

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

Г. Мухамбетов
В. Михалченко
М. Конканов



Учебник

МЕТРОЛОГИЯ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

Г. Мухамбетов, В. Михалченко, М. Конканов

МЕТРОЛОГИЯ

*Рекомендовано Ученым советом
Казахстанского института стандартизации и метрологии*

Астана 2023

УДК 006.91 (075.8)

ББК 30.10 я73

М92

Рецензенты

О.В. Стукач, д.т.н., профессор НИУ «Высшая школа экономики» старший член IEEE;

А.Ю. Кузин, д.т.н., профессор, заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»;

Р.К. Ниязбекова, д.т.н., профессор кафедры «Стандартизация и сертификация и метрология» КазАТУ им. С. Сейфуллина.

Метрология: Учебник / Г. Мухамбетов, В. Михалченко, М. Конканов / Казахстанский институт стандартизации и метрологии. Астана: Изд-во, 2023. 260 с.

ISBN 978-601-80963-2-7

В учебнике рассмотрены основные понятия, нормативное, организационное и методическое обеспечение метрологии с учетом последних изменений в области реформирования системы технического регулирования в Республики Казахстан. Изложены особенности метрологии в различных отраслях промышленности и сферах деятельности. Предназначен для студентов высших учебных заведений, изучающих дисциплину «Метрология, стандартизация, сертификация», а также представляет интерес для преподавателей, специалистов в области метрологии и управления качеством и широкого круга деловых людей при изучении специальных дисциплин в области измерительной техники.

ISBN 978-601-80963-2-7

Казахстанский институт стандартизации и метрологии, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основы метрологии.....	4
Прикладная метрология.....	127
Практикум по метрологии.....	181

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Учебник

Астана 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	6
Список сокращений	8
Глава 1 Предметы и задачи метрологии.....	10
Глава 2 История развития метрологии.....	12
Глава 3 Единицы величин.....	15
3.1 Измерения физических величин (виды измерений).....	21
Глава 4 Средства измерений и их классификация.....	26
4.1 Эталоны единиц величин и их классификация.....	29
4.2 Эталонная база Республики Казахстан	32
4.3 Стандартные образцы.....	67
Глава 5 Разделы метрологии.....	73
5.1 Теоретическая метрология.....	73
5.2 Законодательная метрология	74
5.3 Прикладная метрология.....	75
Глава 6 Развитие метрологии в мире.....	77
6.1 Международные и региональные организации по метрологии.....	84
6.2 Роль метрологии в экономике.....	106
6.3 Развитие метрологии в Казахстане.....	116
Глава 7 Государственный метрологический контроль.....	120
7.1 Объекты государственного метрологического контроля.....	121
7.2 Порядок осуществления государственного метрологического контроля	122
Заключение	124

Предисловие

Метрология - наука об измерениях, способах и средствах обеспечения их единства и методах достижения требуемой точности результатов измерений. Метрология представляет собой, с одной стороны, научную, с другой – практическую дисциплину, которая позволяет обеспечить единство измерений в различных сферах деятельности. Современная метрология является синтетической дисциплиной, включающей в себя научный, прикладной и административно-правовой аспекты.

Задачи метрологии, как учебной дисциплины, следующие:

- дать студентам представление об истории и современном состоянии метрологии в стране и за рубежом; об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства; о способах достижения требуемой точности; об организации деятельности по метрологии в развитых странах; о международных и региональных организациях по метрологии; о связях метрологии, стандартизации и сертификации;

- ознакомить с законодательными и нормативными правовыми актами, методическими материалами по метрологии; системой межведомственного и ведомственного контроля за стандартами и единством измерений; теорией воспроизведения единиц физических величин и передачи их размеров; методами обработки результатов измерений и СИ; их метрологическими характеристиками; правилами проведения испытаний и приемки продукции;

- научить планированию и проведению работ по метрологии; методам обработки результатов измерений и анализу их достоверности; методам контроля качества продукции.

Данное учебное пособие состоит из семи глав.

В первой главе рассмотрены основные термины и понятия, раскрывающие предмет и задачи метрологии.

Во второй главе представлена история развития метрологии и ее роль в науке и технике.

Третья глава посвящена видам измерений и единицам физических величин.

В четвертой главе представлены средства и методы измерений, а также обработка и представление результатов измерений.

В пятой главе рассмотрены основные разделы метрологии.

Шестая глава знакомит с развитием метрологии в мире, нормативно-правовой основой метрологической деятельности: от международного уровня до уровня руководства отдельными предприятиями и их подразделениями.

Государственный метрологический контроль соблюдения физическими и юридическими лицами требований законодательства Республики Казахстан об обеспечении единства измерений рассмотрен в седьмой главе.

Авторы выражают искреннюю благодарность всем, кто участвовал в создании учебника.

В подготовке материала и изложении отдельных разделов учебника «Метрология» участвовали сотрудники Государственного научного метрологического центра: Ж.А. Бегайдаров, Г.А. Суйеубаева, В.М. Белоусов, К.З. Саттыбаева, Ж.Т. Калиева, А.Б. Рахадинова, Д.М. Молдыбаев, Т.Е. Епенов, Е.С. Сейтпеков, А.Қ. Жұмағали, М.Б. Жаманбалин, С.Б. Смағұлов, Р.Б. Сулейменов, У.Е. Молдаганаров, А.У. Дусказиева, М.Д. Копеева, Б.К. Жанасбаев, В.В. Александров, Ш.Е. Маулимгазинова, Н.М. Выродова, Н.А. Түймекулова, Ы.Т. Жәйманова, С.О. Тагаева, Ж.К. Таушев, Р.Ж. Аймагамбетова, Д.Т. Мукашева, М.А. Рамазанова.

Список сокращений

APMP – Asia Pacific Metrology Programme (Азиатско-Тихоокеанская Метрологическая Программа);

BIPM – Bureau International des Poids et Mesures (Международное бюро мер и весов);

CEEMS AG – Консультативная группа по вопросам стран с развивающимися метрологическими системами;

CIPM-MRA – Соглашение «О взаимном признании национальных измерительных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами»;

FIACC – Координационный комитет пяти международных ассоциаций;

IMEKO – Международная конфедерация измерений;

МАА (Framework for a Mutual Acceptance Arrangement) – Соглашение о взаимном признании результатов оценки типа средств измерений;

ВТО – Всемирная торговая организация;

CGPM – General Conference on Weights and Measures (Генеральная конференция мер и весов);

ГНМЦ – Государственный научный метрологический центр;

ГССО – Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

ДовД – Декларация о взаимном доверии;

ИП – Измерительный преобразователь;

КООМЕТ – Евро-Азиатское Сотрудничество Государственных Метрологических Учреждений;

МБЗМ (BIML) – Международное бюро законодательной метрологии;

МВИ – Методика выполнения измерений;

МГС – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации;

МД – Международные документы;

МКЗМ (CIML) – Международный Комитет по Законодательной Метрологии;

МР – Международная рекомендация;
МСО – Межгосударственный стандартный образец;
МХ – Метрологические характеристики;
НМИ – Национальный метрологический институт;
НМИ РК - Национальный метрологический институт Республики Казахстан;
ОК – Объединенный Комитет;
ОСО - Отраслевой стандартный образец;
РМО – Региональная метрологическая организация;
СВКТ – Программа VIPM по наращиванию потенциала и передаче знаний;
СИ– Средство измерений;
СО – Стандартный образец;
СО КООМЕТ - Стандартный образец Евро-Азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений;
СОП - Стандартный образец предприятия;
ТБТ – Технические барьеры в торговле;
ТК/ПК (ТС/SC OIML) – Технические комитеты и подкомитеты.

Глава 1

Предметы и задачи метрологии

Термин «*метрология*» произошел от греческих слов: *μετρον* – мера и *λογος* – учение, слово.

В современном понимании ***метрология*** — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Это наука, которая занимается установлением единиц измерений различных физических величин и воспроизведением их эталонов, разработкой методов измерений физических величин, а также анализом точности измерений и исследованием и устранением причин, вызывающих погрешности в измерениях.

Любая наука является состоявшейся, если она имеет свой объект, предмет и методы исследования. Предмет любой науки отвечает на вопрос: ЧТО ею изучается?

Предметом метрологии является измерение свойств объектов (длины, массы, плотности и т.д.) и процессов с заданной точностью и достоверностью.

Объектами метрологии являются:

- измеряемая (в том числе физическая) величина;
- единица физической величины;
- измерение;
- погрешность измерений;
- метод измерений;
- средство измерений.

Объект науки может быть общим для ряда других наук.

Поскольку метрология изучает методы и СИ физических величин с максимальной точностью, ее задачи и цели вытекают из самого определения науки. Тем не менее, учитывая колоссальную важность метрологии, как науки, для научно-технического прогресса и эволюции человеческого общества, все термины и определения метрологии, включая ее цели и задачи, стандартизированы посредством документов по стандартизации.

Итак, *основными задачами* метрологии являются:

- установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых СИ;
- разработка теории, методов и СИ и контроля;
- обеспечение единства измерений и единообразных СИ;
- разработка методов оценки погрешности, состояния СИ и контроля;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов и образцовых СИ рабочим СИ.

Главным критерием результатов измерений является их достоверность. Под этим термином понимают установленные единицы величин измерений и заданные допустимые погрешности. Благодаря этому есть возможность сопоставлять результаты замеров, производимых в разных местах, в разное время и различными способами.

Приступая к изучению основ метрологии, необходимо ознакомиться с основными понятиями в области метрологии, используя общие положения Закона Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений».

Закон Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» регулирует общественные отношения, возникающие между государственными органами, физическими и юридическими лицами в области метрологии, определяет ее цели, правовые и организационные основы обеспечения единства измерений.

Глава 2

История развития метрологии

Метрология является наукой, которая изучает измерения, их точность, надежность и соответствие стандартам. Эта наука играет ключевую роль в различных областях, включая производство, науку, медицину и технологии. Однако метрология не является новым изобретением. История метрологии простирается на многие века назад и связана с различными науками и культурами.

Первые упоминания о метрологии относятся к древним грекам. Они разработали систему единиц измерения для длины, веса и объема. В дальнейшем, во время Римской империи была создана система единиц измерения, которая стала известна как «римская мера». Она включала в себя футы, дюймы, пяди и другие единицы измерения.

В Средние века в Европе существовало множество различных систем измерения, и каждая страна использовала свои единицы измерения. Однако в XVIII веке было принято решение о создании единой системы единиц измерения - метрической системы. Эта система была разработана во Франции и включала в себя единицы измерения для длины, массы и объема.

С тех пор метрология продолжила свое развитие и стала все более важной в науке и промышленности. Одним из ключевых моментов в развитии метрологии было создание международной системы единиц (СИ) в 1960 году. Эта система включает в себя семь основных единиц измерения, которые используются по всему миру.

Сегодня метрология является одной из наиболее быстро развивающихся областей науки и технологий. Она играет ключевую роль в обеспечении точности и надежности измерений, что необходимо для различных областей, включая производство, технологии и науку.

Новые технологии и научные открытия требуют все более

точных измерений, что делает метрологию необходимой для почти всех отраслей науки и промышленности.

Современная метрология включает в себя широкий спектр методов и технологий, которые позволяют производить измерения с высокой точностью и надежностью. Среди них можно выделить классические методы, такие как весовые и объемные методы измерения, и более современные методы, такие как лазерная интерферометрия, спектроскопия и другие.

Существует также множество специализированных областей метрологии, таких как радиометрология, оптическая метрология и метрология наноструктур, которые требуют особого подхода к измерениям. Кроме того, существуют международные организации, такие как Международное бюро весов и мер (BIPM) и Международная организация по стандартизации (ISO), которые разрабатывают и поддерживают стандарты для метрологических измерений.

Одной из ключевых проблем в метрологии является неопределенность измерений. Это означает, что любое измерение имеет некоторую неопределенность, связанную с ограничениями приборов и методов измерения. Однако современные методы метрологии позволяют минимизировать неопределенность измерений и достичь высокой точности измерений.

Кроме того, метрология играет важную роль в глобальных и национальных экономиках. Важно иметь точные измерения, чтобы убедиться в соответствии продуктов и услуг стандартам и регулированиям. Это позволяет убедиться в качестве продуктов и услуг, которые производятся и продается, что, в свою очередь, способствует защите потребителей, а также обеспечивает справедливую конкуренцию на рынке.

История метрологии показывает, что ее развитие тесно связано с развитием науки и технологий, а также социально-экономических изменений в обществе. Важным шагом в развитии метрологии было создание международных организаций по метрологии и стандартизации, которые разрабатывают и поддерживают стандарты и руководства для изме-

рений, а также оценивают неопределенность измерений.

История метрологии включает множество важных событий, которые влияли на ее развитие. Некоторые из них включают создание первых стандартов длины и веса, создание национальных институтов метрологии, и разработку новых методов и приборов для измерений.

