazakhstan and to establish a national system of metrological control for high-technology medical equipment.

Keywords: metrology, positron emission tomography, PET, verification of medical equipment, oncological diagnostics, radiopharmaceuticals, metrological attestation, measurement traceability.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ

Кудайбергенов Максат Алиакбарович — «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының Алматы қаласы және Алматы облысы бойынша филиалының жетекші маманы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: m.kudaibergenov@ksm.kz, Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы.

Ермек Бақберген Қайратұлы — «Қазақстан стандарттау және метрология институты» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының Алматы қаласы және Алматы облысы бойынша филиалының маманы, e-mail: e.bakbergen@ksm.kz, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

ОБ АВТОРАХ

Кудайбергенов Максат Алиакбарович — Ведущий специалист Филиала по городу Алматы и Алматинской области Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: m.kudaibergenov@ksm.kz, г. Алматы, Республика Казахстан.

Ермек Бақберген Қайратұлы- специалист Филиала по городу Алматы и Алматинской области Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», e-mail: e.bakbergen@ksm.kz, г. Алматы, Республика Казахстан.

ABOUT THE AUTHORS

Kudaibergenov Maksat Aliakbarovich — Leading Specialist of the Almaty City and Almaty Region Branch of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: m.kudaibergenov@ksm.kz, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Yermek Bakbergen Kairatuly — Specialist of the Almaty City and Almaty Region Branch of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology”, e-mail: e.bakbergen@ksm.kz, Almaty, Republic of Kazakhstan.