История метрологии также показывает, что метрология является междисциплинарной наукой, связанной с физикой, математикой, химией, биологией и другими науками. Современная метрология требует широкого спектра знаний и навыков для проведения точных и надежных измерений.

Изучение истории метрологии является важным для понимания ее роли и значения в современном обществе. Оно также помогает в разработке новых методов и приборов для измерений и в поддержании международных стандартов и руководств по метрологии.

Глава 3

Единицы величин

Единица величины – величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и которая применяется для количественного выражения однородных с ней величин.

На территории Республики Казахстан к применению допускаются единицы величин Международной системы единиц, принятой Генеральной конференцией по мерам и весам и рекомендованной Международной организацией законодательной метрологии.

Международная система единиц принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам. Применение этой системы единиц регламентирует также межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы физических величин.

Основные единицы системы СИ: килограмм, метр, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела. В рамках системы СИ считается, что эти единицы имеют независимую размерность, т. е. ни одна из основных единиц не может быть получена из других. Производные единицы получаются из основных с помощью алгебраических действий, таких как умножение и деление. Некоторым из производных единиц в Системе СИ присвоены собственные названия.

Таблица 3.1 – Основные единицы СИ

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Определение
			международное	русское	
Длина	L	метр	m	м	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299792458$ s [XVII CGPM (1983 г.), Резолюция 1]
Масса	M	килограмм	kg	кг	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I CGPM (1889 г.) и III CGPM (1901 г.)]

Время	T	секунда	s	с	Секунда есть время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII CGPM (1967 г.), Резолюция 1]
Электрический ток (сила электрического тока)	I	ампер	A	A	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н [МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX CGPM (1948 г.)]
Термодинамическая температура	$\cup$	кельвин	K	K	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII CGPM (1967 г.), Резолюция 4]
Количество вещества	N	моль	mol	моль	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 kg. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц [XIV CGPM (1971 г.), Резолюция 3]
Сила света	J	кандела	cd	кд	Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Hz, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ W/sr [XVI CGPM (1979 г.), Резолюция 3]

16 ноября 2018 года резолюция 26-й Генеральной конференции мер и весов (BIMP), утвердила новые определения для основных единиц Международной системы единиц (SI).

Новые определения закреплены в отношении четырех из семи базовых единиц, а именно килограмма, ампера, кельвина и моля.

Килограмм, величина устанавливаемая фиксацией численного значения постоянной Планка h равной в точности $6,62607015 \cdot 10^{-34}$, когда она выражена единицей СИ Дж·с, которая эквивалентна $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, где метр и секунда определены через c и $\Delta\nu\text{Cs}$.

где c – скорость света в вакууме;

$\Delta\nu\text{Cs}$ – частота излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия – 133.

Ампер, есть единица электрического тока, определяемый путем принятия фиксированного числового значения элементарного заряда e равным $1,602176634 \times 10^{-19}$ при выражении в единице Кл, что соответствует А·с, где секунда определяется через $\Delta\nu\text{Cs}$

Кельвин, определяемый путем установления фиксированного числового значения постоянной Больцмана k равным $1,380649 \cdot 10^{-23}$ в единицах Дж/К, что соответствует $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, где килограмм, метр и секунда определены через константы h , c и $\Delta\nu\text{Cs}$.

Моль — количество вещества, содержащее $6,02214076 \cdot 10^{23}$ структурных элементов вещества — атомов, молекул или соответствующих комбинаций ионов.

Примеры производных единиц СИ, образованных с использованием основных единиц СИ, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием наименований и обозначений основных единиц СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Площадь	L^2	квадратный метр	m^2	м^2
Объем, вместимость	L^3	кубический метр	m^3	м^3

Скорость	LT^{-1}	метр в секунду	m/s	м/с
Ускорение	LT^{-2}	метр на секунду в квадрате	m/s^2	$м/с^2$
Волновое число	L^{-1}	метр в минус первой степени	m^{-1}	$м^{-1}$
Плотность	$L^{-3}M$	килограмм на кубический метр	kg/m^3	$кг/м^3$
Удельный объем	L^3M^{-1}	кубический метр на килограмм	m^3/kg	$м^3/кг$
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	ампер на квадратный метр	A/m^2	$A/м^2$
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	A/m	$A/м$
Молярная концентрация компонента	$L^{-3}N$	моль на кубический метр	mol/m^3	$моль/м^3$
Яркость	$L^{-2}J$	кандела на квадратный метр	cd/m^2	$кд/м^2$

Примеры производных единиц СИ, имеющие специальные наименования и обозначения, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования и обозначения

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Выражение через основные и производные единицы СИ
			Международное	русское	
Плоский угол	1	радиан	rad	рад	$m \cdot m^{-1} = 1$
Телесный угол	1	стерадиан	sr	ср	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
Частота	T^{-1}	герц	Hz	Гц	s^{-1}
Сила	$LM T^{-2}$	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	J	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	L^2MT^{-3}	ватт	W	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Электрический заряд, количество электричества	TI	кулон	C	Кл	$s \cdot A$

Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ohm	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S	См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Температура Цельсия	°C	градус Цельсия	°C	°C	K
Световой поток	lm	люмен	lm	лм	cd·sr
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	lx	лк	cd·sr/m ²
Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)	T^{-1}	беккерель	Bq	Бк	s^{-1}
Поглощенная доза ионизирующего излучения, керма	L^2T^{-2}	грей	Gy	Гр	$m^2 \cdot s^{-2}$
Эквивалентная доза ионизирующего излучения, эффективная доза ионизирующего излучения	L^2T^{-2}	зиверт	Sv	Зв	$m^2 \cdot s^{-2}$
Активность катализатора	NT^{-1}	катал	kat	кат	mol·s ⁻¹

Примечания:

1 В таблице 3.3 включены единица плоского угла – радиан и единица телесного угла – стерadian.

2 В Международную систему единиц при ее принятии в 1960 г. на XI CGPM (Резолюция 12) входило три класса единиц: основные, производные и дополнительные (радиан и стерadian). CGPM классифицировала единицы радиан и стерadian как «дополнительные, оставив открытым вопрос о том, являются они основными единицами или производными». В целях уст-

ранения двусмысленного положения этих единиц Международный комитет мер и весов в 1980 г. (Рекомендация 1) решил интерпретировать класс дополнительных единиц СИ как класс безразмерных производных единиц, для которых CGPM оставляет открытой возможность применения или неприменения их в выражениях для производных единиц СИ. В 1995 г. XX CGPM (Резолюция 8) постановила исключить класс дополнительных единиц в СИ, а радиан и стерadian считать безразмерными производными единицами СИ (имеющими специальные наименования и обозначения), которые могут быть использованы или не использованы в выражениях для других производных единиц СИ (по необходимости).

Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц СИ образуют с помощью множителей и приставок, указанных в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Множители и приставки, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

Деся- тичный множи- тель	Пристав- ка	Обозначение приставки		Деся- тичный множи- тель	Пристав- ка	Обозначение приставки	
		междуна- родное	русское			междуна- родное	рус- ское
10^{24}	иотта	Y	И	10^{-1}	деци	d	д
10^{21}	зетта	Z	З	10^{-2}	санتي	c	с
10^{18}	экса	E	Э	10^{-3}	милли	m	м
10^{15}	пета	P	П	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{12}	тера	T	Т	10^{-9}	нано	n	н
10^9	гига	G	Г	10^{-12}	пико	p	п
10^6	мега	M	М	10^{-15}	фемто	f	ф
10^3	кило	k	к	10^{-18}	атто	a	а
10^2	гекто	h	г	10^{-21}	zepto	z	з
10^1	дека	da	да	10^{-24}	иокто	y	и

Впервые более чем за 30 лет в Международную систему единиц (СИ) были официально добавлены новые термины: ронна (ronna, 10^{27} , или число с 27 нулями) и кветта (quetta, 10^{30}), а также ронто (ronto, 10^{-27}) и квекто (qecto, 10^{-30}).

Принятие новых приставок подтвердила Национальная

физическая лаборатория Великобритании, которая и выступала инициатором введения терминов. За это проголосовали учёные и представители правительств со всего мира, присутствовавшие на 27-й Генеральной конференции по мерам и весам.

3.1 Измерения физических величин (виды измерений)

Измерение является одной из самых древнейших операций в процессе познания человеком окружающего материального мира. Вся история цивилизации представляет собой непрерывный процесс становления и развития измерений, совершенствования средств и методов измерений, повышения их точности и единообразия мер.

В процессе своего развития человечество прошло путь от измерений на основе органов чувств и частей человеческого тела до научных основ измерений и использования для этих целей сложных физических процессов и технических устройств.

С развитием человечества измерения приобретали все большее значение в экономике, науке, технике, в производственной деятельности.

Многие науки стали называться точными благодаря тому, что они могут устанавливать с помощью измерений количественные соотношения между явлениями природы. По существу, весь прогресс науки и техники неразрывно связан с возрастанием роли и совершенствованием процедуры измерений. Д.И. Менделеев говорил, что «наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука нелегима без меры».

Не меньшее значение имеют измерения в технике, производственной деятельности, при учете материальных ценностей, при обеспечении безопасных условий труда и здоровья человека, сохранении окружающей среды. Современный научно-технический прогресс невозможен без широкого использования СИ и проведения многочисленных измерений.

В Законе Республики Казахстан от 7 июня 2000 года

№ 53-II «Об обеспечении единства измерений» приведено следующее определение основных понятий в области метрологии:

Измерение – процесс экспериментального получения одного или более количественных значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

Классификация измерений может проводиться по следующим критериям:

1) По характеристике точности измерения делятся на равноточные и неравноточные.

Равноточными измерениями физической величины называется ряд измерений некоторой величины, сделанных при помощи СИ, обладающих одинаковой точностью, в идентичных исходных условиях.

Неравноточными измерениями физической величины называется ряд измерений некоторой величины, сделанных при помощи средств измерения, обладающих разной точностью, и (или) в различных исходных условиях.

2) По количеству измерений измерения делятся на однократные и многократные.

Однократное измерение – это измерение одной величины, сделанное один раз. Однократные измерения на практике имеют большую погрешность, в связи с этим рекомендуется для уменьшения погрешности выполнять не менее трех раз измерения такого типа, а в качестве результата брать их среднее арифметическое.

Многократные измерения – это измерение одной или нескольких величин, выполненное четыре и более раз. Многократное измерение представляет собой ряд однократных измерений. Минимальное число измерений, при котором измерение может считаться многократным не менее четырех. Результатом многократного измерения является среднее арифметическое результатов всех проведенных измерений.

3) По типу изменения величины измерения делятся на статические и динамические.

Статические измерения – это измерения постоянной,

неизменной физической величины. Примером такой постоянной во времени физической величины может послужить длина земельного участка.

Динамические измерения – это измерения изменяющейся, непостоянной физической величины. Примером динамических измерений является измерение скорости.

4) По предназначению измерения делятся на технические и метрологические.

Технические измерения – это измерения, выполняемые рабочими (техническими) СИ.

Метрологические измерения – это измерения, выполняемые с использованием эталонов.

5) По способу представления результата измерения делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютные измерения – это измерения, которые выполняются посредством прямого, непосредственного измерения основной величины и (или) применения физической константы.

Относительные измерения – это измерения, при которых вычисляется отношение однородных величин, причем числитель является сравниваемой величиной, а знаменатель – базой сравнения (единицей). Результат измерения будет зависеть от того, какая величина принимается за базу сравнения.

6) По методам получения результатов измерения делятся на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения – это измерения, выполняемые при помощи мер, т.е. измеряемая величина сопоставляется непосредственно с ее мерой. Примером прямых измерений является измерение величины угла (мера – транспортир).

Косвенные измерения – это измерения, при которых значение измеряемой величины вычисляется при помощи значений, полученных посредством прямых измерений, и некоторой известной зависимости между данными значениями и измеряемой величиной. Примером таких измерений является вычисление плотности материала, полученное по результатам измерения массы и объема.

Совместные измерения – это одновременные измерения нескольких разнородных величин для нахождения зависимости между ними. Другими словами, совместные измерения – это измерения зависимостей между величинами. Примером совместных измерений является измерение температурного коэффициента линейного расширения. Оно проводится путем одновременных измерений изменения температуры образца испытываемого материала и соответствующего приращения его длины и последующей математической обработки полученных результатов измерений.

Совокупные измерения – это проведение ряда измерений нескольких однородных величин. Примером совокупных измерений являются измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

В стандарте СТ РК 2.42 «ГСИ РК. Виды измерений. Классификация» в качестве классификационного признака принята измеряемая величина и приведены 17 групп классификации видов измерений:

- 01 измерения геометрических величин;
- 02 измерения массы;
- 03 измерения силы и твердости;
- 04 измерения давления;
- 05 измерения вакуума;
- 06 измерения параметров движения;
- 07 измерения расхода и количества жидкостей и газов;
- 08 измерения плотности и вязкости;
- 09 физико-химические измерения;
- 10 теплофизические и температурные измерения;
- 11 оптико-физические измерения;
- 12 акустические измерения;
- 13 измерения электрических величин;
- 14 измерения магнитных величин;
- 15 измерения времени и частоты;
- 16 радиотехнические измерения;
- 17 измерения ионизирующих излучений.

Помимо национальной классификации видов измерений, Международным бюро мер и весов принята следующая классификация видов измерений:

- 1 Измерения в химии и биологии;
- 2 Электричество и магнетизм;
- 3 Длина;
- 4 Масса и связанные с ней величины;
- 5 Фотометрия и радиометрия;
- 6 Термометрия;
- 7 Время и частота;
- 8 Акустика, ультразвук и вибрация;
- 9 Ионизирующие излучения.

Глава 4

Средства измерений и их классификация

СИ – это техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее метрологические характеристики.

СИ классифицируют в зависимости от назначения и метрологических функций. По назначению СИ подразделяются на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

Мера физической величины – СИ, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Примеры мер: гири, концевые меры длины, радионуклидные источники и др.

Меры, воспроизводящие физические величины лишь одного размера, называются однозначными (гиря, меры твердости), нескольких размеров – многозначные (миллиметровая линейка – позволяет выражать длину, как в мм, так и в см). Кроме того, существуют наборы и магазины мер, например, магазин емкостей или индуктивностей.

При измерениях с использованием мер сравнивают измеряемые величины с известными величинами, воспроизводимыми мерами. Сравнение осуществляется разными путями, наиболее распространенным средством сравнения является компаратор, предназначенный для сличения мер однородных величин. Примером компаратора являются рычажные весы.

К мерам относятся стандартные образцы и аттестованные смеси, которые представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых является величиной с известным значением. Например, образцы плотности жидкости, зерна и зернопродуктов.

Стандартный образец (далее – СО) – образец вещества (материала) с установленными в результате метрологической

аттестации значениями одной или более величин, характеризующими свойство или состав этого вещества (материала).

Предназначены для воспроизведения, хранения и передачи характеристик состава или свойств веществ (материалов), выраженных в значениях единиц величин, допущенных к применению в Республике Казахстан.

СО применяются для поверки, калибровки, градуировки СИ, оценивания методик выполнения измерений, контроля качества выпускаемой продукции.

Аттестованная смесь – смесь двух и более веществ (материалов), приготовленная по документированной методике, с установленными в результате аттестации по расчетно-экспериментальной процедуре приготовления значениями метрологических характеристик, определяющих состав смеси. Аттестованная смесь может представлять собой смесь газов, раствор, суспензию, сплав, механическую смесь дисперсных материалов (веществ) и т.п.

Измерительный преобразователь (далее – ИП) – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, индикации или передачи. Измерительная информация на выходе ИП, как правило, недоступна для непосредственного восприятия наблюдателем. Хотя ИП являются конструктивно обособленными элементами, они чаще всего входят в качестве составных частей в более сложные измерительные приборы или установки и самостоятельного значения при проведении измерений не имеют.

Преобразуемая величина, поступающая на измерительный преобразователь, называется входной, а результат преобразования – выходной величиной. Соотношение между ними задается функцией преобразования, которая является его основной метрологической характеристикой.

Для непосредственного воспроизведения измеряемой величины служат первичные преобразователи, на которые непосредственно воздействует измеряемая величина и в которых происходит трансформация измеряемой величины для

ее дальнейшего преобразования или индикации. Примером первичного преобразователя является термopapa в цепи термoeлектрического термометра. Одним из видов первичного преобразователя является датчик – конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (он «дает» информацию). Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от СИ, принимающего его сигналы. Например, датчик метеорологического зонда. В области измерений ионизирующих излучений датчиком часто называют детектор.

По характеру преобразования ИП могут быть аналоговыми, аналого-цифровыми (АЦП), цифро-аналоговыми (ЦАП), то есть, преобразующими цифровой сигнал в аналоговый или наоборот. При аналоговой форме представления сигнал может принимать непрерывное множество значений, то есть, он является непрерывной функцией измеряемой величины. В цифровой (дискретной) форме он представляется в виде цифровых групп или чисел. Примерами ИП являются измерительный трансформатор тока, термометры сопротивлений.

Измерительный прибор – СИ, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Измерительный прибор представляет измерительную информацию в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

По способу индикации различают показывающие и регистрирующие приборы. Регистрация может осуществляться в виде непрерывной записи измеряемой величины или путем печатания показаний прибора в цифровой форме.

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем градуировку в единицах этой величины. Например, амперметры, термометры.

Приборы сравнения предназначены для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Такие приборы используются для измерений с большей точностью.

По действию измерительные приборы разделяют на интег-

рирующие и суммирующие, аналоговые и цифровые, самопишущие и печатающие.

Измерительная установка и система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких величин и расположенных в одном месте (установка) или в разных местах объекта измерений (система). Измерительные системы, как правило, являются автоматизированными и по существу они обеспечивают автоматизацию процессов измерения, обработки и представления результатов измерений. Примером измерительных систем являются автоматизированные системы мониторинга состояния зданий и сооружений.

По метрологическому назначению СИ делятся на рабочие СИ и эталоны.

Рабочее СИ предназначено для измерений, не связанное с передачей размера единицы другим средствам измерений. Рабочее СИ может использоваться и в качестве индикатора.

Эталон СИ, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера средствам измерений. Среди них можно выделить рабочие эталоны разных рядов.

Классификация СИ проводится и по другим различным признакам. Например, по видам измеряемых величин, по виду шкалы (с равномерной или неравномерной шкалой), по связи с объектом измерения (контактные или бесконтактные).

4.1 Эталоны единиц величин и их классификация

Понятие «эталон единицы» является собирательным и включает в себя целый ряд производных понятий-эталонов, таких как «государственный эталон единицы», «первичный эталон», «специальный эталон», «вторичный эталон», «эталон-копия», «эталон сравнения», «эталон-свидетель» и «рабочий эталон».

Такое многообразие эталонов, обусловлено структурой и реализацией системы обеспечения единства измерений отдельных физических величин. Очевидно, что достижению

этой цели, прежде всего, будет способствовать применение одинаковых с точки зрения их определения единиц. В этом отношении очень важным этапом в решении обеспечения единства измерений явилась разработка международной системы единиц физических величин – СИ.

Для обеспечения единства измерений этой физической величины важно, чтобы единицы были одинаковы в их вещественном выражении в тех образцах (эталонах), с которыми сравнивается измеряемая физическая величина. В то же время, очевидно, что любой такой образец создается специально, и никакие два подобных образца не могут быть сделаны абсолютно одинаковыми: реальные размеры единицы в образцах обязательно будут в той или иной мере отличаться друг от друга. Отсюда следует, что среди таких образцов следует выбрать и узаконить какой-либо один, наилучшим образом соответствующий определению единицы, в качестве самого точного эталона (исходного эталона единицы), относительно которого затем определять и контролировать размер единицы для всех остальных эталонов и средств измерений.

При наличии большого парка рабочих средств измерений различной точности возникает необходимость в создании системы эталонов различной степени точности, и тем самым – к иерархической соподчиненности эталонов единицы в такой системе. Именно по такому иерархическому принципу разрабатываются поверочные схемы для средств измерений отдельных физических величин [3].

В настоящее время различают следующие виды эталонов:

- Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. Первичные эталоны подразделяются на национальные (государственные), международные и специальные.

- Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. Вторичные эталоны подразделяются на эталоны-копии и эталоны сравнения.

- Национальный эталон – эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны. Первичный эталон, признанный решением уполномоченного органа в качестве исходного в стране, называется государственным первичным эталоном. Оба термина имеют единое значение. Термин «национальный эталон» применяется тогда, когда хотят подчеркнуть соподчиненность государственного эталона международному.

- Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

- Специальный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющий для этих условий первичный эталон. Единица, воспроизводимая с помощью специального эталона, по размеру должна быть согласована с единицей, воспроизводимой с помощью соответствующего первичного эталона.

- Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам. Эталон-копия не всегда является физической копией государственного эталона, он копирует лишь метрологические свойства государственного эталона.

- Эталон сравнения – вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

- Эталоны-свидетели предназначаются для проверки сохранности и неизменности государственного эталона и для замены его в случае физического износа или утраты.

- Рабочий эталон воспринимает размер единицы от вторичных эталонов и, в свою очередь, служит для передачи размера менее точному рабочему эталону (низшего разряда) или рабочим средствам измерений. Термин «рабочий эталон» заменил используемый ранее термин «образцовое средство измерений».

В зависимости от назначения и исполнения эталоны классифицируются следующим образом:

- одиночный эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и хранения единицы;

- групповой эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения; за результат измерений обычно принимается среднее арифметическое значение из результатов измерений однотипными средствами измерений или эталонными установками;

- эталонный набор, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств; эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений физической величины, например набор эталонных гирь;

- транспортируемый эталон, иногда специальной конструкции, предназначенный для его транспортировки к местам поверки или калибровки средств измерений или сличений эталонов данной единицы.

Совокупность всех видов эталонов образует эталонную базу Республики Казахстан.

Создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов единиц величин осуществляет государственный научный метрологический центр (ГНМЦ), являющийся Национальным центром Республики Казахстан (НМИ РК).

4.2 Эталонная база Республики Казахстан

Эталонная база – стратегический индикатор уровня развития государства, который требует постоянного развития и модернизации.

Программу ее развития диктует национальный план развития страны, рост экономики, современные и перспективные потребности науки, техники и промышленности республики в метрологическом обеспечении, в развитии высокоточной измерительной техники.

В связи с этим номенклатура создаваемых эталонов обсуждается с метрологическими службами в рамках Экспертных советов, Советов метрологов, утверждаются на основе анализа метрологической обеспеченности средств измерений в стране.

На сегодня национальная эталонная база состоит из 104 единиц эталонного оборудования, из них 50 – государственные эталоны, 54 – государственные рабочие эталоны. С их помощью обеспечивается прослеживаемость по видам измерений:

- Масса;
- Геометрические величины;
- Сила и твердость;
- Давление;
- Вакуум;
- Расход и количество жидкостей и газов;
- Плотность и вязкость;
- Теплофизические и температурные измерения;
- Оптико- физические;
- Электрические величины;
- Магнитные величины;
- Время и частота.

В соответствии с Законом РК «Об обеспечении единства измерений», эталоны единиц величин предназначены для воспроизведения и (или) хранения единиц величин (кратных либо дольных значений единиц величин) с целью передачи их размеров другим средствам измерений данных величин. Эталоны единиц величин применяются государственной метрологической службой, метрологическими службами органов государственного управления и юридических лиц.

Созданная система эталонов республики соответствует уровню развития производства и другим государственным интересам, а также учитывает значение эталонов для важных сфер государственного регулирования.

Метрологическая деятельность предприятий, организаций и учреждений страны, связанная с получением и использованием результатов измерений, обеспечением их досто-

верно оцененной точности приобретает приоритетное значение, превращаясь в разветвленную инфраструктуру.

Вместе с тем, международное признание измерительных возможностей страны, которые обеспечивают государственные эталоны, является важным фактором для расширения сотрудничества стран в сфере науки и применения инноваций, устранения технических барьеров в торговле и участия в многосторонних торговых соглашениях.

Государственный эталон единицы длины

Длина – физическая величина, числовая характеристика протяжённости линий. Проще говоря – расстояние между двумя наиболее удалёнными точками предмета

За единицу длины принят метр и его кратные и дольные величины. Самое раннее определение метра было связано с измерением меридианы между Дюнкером и Барселоной, длина которой равнялась 10-7 квадранта Земли. На первой Генеральной конференции по мерам и весам (CGPM) метру дали более точное определение, в результате чего в 1889 году появился прототип метра: как международной меры длины. Данный прототип служил определением метра до 1960 года, пока на 11-й Генеральной конференции не было принято новое определение метра: «Метр – длина, равная 1650763,73 длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона 86 на длине волны 606 нм.

Через несколько лет стало очевидным, что криптоновый стандарт не применим к более точным измерениям, чем приблизительно 4 к 10⁹. Принимая во внимание необходимость более точного стандарта, неудобство определения, основанное лишь только на длине волны, доле погрешности цезиевых часов, составляющей всего лишь 1 к 10¹³, а также стабилизацию в измерениях лазерных частот, длины волн и технологии измерения частот, в 1983 году на Международной конференции по мерам и весам было дано ныне действующее опреде-

ление метра, основанное на длине пути, который свет проходит в вакууме за $1/299792458$ секунды.

Одновременно с семнадцатой Генеральной Конференцией по мерам и весам Международный комитет по мерам и весам предложил список рекомендуемых длин волн для практической реализации метра как меры длины. В данный список входили пять видов лазерного излучения, стабилизированных к молекулярным переходам с техникой насыщенного поглощения, частотам, по которым непосредственно устанавливался стандарт времени по цезиевым часам через частотные цепи. Из этих пяти рекомендованных лазерных длин волн четыре включают стабилизацию к сверхтонким компонентам колебательно-вращательных переходов молекулярного йода.

Молекулярный йод широко применяется при стабилизации абсолютной частоты лазеров многие годы. С большим успехом он используется как при внутренних, так и при традиционных насыщенных спектроскопических конфигурациях на различных длинах волн. Йодные стволы популярны не только из-за своей прочности и узких переходов, но и благодаря изобилию переходов, распределенных через видимый спектр. Йодные переходы, совпадающие с некоторыми линиями излучения гелий-неонового лазера (а именно 543 нм, 612 нм, 612 нм, 633 нм, 640 нм), были тщательно изучены благодаря относительно низкой цене гелий-неоновых лазеров. В частности, подробные исследования проводились относительно повторяемости 633 нм гелий-неоновых лазеров, стабилизированных до сверхтонких компонентов R (127) перехода 11 к 5127I2.

В Казахстане Государственный первичный эталон единицы длины был создан и исследован в 2007 году ГНМЦ совместно с Национальным Институтом Стандартов и Технологий (NIST), США. В 2019 году с участием ГНМЦ исследован как государственный первичный эталон единицы длины.

Рисунок 4.2.1 – Государственный эталон единицы длины



Государственный эталон состоит из комплекса следующих СИ:

- гелий-неоновый лазер, стабилизированный по йоду Model 100;
- оптический квантовый генератор;
- система гетеродинирования оптических частот;
- программное обеспечение LaserCal 3.0;
- анализатор спектра Rhode&Schwarz FS300;
- частотомер Agilent 5318A.

Основными узлами государственного эталона являются He-Ne/I₂ лазер, система гетеродинирования оптических частот и аппаратура для регистрации результатов измерений. Для регистрации результатов измерений используется анализатор спектра, частотомер и программное обеспечение.

Государственный эталон единицы массы

Государственный эталон единицы массы был создан в 2007 году. В состав эталона входят 3 гири, номиналом 1 килограмм, имеющие статус первичного эталона, эталона-свидетеля и вторичного эталона, а также наборы гирь от 1 миллиграмма до 500 грамм и от 2 до 20 килограмм, также имеющие статус вторичного эталона.

Первичный государственный эталон единицы массы прослеживается к эталону килограмма Международного бюро мер и весов в Париже. В Республике все СИ и меры массы посредством цепи поверок и калибровок прослеживаются к первичному эталону. Таким образом, Государственный эталон единицы массы обеспечивает необходимую точность при проведении измерений массы на всех уровнях в Республике.

Периодические сличения национальных эталонов разных стран между собой и с международным прототипом килограмма позволяют обеспечить соответствие эталонов массы в мире. Результатом сличений также является декларация измерительных и калибровочных возможностей (СМС-строк) в базе данных Международного бюро мер и весов. Декларация СМС-строк подтверждает уровень точности измерений, проводимых в ГНМЦ. На сегодняшний день ГНМЦ имеет 6 СМС-строк в области массы, охватывающих диапазон от 1 мг до 10 кг.

Рисунок 4.2.2 – Государственный эталон единицы массы



Государственный эталон единицы силы

Государственный эталон единицы силы создан в 2003 году. Государственный эталон представляет собой набор электронных динамометров-компараторов в диапазоне измерений сил от 0,5 до 3000 кН и служит для передачи единицы силы от первичных эталонов силовоспроизводящим машинам 1-го разряда. В свою очередь, силовоспроизводящие машины передают единицу силы рабочим эталонам – динамометрам

2-го разряда, силовоспроизводящим машинам 3-го разряда и рабочим СИ силы, используемым в испытательных лабораториях при проведении различных испытаний материалов (прочность, продольный и поперечный изгибы и др.). В целях удовлетворения спроса предприятий республики в расширении диапазона и повышения точности измерений внесены изменения в поверочную схему для средств измерений силы, в 2014 и 2022 годах проведена соответствующая модернизация государственного эталона единицы силы.

Рисунок 4.2.3 – Государственный эталон единицы силы



Государственный эталон единицы твердости

Казахстан располагает тремя государственными эталонами твердости, реализующими методы измерений твердости по шкалам Бринелля (ISO 6506-1), Виккерса (ISO 6507-1), Роквелла и Супер-Роквелла (ISO 6508-1). Государственные эталоны твердости созданы в 2004 году на базе ГНМЦ. В составе каждого из вышеназванных эталонов имеются приборы нагружения с комплектом специальных грузов для создания испытательных усилий, цифровое отсчетное устройство для измерений отпечатков, набор наконечников. По результатам международных сличений государственные эталоны твердости подтвердили свою эквивалентность и признаны на

международном уровне, имеют опубликованные СМС-строки.

Государственные эталоны твердости служат для проведения поверки и калибровки рабочих эталонов – эталонных мер твердости 1-го и 2-го разрядов. Также с использованием государственных эталонов твердости проводится аттестация эталонных мер твердости по шкалам Бринелля, Виккерса, Роквелла и Супер-Роквелла собственного производства.

Рисунок 4.2.4 – Государственные эталоны твердости



Эталонные меры твердости используются для поверки и настройки различных стационарных и переносных твердомеров. Рабочие СИ твердости нашли широкое применение в испытательных лабораториях при проведении испытаний материалов в машиностроении, черной и цветной металлургии, энергетике, транспорте. Измерения твердости изделий очень часто предусматриваются требованиями конструкторской документации, по результатам которых косвенно определяются другие механические свойства материалов – такие, как прочность, пластичность, упругость и т.п.

Государственный эталон единицы давления

Почти 60 % всех измерений, выполняемых в научных исследованиях, промышленности и сельском хозяйстве, связаны с измерениями давления и расхода различных веществ. Давление является основным ра-

бочим параметром, точность и надежность измерения которого определяют ценность результатов экспериментальных исследований в гидро- и газодинамике, качество проведения технологических процессов в химической, пищевой, бумажной промышленности, оптимальность режимов работы объектов ракетной техники и авиации, энергетики и транспорта, эффективность систем добычи, транспортировки и переработки нефти и газа. Разнообразие требований к технике и методикам измерения давления, обусловленное спецификой различных отраслей промышленности, строительства, транспорта, а также различные физико-химические свойства измеряемых сред породили многочисленные различные методы и СИ давления. Можно с уверенностью утверждать, что в лишь немногих других областях измерений имеется такое обилие реализованных идей и технических решений, как в сфере измерений давления. Причем почти все известные на сегодняшний день физические закономерности нашли свое воплощение в методиках и технических СИ давления.

Для метрологического обеспечения приборов в данной области измерений в 2004 году ГНМЦ создан Государственный эталон единицы избыточного давления.

Принцип действия эталона основан на уравнивании измеряемого давления грузами, действующими на поршень в цилиндре.

СИ давления широко применяются в различных отраслях экономики: химической, пищевой, бумажной промышленности, оптимальность режимов работы объектов ракетной техники и авиации, энергетики и транспорта, эффективность систем добычи, транспортировки и переработки нефти и газа.

На сегодняшний день в республике для измерения давления используются грузопоршневые манометры 1 разряда, калибраторы давления, датчики давления, преобразователи давления, а также рабочие СИ давле-

ния цифровые и аналоговые манометры.

Для метрологического обеспечения СИ в данной области измерений, Государственный эталон единицы давления прослеживается к первичному эталону Национального Физико-технического института (ПТВИ), Германии, методом непосредственного сличения.

Эталон единицы давления состоит из комплекса СИ:

Эталон давления PG-7102-M (в диапазоне от 5 кПа до 10 МПа), работающий на воздухе (газ-азот);

Эталон давления PG-7302 (в диапазоне от 100 кПа до 500 МПа), работающий на жидкости;

Грузоприемное устройство (гиря) модели PG7000;

Набор гирь (специальные грузы) модели MS-7002-55.

Рисунок 4.2.5 – Государственный эталон единицы давления



Государственный эталон единицы расхода жидкости

Государственный эталон единицы расхода жидкости представляет собой трубопоршневую поверочную установку 1 разряда (Компакт-прувер) стационарного исполнения, а также имеется аналогичный Государственный эталон – копия расхода жидкости мобильного исполнения, на базе автотранспорта КАМАЗ.

Государственным эталоном и его копией охвачены такие важные направления как нефтегазовый сектор рес-

публики, нефтегазодобывающая и нефтегазоперерабатывающая промышленности

Рисунок 4.2.6 – Государственный эталон единицы расхода жидкости



Компакт-прувер состоит из цилиндра с поршнем, компаратора – турбинного преобразователя расхода, преобразователя плотности жидкости, датчика давления, датчика температуры и контроллера измерительного. Компакт-прувер основан на принципе вытеснения поршнем известного объёма жидкости через калибровочную часть мерного цилиндра между двух датчиков, одновременно производится подсчёт импульсов контроллером измерительным, который в составе компакт-прувера.

Государственный эталон расхода жидкости смонтирован стационарно и соединён двумя металлическими шлангами (вход, выход) к трубопроводной системе с четырьмя электронасосами, создающими необходимый расход жидкости для проверки/калибровки различных расходомеров жидкости.

Одновременно установленные к трубопроводной системе последовательно поверяемые/калибруемые расходомеры измеряют объём проходящей жидкости и количество импульсов. Количество импульсов с поверяемых/калибруемых расходомеров вводится через электропроводную систему в контроллер компакт-прувера.

Контроллер в составе компакт-прувера сравнивает количество импульсов компакт-прувера и количество импульсов

поверяемого/калибруемого расходомера и выдает все данные в виде фискального отчёта с параметрами такими, как количество импульсов компакт-прувера, количество импульсов поверяемого/калибруемого расходомера, давление в компакт-прувере, температура в компакт-прувере, плотность в компакт-прувере, расход жидкости в компакт-прувере, масса или объём расхода жидкости в зависимости от расходомера, масса и объём расхода жидкости компакт прuvera, по которым можно определить относительную погрешность и неопределённость.

Поверочная жидкость – вода, нефть, нефтепродукты, газовый конденсат, сжиженный газ, химикаты, промышленные и коммерческие жидкости с вязкостью до 10^{-2} м²/с. Содержание свободного газа или воздуха в трубопроводной системе компакт-прувера не допускается.

Государственный эталон единицы плотности

Государственный эталон единицы плотности жидкости был создан ГНМЦ и утвержден в качестве государственного эталона в 2007 году.

Принцип действия эталона основан на измерениях плотности жидкости методом гидростатического взвешивания полностью погруженных в жидкость эталонных мер плотности (эталонных поплавков), с известными значениями плотности при заданной температуре измерений.

СИ плотности жидкости широко применяются в различных отраслях экономики: пищевой, фармацевтической, нефтехимической, металлургической, строительной промышленности, водном хозяйстве как для оценки качества продукции, так и при проведении учетных операций.

Плотность используется, например, для определения концентрации спирта в жидкости, управления процессом брожения при производстве вина и пива, измерения содержания сахара (градусы Brx) в промежуточных и конечных продуктах при производстве пищевых продуктов и напитков.

Плотность позволяет определять градусы API и концентрации компонентов тяжелой нефти, парафина и смазочных

материалов в нефтехимической отрасли. Относительная плотность (удельный вес) измеряется для аккумуляторного электролита в автомобильной промышленности и для других растворителей, кислот и оснований в химической промышленности. Кроме того, плотность часто измеряется в фармацевтической промышленности и для контроля качества косметических, гигиенических и других продуктов.

Важнейшей задачей нефтедобывающей отрасли является учет нефти и нефтепродуктов. Потери только за счет погрешности измерений массы нетто нефти, бензина составляют около 1,5 процента. Такая погрешность приводит к значительным экономическим потерям нефтяных компаний и государства. Поэтому для Республики Казахстан, нефтяная промышленность, которая в будущем составит значительную долю экспорта, требует повышения точности учета количества и качества нефти и нефтепродуктов, что определяет взаимоотношения между потребителями и поставщиками.

Стоимость нефтепродуктов в значительной степени зависит от ее качества. Важнейшими товарными показателями качества является плотность.

На сегодняшний день в республике для измерения плотности жидкости используются ареометры 1, 2 разрядов, ареометры общего назначения, ареометры для спирта, ареометры-сахарометры, ареометры для молока, ареометры для урины, ареометры для кислот, ареометры для грунта, ареометры для нефти, плотномеры, а также рабочие средства измерения плотности жидкости.

Калибровочные и измерительные возможности государственного эталона плотности жидкости подтверждаются посредством калибровки эталонных мер плотности.

Эталон единицы плотности жидкости состоит из комплекса СИ:

- эталонных сфер, мер плотности жидкости;

- термостата жидкостного низкотемпературного;

- аналитических весов;

- приборов для измерения габаритов, температуры, давления и влажности.

Рисунок 4.2.7 – Государственный эталон единицы плотности жидкости



Государственный эталон единицы кинематической вязкости жидкости

Государственный эталон единицы кинематической вязкости жидкостей был создан ГНМЦ и утвержден в качестве государственного эталона в 2010 году.

Процедура определения значений кинематической вязкости на эталоне основывается на капиллярном методе измерения вязкости, согласно которому время течения определенного объема жидкости через капилляр пропорционально ее вязкости.

Эталон кинематической вязкости предназначен для хранения, воспроизведения и передачи единицы кинематической вязкости рабочим эталонным капиллярным стеклянным вискозиметрам 1 разряда методом прямых измерений и различным вискозиметрам таким как автоматические, ротационные и т.д. непосредственным сличением.

Важной характеристикой вещества является его вязкость. Вязкость жидкости — это ее способность оказывать сопротивление перемещению одних частиц относительно других, то есть противостоять касательным усилиям в потоке. Данное свойство присутствует у всех веществ, которые обладают текучестью. Текучесть — это сдвиг (перемещение) одних частиц по отношению к другим той же самой среды. За счет силы внутреннего трения вязкость противостоит процессу текучести.

Для определения кинематической вязкости жидкости используют различные вискозиметры. Они применяются в различных отраслях, таких как пищевая, строительная, нефтяная, химия, медицина и т.д.

Эталон единицы кинематической вязкости жидкостей состоит из комплекса СИ:

- набора из стеклянных капиллярных вискозиметров с висячим уровнем;
- аппаратуры для автоматического отсчета времени течения жидкости в эталонных вискозиметрах;
- аппаратуры для поддержания и измерения температуры жидкости в эталонных вискозиметрах.

Процедура определения значений кинематической вязкости на эталоне основывается на капиллярном методе измерения вязкости, согласно которому время течения определенного объема жидкости через капилляр пропорционально ее вязкости. Измерения выполняются в термостате последовательно температуре 20°C.

Рисунок 4.2.8 – Государственный эталон единицы кинематической вязкости



Государственный эталон единицы кинематической вязкости жидкости используется для поверки и калибровки СИ вязкости, участия в сличениях, а также для изготовления градуировочных жидкостей и стандартных образцов вязкости.

Эталоны единиц физико-химических величин

В связи с возрастающими требованиями к точности газоаналитических измерений и приборов газового анализа, применяющихся практически во всех отраслях промышленности и экономики республики (газо- и нефтепереработка, металлургия, угольная промышленность, охрана окружающей среды и безопасность жизнедеятельности), необходимо обеспечить воспроизведение и передачу государственным эталоном единицы молярной доли компонентов в газовых средах в соответствии с новыми требованиями.

Государственный эталон единицы молярной доли компонентов в газовых средах

Газоаналитические измерения играют важную роль во всех областях национальной экономики и социальной сфере жизнедеятельности человека.

Получаемая в газовых измерениях информация используется практически во всех отраслях промышленности и народного хозяйства (экология, металлургия, нефтегазовая отрасль, химическая промышленность и др.).

Для ее получения применяется множество различных типов газоанализаторов. В Республике Казахстан парк приборов газового анализа составляет свыше десяти тысяч единиц и постоянно пополняется.

В 2010 г. на базе Карагандинского филиала ГНМЦ впервые в республике организовано мелкосерийное производство поверочных газовых смесей для нужд предприятий и организаций, а государственный эталон молярной доли компонентов в газовых средах был создан и исследован в 2009 году.

Основное назначение эталона – воспроизведение, хранение и передача размера единицы молярной доли компонентов в газовых средах рабочим эталонам – поверочным газовым смесям в баллонах под давлением.

В основу эталона положен ряд физико-химических методов (хроматографический, гравиметрический, оптико-абсорбционный), обеспечивающих воспроизведение, хранение и передачу размера единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах.

В состав эталона входят Комплекс аналитического оборудования:

- комплекс для воспроизведения единицы молярной доли компонентов в газовых средах на базе: весов-компаратора специального класса точности;

- установки газосмесительные;

- генератор газовых смесей;

- комплекс для передачи размера единицы молярной доли компонентов на базе хроматографов газовых;

- хроматографический комплекс для аттестации чистых газов на базе газового хроматографа;

- хроматографический комплекс для аттестации компонентов природного газа на базе газового хроматографа;

- газоаналитический комплекс на базе ИК-Фурье спектрометра для передачи размера единицы химически активных компонентов.

Эталонные газовые смеси в баллонах под давлением - эталонные газовые смеси, эталоны сравнения в баллонах под давлением, имеющие прослеживаемость по результатам международных сличений.

Для соответствия уровню развития науки и техники, а также улучшению точности измерений эталон постоянно проходит модернизацию. Последняя модернизация была проведена в 2022 г. путем дооснащения гравиметрическим комплексом, газовой кюветой и материалами для ИК-Фурье спектрометра, а также баллонами для заправки смесей.

В соответствии с СТ РК 2.118 «ГСИ. Государственная поверочная схема для СИ компонентов в газовых средах», ГОСТ 8.578 «ГСИ. Государственная поверочная схема для СИ молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах» необходимость выполнения своевременной калибровки, градуировки и поверки подавляющего большинст-

ва газоанализаторов различных типов требует применения стандартных образцов состава – поверочных газовых смесей. При этом достоверность и точность получаемой газоаналитической информации зависит от точности используемых поверочных газовых смесей, которые изготавливаются при помощи эталона.

Государственный эталон единицы дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов и единицы массовой концентрации частиц в аэродисперсных средах

Эталон дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов и единицы массовой концентрации частиц в аэродисперсных средах разработан совместно с компанией «TSI», США и «Kalman System Ltd», Венгрия, исследован и утвержден как Государственный эталон в 2008 году.

Область применения: ракетно- космическая промышленность; авиастроение; оборона и безопасность; энергетика; электронная и радиоэлектронная промышленность; двигателестроение; фармацевтическая промышленность; экология, металлургическая и добывающая промышленность; нефть и газ.

Государственный эталон предназначен для воспроизведения, хранения и передачи единиц массовой и счетной концентрации частиц в аэродисперсных средах, аэродинамических размеров частиц, распределения частиц по размерам и передачи размера вышеуказанных единиц величин при помощи рабочих эталонов рабочим СИ с целью обеспечения единства измерений в стране.

В качестве государственного эталона применяют систему, состоящую из:

- генератора аэрозолей;
- счетчика частиц;
- электростатического классификатора;
- анализатора аэродисперсных параметров аэрозолей;
- измерителя массовой концентрации частиц, электрометра;

- диллятора;
- лазерного фотометра.

Государственный эталон обеспечивает воспроизведение единицы счетной концентрации C_N в диапазоне от 1 до 10^{14} частиц/м³ с расширенной неопределенностью U - не более 6 %;

- диаметра частиц d в диапазоне от 0,005 до 1000 мкм с расширенной неопределенностью U - не более 4 %,
- массовой концентрации C_m в диапазоне от 0,5 до 1000 мг/м³ с расширенной неопределенностью U - не более 4 %,
- функции распределения $f_{распр.}$ от 0,5 до 1000 мкм с расширенной неопределенностью U - не более 4 %.

Рисунок 4.2.9 – Государственный эталон дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов и единицы массовой концентрации частиц в аэродисперсных средах.



Создание эталона, реализующего несколько методов, позволило обеспечить измерение дисперсных характеристик аэрозолей и взвесей с метрологическими характеристиками, удовлетворяющими современные потребности промышленности, обороны и наукоемких отраслей экономики Республики Казахстан.

Государственный эталон по своим техническим и метрологическим характеристикам соответствует современному уровню развития науки и техники, уровню ведущих метрологических центров, таких как NIST, PTB, PNL, NMI. В настоящее время ГНМЦ продолжает разработку методов и средств воспроизведения и передачи единиц дисперсных параметров аэрозолей и взвесей в нанометровом диапазоне размеров частиц.

Чистота воздушной среды по аэрозольным частицам – одно из требований Правил производства лекарственных средств Европейского союза, так называемые Правила GMP.

Практическая реализация единицы массовой и счетной концентрации частиц в аэродисперсных средах, аэродинамических размеров частиц применяется для измерения чистоты воздуха в чистых помещениях в медицине, фармакологии, на предприятиях электронной промышленности и предприятиях экологического мониторинга атмосферного воздуха.

Государственный эталон единицы pH

Показатель активности ионов водорода (водородный показатель) pH является важной электрохимической характеристикой жидких сред. Результаты измерений pH применяют в здравоохранении, в сфере экологического мониторинга, химической, нефтехимической, пищевой промышленности, энергетике и т.д. Водородный показатель pH используют для оценки качества неорганических и органических материалов, пищевых продуктов, лекарственных препаратов, нефти и нефтепродуктов, для изучения и контроля состояния водных объектов окружающей среды. При контроле pH осуществляются различные технологические процессы в химической промышленности.

Передача значений pH различным СИ в процессе их градуировки осуществляется с применением растворов с известными значениями pH. Для этого используют буферные растворы, свойства которых заключаются в сохранении значений pH постоянными (в некоторых пределах) при добавлении в них кислоты или щелочи.

Рисунок 4.2.10 - Государственный эталон единицы pH



Наилучшие буферные свойства имеют растворы солей, образованные слабой кислотой и сильной щелочью или сильной кислотой и слабой щелочью. Значения pH буферных растворов принимаются по результатам потенциометрических измерений.

Международная шкала pH водных растворов основана на воспроизводимых значениях pH буферных растворов в диапазоне от 1 до 12 pH.

В соответствии с Рекомендациями ИЮПАК 2002 (IUPAC Recommendations 2002 Measurement of pH. Definition, standards, and procedures) первичным методом измерения pH является потенциометрический метод с использованием ячеек без переноса (ячеек Харнеда) с платиновым «водородным» электродом и хлорсеребряным электродом сравнения.

Государственный первичный эталон pH реализует первичный потенциометрический метод измерений pH и предназначен для воспроизведения, хранения и передачи единицы pH рабочим эталонам и рабочим СИ с целью обеспечения единства измерений.

Эталон состоит из пяти основных блоков:

1) Блок термостатирующий предназначен для термостатирования ячеек при определенной температуре.

2) Блок измерительный предназначен для измерения потенциалов электродов в электрохимических ячейках, температуры водяного термостата, а также для контроля режима работы термостата и переключения потенциальных выводов электрохимических ячеек с целью одновременного проведения измерений в нескольких ячейках в реальном времени.

3) Блок вычислительный предназначен для обработки данных измерительного блока и расчета значения pH.

4) Электрохимические ячейки (ячейки Харнеда) представляют собой замкнутую систему, изготовленную из стекла, устойчивого к воздействию ионов водорода. Ячейка имеет два электродных отделения – одно для электрода сравнения, другое для измерительного электрода, соединенных между собой капиллярной трубкой. Через сопло ячейки пропускается газ водород, поступающий в измерительную ячейку через трехступенчатый барботер, в котором происходит насыщение газов водой и термостатирование до нужной температуры. Заполнение ячеек буферным раствором производят давлением аргона.

5) Система подачи газа (водорода) предназначена для контроля давления и контроля расхода водорода, генерируемого генератором водорода.

Эталон воспроизводит значения pH буферных растворов в

диапазоне от 1 до 12 pH с расширенной неопределенностью измерений (U) 0,003 pH при температуре 25 °C ($P=0,95$; $k=2$).

С целью метрологического обеспечения СИ pH разработаны государственные стандартные образцы pH, эталонные буферные растворы 1 и 2 разрядов, значения pH которым присваивается по результатам эталонных измерений.

Область преимущественного применения – экологический мониторинг, медицина, пищевая, химическая промышленность, сельское хозяйство, энергетика, оценка и подтверждение соответствия, сертификация продукции испытательными, санитарно-эпидемиологическими лабораториями и др.

Государственные эталоны температурных и теплофизических величин.

Государственные эталоны единицы температурных и теплофизических величин представлены следующими эталонами:

- температуры (контактным и бесконтактным методом измерения);
- теплопроводности твердых тел;
- относительной влажности;
- температуры точки росы/иней.

Рисунок 4.2.11 - Государственный эталон единицы температуры



Государственный эталон единицы температуры

Государственный эталон единицы температуры был создан в 1986 году с последующей модернизацией путем улучшения метрологических и технических характеристик на соответствие текущим требованиям. Последняя модернизация была в 2021 году с приобретением печей и ампул реперных точек алюминия и меди.

Государственный эталон единицы температуры предназначен для воспроизведения, хранения и передачи единицы температуры к эталонным термометрам в диапазоне измерения от реперной точки ртути ($-38,83^{\circ}\text{C}$) и меди (1084°C)

Государственный эталон единицы температуры состоит из моста сопротивления, эталонного термометра сопротивления и термопары, ампулы чистых металлов реперных точек ITS-90 и печи для реализации реперных точек. Международная температурная шкала ITS-90 с фиксированными реперными точками была принята во всем мире и является основным документом в области термометрии. Эталонные термометры калибруются в реперных точках и определяют градуировочные коэффициенты, что снижает систематическую погрешность. Далее эталонные термометры калибруют рабочие эталонные СИ, такие как калибраторы температуры.

Основные реперные точки шкалы ITS-90 определяются как точки плавления, затвердевания и тройные точки чистых веществ. Тройная точка – такое состояние вещества, при котором твердая, жидкая и газообразная фазы находятся в тепловом равновесии. Точка плавления или затвердевания – такое состояние вещества, при котором происходит равновесный фазовый переход от твердого к жидкому состоянию вещества (или наоборот) при внешнем давлении 101325 Па.

Для абсолютно чистого вещества температура границы жидкой и твердой фазы при равновесном фазовом переходе не зависит от того, какая процедура используется: затвердевание или плавление вещества. Для веществ с чистотой менее 99,99999% метод медленного затвердевания приводит к более точным и воспроизводимым результатам, т.к. процесс плавления зависит от условий предыдущего затвердевания. По этой причине ITS-90 устанавливает в качестве реперных точек преимущественно точки затвердевания, за исключением точки плавления галлия, для которой трудно реализовать процесс затвердевания из-за большого переохлаждения, присущего этому металлу. Для реализации реперных точек шкалы на современном уровне точности необходимо использовать металлы чистотой не ниже 99,9999%.

Государственный рабочий эталон единицы температуры по излучению в диапазоне от минус 30 °С до 2500 °С предназначен для хранения и передачи единицы температуры по бесконтактному методу измерения к калибраторам температуры абсолютное черное тело АЧТ и инфракрасным термометрам.

Действие излучателей основаны на том, что значение плотности теплового излучения излучающей полости, выполненной в виде модели абсолютно черного тела, соответствует закону Планка. Излучатель включает в себя тепловой излучатель, соединительные кабели и прецизионный пирометр, который выполняет функцию датчика обратной связи.

Государственный эталон единицы теплопроводности твердых тел

Государственный эталон единицы теплопроводности твердых тел предназначен для воспроизведения, хранения единицы теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 0,2 Вт/(м.К) в интервале температур от 250 К до 350 К и передачи ее размера при помощи рабочих эталонов рабочим средствам измерений. Эталон был создан в 2008 г.

Эталон состоит из системы определения теплопроводности А-1 и эталонными мерами теплопроводности из Пеноплекса, органического стекла, кварцевого стекла и многозначные меры. Воспроизводит единицу теплопроводности симметричным методом плоского слоя путем измерения теплопроводности двух плоских изотропных образцов, в качестве которых используются однозначные или многозначные меры теплопроводности.

Рабочие СИ теплопроводности применяются в определениях показателей теплопроводности теплоизоляционных материалов, которые будут применяться в строительстве.

Государственный эталон единицы относительной влажности

Государственный эталон единицы относительной влажности предназначен для воспроизведения, хранения единицы в диапазоне измерения от 5 % до 95% в интервале тем-

ператур от 5 °С до 60 °С и передачи ее размера при помощи рабочих эталонов рабочим СИ. Эталон был создан в 2007 г.

Государственный эталон единицы относительной влажности состоит из генераторов влажного воздуха Humilab и HygroGen и эталонного гигрометра MBW 473.

Влажность воздуха - важный показатель для людей с пониженным иммунитетом, аллергиков, астматиков, у кого наблюдаются частые головные боли, а также в период простуд и после перенесенных ОРВИ.

Государственный эталон единицы температуры точки росы/инея

Государственный эталон единицы температуры точки росы/инея предназначен для воспроизведения, хранения единицы в диапазоне измерения от минус 80 °С до 20 °С и передачи ее размера при помощи рабочих эталонов рабочим средствам измерений. Эталон был создан в 2015 г.

Государственный эталон единицы температуры точки росы/инея состоит из системы калибровки температуры точки росы/инея, которая включает в себя компрессор (для подачи воздуха), осушитель, генератор точки росы и эталонный гигрометр точки росы.

Единицы относительной влажности и температуры точки росы/инея являются родственными единицами.

Важность измерения влажности в газовой промышленности РК заключается в предотвращении возникновения опасности транспортировки влажного газа по магистральным трубопроводам, а именно опасности возникновения гидратов.

При транспортировке газа по шлейфам от скважин до установки комплексной подготовки газа происходит понижение температуры и потери давления, что в ряде случаев может привести к образованию гидратных пробок и возникновению нештатных и аварийных ситуаций. К установкам комплексной подготовки газа предъявляются определенные требования относительно точности различных измерений, т.к. неточность измерения влечет риски больших финансовых потерь нефтегазовых компаний.

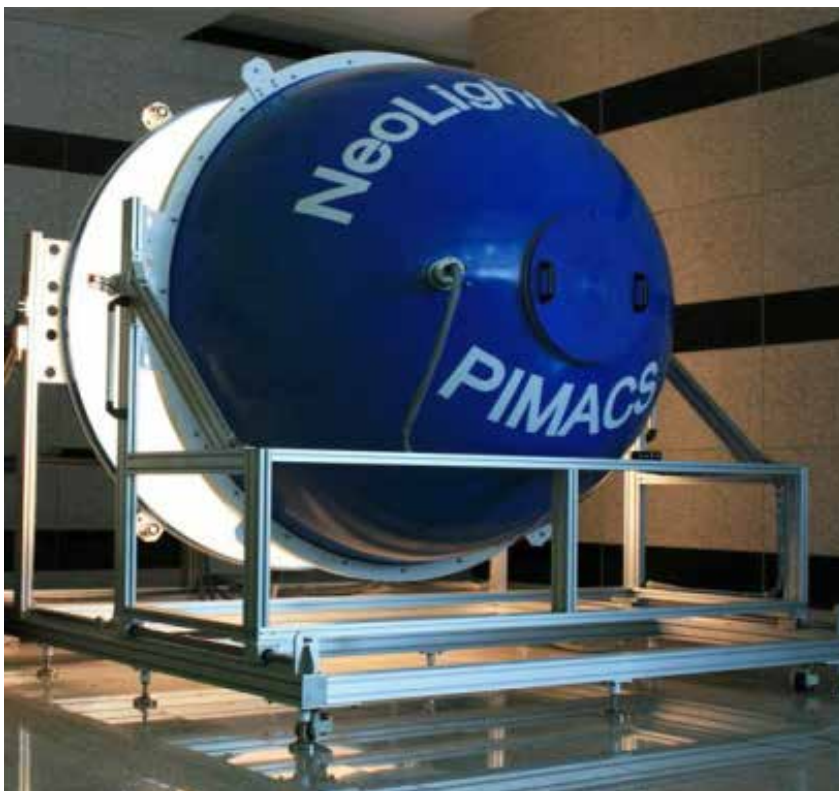
В ведении ГНМЦ имеется несколько эталонов оптико-физических величин

Государственный эталон единицы силы света, освещенности и светового потока

Предназначен для хранения и передачи размера физических величин рабочим эталонам и СИ в соответствии с требованиями СТ РК 2.174 «ГСИ РК. Государственный эталон и государственная поверочная схема для СИ световых величин непрерывного и импульсного излучения».

Эталон был создан и исследован ГНМЦ в 2009 году совместно с южнокорейской фирмой «PIMACS CO., LTD/ NeoLight PL7000» и Корейским исследовательским институтом стандартов и науки «KRISS», Корея.

Рисунок 4.2.12 - Государственный эталон единицы силы света, освещенности и светового потока



Принцип построения эталона заключается в использовании спектрорадиометрической системы, автоматической оптической скамьи и оптических приборов, стандартных ламп.

Эталон единицы силы света, применяется для метрологического контроля практически во всех отраслях промышленности:

- для калибровки и аттестации источников света;
- в медицине – для аттестации фототерапевтического оборудования, хирургических светильников, лазерных приборов, соляриев, бактерицидных ламп и т.д.;
- в сельском хозяйстве – для калибровки светильников для теплиц;
- в охране труда (санитарно-эпидемиологическая служба) – для аттестации рабочих мест, измерения освещенности помещений, при помощи таких приборов как люксметры, яркоммеры, светоизмерительные лампы и т.д.

Государственный эталон единиц координат цвета и координат цветности

Государственный эталон единиц координат цвета и координат цветности создан в соответствии с Программой развития государственной системы обеспечения единства измерений Республики Казахстан в 2009 году совместно с южнокорейской фирмой «PIMACS CO., LTD/ NeoLight», и утвержден в качестве государственного в 29.01.2010.

Предназначен для хранения и передачи размера единиц координат цвета и координат цветности методом прямых измерений, непосредственным сличением и при помощи рабочих эталонов (спектрофотометр) – источникам излучения, измерителям координат цветности самосветящихся объектов, спектроколориметрам, мерам спектрального коэффициента направленного пропускания и диффузного отражения, мерам координат цвета и цветности.

Полиграфистам, кинематографистам, работникам телевидения, текстильной промышленности, дизайнерам и многим другим необходимо знать допуски на цветовоспроизведе-

ние. Определение координат цвета и спектральных коэффициентов положено в основу многих методов анализа веществ и материалов. Для проведения таких измерений необходим соответствующий эталон.

Эталон состоит из комплексов СИ для исследований:

- координат цвета;
- координат цветности;
- спектрального коэффициента пропускания;
- оптической плотности;
- спектрального коэффициента диффузного отражения

Рисунок 4.2.13 - Государственный эталон единицы координат цвета и координат цветности



Диапазон значений координат цветности самосвещающихся объектов, воспроизводимых государственным эталоном, составляет $x=0,0039-0,7347$; $y=0,0048-0,8338$.

Государственный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим: $S_{x\bar{x}} = S_{y\bar{y}} = 0,0008-0,002$.

При этом расширенная неопределенность передачи единиц координат цветности составляет 0,0012.

- спектральные коэффициенты направленного пропускания в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм

Сфера применения эталона – высокотехнологичные производства такие, как медицина, производство и обеспечение безопасности продуктов питания, сырьевые отрасли, обеспечение безопасности движения на всех видах транспорта и т.д.

Оптические и оптико-физические методы измерений и приборы, как наиболее точные, применяются в большинстве современных высоких технологий, в ядерной и космической технике, лазерных технологиях, в машиностроении и приборостроении для контроля наиболее точных деталей, при сборке прецизионных узлов, для научных исследований в области физики, химии, медицины, биологии и так далее.

Государственные эталоны единиц электрических величин

Республика Казахстан обладает развитой структурой предприятий с наукоемким производством, где находят широкое применение СИ электрических величин.

Для производства и контроля качества выпускаемой продукции на предприятиях используется большой парк высокоточных СИ электрических величин, которые подлежат периодической поверке или калибровке.

Метрологическое обеспечение большинства этих СИ проводится в аккредитованных поверочных/калибровочных лабораториях на самих предприятиях или в других независимых лабораториях.

Государственный эталон единицы электрической емкости

Электрическая емкость является одной из двух электрических величин, позволяющих в рамках физического эксперимента осуществить согласование размеров электрических и механических величин. Эталон единицы электрической

емкости – единственный из электрических эталонов, размер которого определяется размером основной единицы СИ – метра путем прямых измерений. Теоретической основой эталона служит основная теорема электростатики (теорема Томпсона-Лэмпарда). Устройство, реализующее эту теорему (перекрестный расчетный конденсатор), обладает емкостью, определяемой только одним линейным измерением вне зависимости от формы и размеров оболочки.

Рисунок 4.2.15 - Государственный эталон единицы электрической емкости



При создании эталона электрической емкости ГНМЦ была приобретена прецизионная техника производителей ведущих фирм, имеющая в своем составе эталонные средства для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы и обеспечения функционирования эталона (меры модели АН11А с номинальными значениями емкости 1, 10 и 100 пФ. В качестве диэлектрика используется плавленный кварц и цифровой автоматический мост АН2700А, разрешающая способность которого достигает 10^{-7} (10^{-8}) (производство фирмы Andeen-Hagerling (США). Исследуются они в ГНМЦ. Мост электрической емкости АН2700А представляет собой прецизионный мост с диапазоном измерения электрической емкости от 0,001pF до 1 μ F и частотой 50 Гц–20 кГц, точность измерения (5–1000) ppm. Использование в конструкции моста АН2700А трансформатора отношений со специальной конструкцией обмоток, а также термостатированного конденсатора на основе плавленного кварца является главным фактором, обеспечивающим прецизионные измерения емкости (тан-

генса угла потерь) в частотном диапазоне от 50 Гц до 20 кГц.

Создание эталона электрической емкости, укомплектованного высокоточным оборудованием, на порядок повысило уровень точности измерения электрической емкости на всех ступенях передачи размера единицы электрической емкости и обеспечило широкий спектр новых поколений разрабатываемых высокоточных СИ электрической емкости, как отечественных, так и зарубежных, которые находят широкое применение на предприятиях и в организациях Казахстана.

Таким образом, эталон, хотя и не воспроизводит автономно размер единицы, способен «хранить» и «передать» единицу электрической емкости с наивысшей точностью в Республике Казахстан, удовлетворяющей требованиям реальных потребителей.

Государственный эталон единицы электрического сопротивления

Эталон единицы электрического сопротивления предназначен для метрологического обеспечения СИ электрического сопротивления – меры и магазины электрического сопротивления, цифровые мультиметры и калибраторы, мегаомметры, измерители сопротивления изоляции и заземлений.

Рисунок 4.2.16 - Государственный эталон единицы электрического сопротивления





В связи с тем, что электрическое сопротивление является одним из основных в электрической цепи и влияет на безопасность эксплуатации, что обязательно должно учитываться при расчетах, монтаже и эксплуатации энергетических и электрических устройств, то и парк СИ электрического сопротивления велик.

В Республике Казахстан для измерения электрического сопротивления используют резисторы, магазины и меры электрического сопротивления, мегаомметры, мультиметры, калибраторы, мосты постоянного тока, шунты сопротивления, применяемые на предприятиях таких отраслей промышленности, как энергетика, связь, машиностроение, станкостроение – электростанции, электрические сети, машиностроительные и приборостроительные заводы и др.

Государственные эталоны единицы постоянного напряжения и единицы переменного тока

Эталоны предназначены для поверки/калибровки и передачи размера единицы постоянного напряжения и единицы переменного тока таким СИ, как высокоточные универсаль-

ные мультиметры, калибраторы, измерители тока и напряжения, нормальные элементы и меры напряжения, шунты с целью обеспечения единства измерений в стране.

Принцип действия основан на воспроизведении единицы электрической величины с помощью эталонной меры напряжения или термопреобразователей тока-напряжения и измерения этой величины эталонным мультиметром.

Рисунок 4.2.17 - Государственный эталон единицы постоянного напряжения и единицы переменного тока



В настоящее время Республика Казахстан обладает развитой структурой предприятий с высокоточным и наукоемким производством, где находят широкое применение СИ переменного электрического тока и постоянного напряжения, параметры которых являются одними из основных величин в электрической цепи, применяемые на предприятиях РК и в таких сферах экономики, как энергетика, металлургия, машиностроение, медицина, приборостроение, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая, космическая.

Государственный эталон единицы времени и частоты

В целях национальной реализации UTC и для независимого воспроизведения единицы времени (с) и частоты (Гц) в 2006 году на базе ГНМЦ был создан Государственный первичный эталон времени и частоты (далее – ГЭВЧ).

ГЭВЧ наряду с 80 ведущими лабораториями мира принимает участие в формировании международной координированной шкалы времени UTC, а также имеет зарегистрированные строки измерительных и калибровочных возможностей в Международном бюро мер и весов (BIPM).

Рисунок 4.2.18 - Государственный эталон единицы времени и частоты



ГЭВЧ осуществляет воспроизведение, хранение единиц частоты и времени, необходимые для проведения поверочных и калибровочных работ всех отраслей экономики, в том числе услуг по калибровке декларированных в СМС-файлах в Базе калибровочных и измерительных возможностей ВІРМ, а также передачу размера единицы стандартам времени и частоты, используемых в качестве исходных эталонов на предприятиях.

На основе атомных стандартов частоты и времени ГЭВЧ воспроизводит и хранит единицы частоты в диапазоне частот от $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $4,0 \cdot 10^{10}$ Гц, интервалы времени в диапазоне от $1,0 \cdot 10^{-9}$ до $1,0 \cdot 10^8$ с и национальной шкалы времени UTC(KZ) относительно UTC на уровне ± 20 нс.

В рамках реализации п.п. 12, п.139 постановления Правительства Республики Казахстан №832 от 20.12.2016 г. «Об утверждении единых требований в области информационно-коммуникационных технологий и обеспечения информационной безопасности» сигналы шкалы времени UTC(KZ) передаются по протоколу Network Time Protocol (NTP) серверам

точного времени государственных учреждений, операторов связи, транспортных компаний и других потребителей.

Посредством эталонных частот задающих генераторов тактовой частоты 2,048; 5; 10 МГц (ПЗГ, ВЗГ, аппаратур синхронизации) обеспечивается синхронизация систем связи и телекоммуникации, что немаловажно для цифровизации экономики страны. По указанным частотам формируется работа биллинговых систем (коммутаторы, базовые станции, системы измерений передачи данных и длительности соединений), а также функционирование узлов систем операторов связи.

4.3 Стандартные образцы

СО свойств веществ и материалов по метрологическому назначению исполняют роль однозначных мер. Они могут применяться в качестве рабочих эталонов (с присвоением разряда по государственной поверочной схеме). Это наиболее доступные и мобильные средства передачи единиц величин, применяемые в тысячах лабораторий разных стран.

СО, являющиеся объектами государственного метрологического контроля, подлежат утверждению типа и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений.

Классификация СО:

СО состава вещества (материала) – стандартный образец с установленными значениями величин, характеризующих физические, химические, биологические и другие свойства вещества, содержание определенных компонентов в веществе (химических элементов, их изотопов, соединений химических элементов, структурных составляющих и т. п.).

СО признака вещества (материала) – стандартный образец с установленным значением признака, характеризующим качественную характеристику, представляющую физическое, химическое или биологическое свойство СО.

ГСО – государственный стандартный образец, предназначенный для:

проведения государственных испытаний с целью утверждения

дения типа СО, поверки, калибровки, градуировки приборов (СИ), аттестации СИ и МВИ;

контроля точности результатов измерений при реализации стандартизованных методов и МВИ;

проведения научно-исследовательских работ;

внутрилабораторного и внешнего контроля качества измерений;

аттестации и аккредитации лабораторной службы;

аттестации СОП (по СТ РК 2.43).

Рисунок 4.3.1 Государственный стандартный образец плотности жидкости



Рисунок 4.3.2 Государственный стандартный образец влажности муки



Рисунок 4.3.3 Государственный стандартный образец влажности зерна и зернопродуктов



МСО - национальный стандартный образец государства — участника Соглашения, признанный Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации и применяемый в государствах — членах Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации, присоединившихся к его признанию, во всех сферах национальных экономик государств, включая сферу законодательной метрологии.

МСО применяются во всех отраслях экономики стран СНГ, присоединившихся к признанию СО.

Приоритетными областями деятельности являются:

взаимные государственные поставки продукции (в том числе сырья, топлива и т.п.), особенно в случаях обязательной сертификации продукции;

межгосударственное сотрудничество в области охраны окружающей среды, здравоохранения и техники безопасности;

деятельность метрологических служб стран Содружества (поверочные, калибровочные работы, арбитражные анализы и т.д.).

ОСО – стандартный образец, признанный уполномоченным органом отрасли.

ОСО разрабатываются в организациях и предприятиях, от-

носящихся к соответствующей отрасли, ведомству или объединению юридических лиц, утвердивших ОСО, за исключением видов работ, на которые распространяется государственный метрологический контроль и надзор (ГОСТ 8.315-97).

Применение ОСО регламентируется стандартами, а также МВИ, относящимися к технологическим процессам контроля или испытаний, соответствующей продукции.

ОСО предназначены для применения вне сферы государственного метрологического контроля:

- для градуировки СИ;

- для аттестации стандартных образцов предприятия (СОП);

- для контроля точности результатов измерений, регламентированных отраслевой НД;

- для контроля точности, правильности результатов измерений при разработке и аттестации МВИ.

СОП - стандартный образец, признанный руководством предприятия, организации для его последующего применения на этом предприятии, в организации.

СОП применяются (вне сферы государственного метрологического контроля) непосредственно на предприятиях для:

- калибровки и градуировки СИ, используемых в системах технологического контроля, результатов измерений, выполняемых в соответствии с требованиями НД предприятия, технологических инструкций, МВИ и др.;

- внутрилабораторного контроля качества результатов измерений;

- метрологической аттестации МВИ предприятий.

ЗСО - зарубежный стандартный образец, не являющийся отдельной категорией, но допускаются к применению в качестве государственных СО по решению уполномоченного органа по метрологии на основании положительных результатов метрологической экспертизы технической документации на эти СО, проводимой в порядке, установленном ГОСТ 8.315 и СТ РК 2.79, и распространяется на СО применяемые в сфере государственного метрологического контроля.

Применению в сфере государственного метрологическо-

го контроля подлежат СО только утвержденных типов и допущенные к применению.

В сфере государственного метрологического контроля на территории РК можно применять также стандартные образцы категории МСО и СО КООМЕТ.

МСО, ОСО, СОП, ЗСО допускаются к применению на территории РК наравне с национальными СО.

СО КООМЕТ (CRM COOMET) – сертифицированный стандартный образец, признанный в рамках Евро-Азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (КООМЕТ).

Сертифицированная характеристика [параметр] стандартного образца: Величина или зависимость двух или нескольких величин, характеризующие состав или свойства (признак) вещества (материала) СО, значение которых подлежит установлению для сертифицированного стандартного образца.

Экземпляр СО – стандартный образец в индивидуальной упаковке с этикеткой или маркировкой, поставляемый потребителю вместе с сопроводительными документами.

Комплект СО – совокупность экземпляров стандартных образцов, поставляемых и применяемых совместно, имеющих разные значения свойства (одной и той же величины), упорядоченные в пределах определенного диапазона значений, поставляемых потребителю с сопроводительным документом СО.

Набор СО – совокупность нескольких экземпляров СО разных типов, скомплектованных с учетом удобства их применения для выполнения конкретных метрологических работ и поставляемых потребителям в одном или нескольких вариантах комплектации.

Государственный реестр утвержденных типов СО – совокупный учетный документ для регистрации государственных (национальных) стандартных образцов, типы которых утверждены в установленном порядке национальным органом по метрологии.

ГССО – система органов исполнительной власти, органи-

заций, их объединений государства — члена МГС, осуществляющих организационную, научную, методическую и практическую деятельность по обеспечению, удовлетворению потребности государства в стандартных образцах состава и свойств веществ и материалов в целях обеспечения единства измерений.

Погрешность от нестабильности СО – погрешность, обусловленная изменением аттестованного значения СО в течение срока годности экземпляра СО.

Погрешность, обусловленная технологией приготовления СО – погрешность, включающая инструментальные и методические составляющие погрешности процедуры приготовления СО.

Погрешность характеристики исходного материала – погрешность значения, характеризующего содержание аттестуемого компонента в исходном материале.

Стандартные образцы, применяемые на территории РК в качестве образцов для контроля точности результатов измерений, должны быть:

- утверждённого типа или допущенные к применению на территории РК (должны быть внесены в реестр ГСИ РК, МСО или СО КООМЕТ);
- иметь действующий паспорт (или сертификат анализа) СО;
- иметь инструкцию по применению (если предусмотрена разработчиком СО).

Основные требования к СО для контроля качества результатов измерений:

1. Адекватность по составу исследуемых проб;
2. Аттестованное значение СО должно находиться в рабочем диапазоне методики и соответствовать поддиапазону исследуемых проб;
3. Погрешность аттестованного значения СО должна быть не более $1/3$ погрешности МВИ;

Сведения о регистрации СО утвержденных типов в реестре ГСИ РК можно посмотреть на сайте www.ksm.kz.

Глава 5

Разделы метрологии

Метрологию разделяют на три основных раздела: «Теоретическая метрология», «Законодательная метрология» и «Прикладная (практическая) метрология». Важнейшей задачей метрологии является обеспечение единства измерений.

Теоретическая метрология занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения.

Законодательная метрология включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений и имеют обязательную силу.

Прикладная метрология занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии.

5.1 Теоретическая метрология

Теоретическая метрология решает общие научные проблемы измерений. Из теоретической метрологии известно, что, если за результат измерения взять среднее арифметическое из n измерений, точность повышается в n раз.

Понятия единства и точности измерений являются определяющими для теоретической метрологии и метрологической практики.

Совершенствование СИ и измерительных процессов невозможно без хорошей теории, объясняющей закономерности, свойственные измерениям. Теория измерений, или иначе теоретическая метрология, как и всякая теория, строится на основе исходных понятий и моделей элементов измерительного процесса.

Таким образом, метрология является научной основой обеспечения единства и требуемой точности измерений, причем функции законодательной и прикладной метрологии

подчинены закономерностям, установленным теоретической метрологией. В свою очередь, положения теоретической метрологии находят свою практическую проверку и апробацию при реализации функций законодательной и прикладной метрологии.

5.2 Законодательная метрология

Метрологическая деятельность весьма разнопланова и своеобразна. Ее теоретической основой является наука метрология, собственно процесс деятельности определяется понятием метрологическое обеспечение, а регулирование взаимоотношений в этой деятельности возлагается на государственную функцию – обеспечение единства измерений.

Метрологическая деятельность возникла и развивалась как деятельность прикладного характера, поэтому в значительной своей части она естественно участвует в общих рыночных отношениях, однако ее результаты должны отвечать особым требованиям «единства измерений»; в силу этого метрологическая деятельность является предметом правового регулирования, объектом воздействия права.

Законодательная метрология – часть метрологии, относящаяся к деятельности, совершаемой уполномоченным органом и содержащая государственные требования, касающиеся единиц, методов измерения, СИ и измерительных лабораторий, для обеспечения единства измерений.

Иными словами, законодательная метрология устанавливает государственные требования к допускаемым к применению в стране единицам измерений, методам измерений, средствам измерений и лабораториям.

Стоит отметить, что законодательная метрология является нормативно-правовой основой метрологической деятельности и охватывает все ее стороны: от международного уровня до уровня руководства отдельными предприятиями и их подразделениями.

На сегодня в Казахстане метрологическая деятельность регулируется Законом Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» от 7 июня 2000 года № 53-ІІ (далее

– Закон ГСИ РК) и нормативными правовыми актами в области обеспечения единства измерений.

Также в республике широко применяются документы Международной организации законодательной метрологии.

Закон ГСИ РК регулирует общественные отношения, возникающие между государственными органами, физическими и юридическими лицами в области обеспечения единства измерений, определяет ее цели, правовые и организационные основы обеспечения единства измерений.

Основными целями обеспечения единства измерений являются:

- 1) защита интересов физических и юридических лиц Республики Казахстан от недостоверных результатов измерений;
- 2) получение достоверных результатов измерений при фундаментальных исследованиях и научных разработках;
- 3) интеграция в международную систему обеспечения единства измерений.

5.3 Прикладная метрология

Теоретическая и законодательная метрологии выполняют функции теоретического обоснования процессов измерений, их погрешностей, методологий измерений, обеспечения единства измерений физических величин, их нормирования как в международном опыте, так и в Республике Казахстан.

Законодательная метрология обеспечивает нормативно-правовую базу применения методов и СИ, стандартизацию и сертификацию процессов метрологических оценок качества продукции и процессов независимо от отраслевого использования.

Но практическое применение составляющих теоретической и законодательной метрологии находится в сфере ведения прикладной метрологии, в функции которой входит методология применения теории измерений в процедурах контроля продукции и процессов, в технологиях идентификации моделей и систем, а также при диагностировании объектов и при проведении калибровки и поверке измерительных средств.

Прикладная или практическая метрология занимается вопросами метрологического обеспечения, использования на практике разработок теоретической метрологии, внедрения положений законодательной метрологии.

Высшая цель прикладной метрологии – метрологическое обеспечение жизни и деятельности людей: установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Одной из сложнейших задач прикладной метрологии является система передачи единиц измерения от эталонов до конкретных измерительных приборов.

Глава 6

Развитие метрологии в мире

Фундамент международного сотрудничества в области метрологии был заложен 125 лет назад, когда 17 стран мира подписали Метрическую Конвенцию. Создание единой международной системы единиц измерений в 19 веке должно было решить проблему развития международной торговли товарами мануфактурного и промышленного производства. Сегодня потребность в объединении по вопросам метрологии и тесном взаимном сотрудничестве между странами мира еще более возросла. Главная тенденция международного сотрудничества на сегодняшний день – создание глобальной метрологической системы. Система, которая обеспечивала бы надежность измерений по всему миру.

Основные характеристики глобальной метрологической системы:

- единство измерений в международной системе единиц СИ;
- верность в рамках допустимой неопределенности измерений;
- соблюдение международно-признанных и действующих систем качества;
- соблюдение прозрачных процедур проверки компетентности, подтверждаемых документально.

Необходимость глобальной системы измерений связана со следующими факторами современного мирового развития:

- либерализация рынков;
- возникновение новых торговых зон;
- разделение труда.

Рассмотрим подробнее эти факторы.

Либерализация рынков

Система международной торговли функционирует на основе правил Всемирной торговой организации (ВТО), в которую входят более 160 стран, а 7 государств ведут перегово-

ры о вступлении. Эта многосторонняя торговая организация действует на базе международных правил, которым должны следовать страны-члены ВТО в своих торговых отношениях. Эти правила содействуют проведению открытой и либеральной политики в области торговли. Они охватывают товары, услуги и права на интеллектуальную собственность. Кроме того, они распространяются и на новые сферы жизни по мере того, как они приобретают важное значение и требуют регулирования.

Каждое государство, входящее в ВТО, берет на себя обязательства в отношении доступа к рынку товаров и услуг. Существуют правила рассмотрения спорных вопросов и комиссии по наблюдению, и ВТО осуществляет надзор за выполнением многосторонних соглашений.

Достижения ВТО можно суммировать следующим образом:

- около 90 % мировой торговли регулируется соглашениями ВТО;
- практически все товары и услуги более чем в 160 странах-членах ВТО попадают под действие одного или нескольких соглашений ВТО;
- на протяжении многих лет значительно снизились таможенные тарифы (в развитых странах с 40 до 4%).

Практически 80% торговли приходится на товары, подпадающие под требования технических регламентов и/или стандартов, и на эту продукцию, как правило, в национальной системе той или иной страны требуется представить результаты оценки соответствия (сертификации, испытаний, инспекции и др.).

При создании условий для свободной международной торговли на втором месте после решения вопроса снижения таможенных пошлин встает вопрос устранения технических препятствий, которыми зачастую являются стандарты и технические регламенты, действующие в той или иной стране на национальном уровне. Существует большое количество примеров национальных стандартов и регулирования продукции, которые использовались в качестве протекционистской

защиты национального рынка или же предоставления преимуществ местным производителям.

Чтобы снизить технические барьеры в торговле при соблюдении технических регламентов и стандартов, ВТО приняла Соглашение по техническим барьерам в торговле (ТБТ). Это соглашение содержит правила, которые гарантируют, что технические регламенты, стандарты и процедуры оценок соответствия не будут представлять ненужных препятствий в торговле. Документ ВТО «Технические барьеры в торговле» охватывает все процедуры оценки соответствия, включая аккредитацию. Он требует, чтобы национальные технические регламенты были:

- прозрачными;
- обоснованными;
- недискриминационными;
- основанными (по возможности) на международных стандартах.

Соглашение предлагает всем его участникам возможность гарантировать, что органы сертификации в их странах признают «Кодекс добросовестной практики применительно к подготовке, утверждению и применению стандартов», содержащийся в приложении 3 к Соглашению. Таким образом, Соглашение по ТБТ содействует подписанию договоренностей о взаимном признании оценок соответствия участниками соглашения, а также развитию международной системы оценок соответствия.

Такие соглашения или договоренности о взаимном признании нацелены на избежание повторных испытаний и оценок, которые требуют дополнительных затрат денег и времени, но, тем не менее, на сегодняшний день представляют из себя повседневную практику. Причиной этому является недостаточное доверие к испытаниям и оценкам, проводимым в другой стране неизвестной организацией или учреждением. Иногда торговая политика той или иной страны требует проведение таких испытаний на территории данной страны.

Такая ситуация противоречит ожиданиям производителей, которые хотят иметь сертификат соответствия, позво-

ляющий товарам или услугам проложить себе путь на любые рынки, и которые преследуют лозунг: один продукт, одно испытание – признание везде.

Этот лозунг можно представить также как: универсальное испытание.

Однако доверие к компетентности учреждений, подтверждающих результаты испытаний и выдающих сертификаты, должно быть создано заранее. Лишь после этого участники могут ожидать взаимного признания сертификатов. Здесь необходимы гармонизация испытаний и процедур оценки, использование приборов для измерений и испытаний на базе единства измерений, проведение умелых испытательных процедур и применение систем управления качеством. С тех пор, как большинство результатов испытаний базируется на измерениях, вполне очевидным стало, что правильные и достоверные измерения являются решающим фактором в деле создания взаимного доверия и признания сертификатов.

Возникновение новых торговых зон

Развитие системы мировой торговли с помощью ВТО не остановило тенденций к сотрудничеству в отдельных регионах с целью создания региональных рынков или зон свободной торговли. Существует множество причин для региональной кооперации. Большие рынки позволяют увеличить производство, сокращая при этом себестоимость продукции и повышая тем самым конкурентоспособность.

Гармонизация и снижение таможенных пошлин облегчают торговлю в регионе. Но внутри региональной торговле, чтобы достигнуть высокой эффективности, тоже требуется поддержка эффективной инфраструктуры качества в виде метрологии, стандартизации и оценки соответствия.

Разделение труда

В мировой экономике продолжают наблюдаться тенденции глобализации, связанные с:

технологическими изменениями в области транспорта и

коммуникаций, а также снижающимися ценами на услуги в этих секторах экономики;

ростом иностранных прямых инвестиций и появлением новых форм внутрифирменной кооперации, в результате чего производители находят замену существующему труду, перенося производство в регионы с более низким уровнем зарплаты.

Эти факторы развития влекут за собой:

конкуренцию в мировом масштабе;

дешевый импорт неизвестного качества;

отсутствие доверия к продукции неизвестного производителя.

Для обеспечения определенного качества и безопасности общества, защиты окружающей среды часто требуется провести работу по сертифицированным системам качества еще до заключения торгового контракта, многие страны требуют документального подтверждения соответствия продукции своим стандартам или же прохождения испытаний в соответствии с их техническими регламентами.

Итак, оценки соответствия и сертификаты должны быть выполнены в соответствии с соглашением ВТО по техническим барьерам в торговле и базироваться на правильных и достоверных испытаниях и измерениях.

Современная метрология создана в результате создания в 19 веке Международной системы измерений: в 1875 году на международной дипломатической конференции в Париже полномочными представителями правительств 17 стран был подписан дипломатический договор - «Метрическая конвенция», заложившая основу обеспечению единства измерений во всем мире на основе применения единой метрической системы мер, создания международной системы единиц измерения и эталонов единиц величин. Необходимость эта возникла в связи с развитием промышленного производства и международной торговли.

Созданная в 19 веке международная система измерений лежит в основе обеспечения единства измерений почти всех государств мира.

Доверие к результатам измерений по всему миру обеспечивается через доказательство эквивалентности национальных эталонов единиц величин с международными, путем постоянного взаимодействия и совместной работы национальных институтов метрологии, региональных метрологических организаций и международных организаций по метрологии.

Практически у каждого государства есть один или несколько национальных метрологических институтов (НМИ), которые ответственны за создание, совершенствование и хранение национальных эталонов единиц величин, обеспечивающих воспроизведение единиц величин с наивысшей в стране точностью. Например, в Германии это Федеральный физико-технический институт (PTB), в США – Национальный институт науки и технологии (NIST), в Корее – Корейский научно-исследовательский институт эталонов и науки (KRISS), в Японии – Национальный метрологический институт (NMIJ/AIST), в России – более 10-ти метрологических институтов, имеющих статус государственных предприятий: Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ФГУП ВНИИМС), Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ФГУП «ВНИИОФИ»), Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ФГУП «ВНИИМ») и др.

В Казахстане НМИ РК является ГНМЦ.

Национальные метрологические институты играют важную роль в системе обеспечения единства измерений любого государства, обеспечивая, во-первых, прослеживаемость национальных эталонов до международной системы SI и их эквивалентность международным эталонам единиц величин, во-вторых, передачу размера единицы величины эталонам и средствам измерений, применяемым во всех отраслях экономики государства. Помимо этой задачи, НМИ любой страны, как правило, осуществляет научно-исследовательскую деятельность в областях измерений, подготовку и повышение квалификации кадров, разработку нормативных и методических документов по вопросам обеспечения единства

измерений, предоставление услуг в области метрологии и оценки соответствия продукции, консультирование и методическое сопровождение отраслей экономики по вопросам метрологического обеспечения производства и др.

Передача размера единицы величины осуществляется посредством сличений эталонов, поверки и калибровки эталонов и СИ. Средним звеном в цепочке передачи размеров единиц величин являются поверочные и калибровочные лаборатории, которые осуществляют поверку и калибровку эталонов и СИ, применяемых непосредственно производственными предприятиями и организациями любых сфер деятельности в стране. Техническая компетентность данных лабораторий обеспечивается, как правило, через аккредитацию на соответствие международному стандарту ISO/IEC 17024.

Если говорить о современных тенденциях и наиболее актуальных областях развития метрологии на сегодняшний день, можно отметить следующие ключевые направления в стратегических планах развития международных, региональных организаций и национальных метрологических институтов мира на ближайшую перспективу:

Развитие измерений для «Зеленой» экономики (для таких направлений как биоразнообразие и изменения климата, циркулярная экономика, энергосбережение);

Совершенствование измерений для здравоохранения;

Цифровизация метрологических систем и услуг;

Развитие фундаментальной метрологии (Технологические решения по реализации новых SI, квантовые технологии);

Региональная интеграция (Европейские метрологические сети (EMN));

Совершенствование законодательства в области обеспечения единства измерений (повышение осведомленности регулирующих органов о важности вопросов метрологии, рост их вовлеченности);

Наращивание потенциала (обучение и повышение квалификации специалистов, программы повышения технической компетентности и др.).

6.1 Международные и региональные организации по метрологии

В настоящее время три международные организации и шесть региональных организаций являются основными центрами многостороннего сотрудничества в области метрологии на международном и региональном уровнях. Каждая организация несет ответственность за гармонизацию в международном плане по одному или более аспектам метрологии, а также в разрезе регионов.

Международные организации по метрологии

1 Международная Организация Законодательной Метрологии (OIML)

OIML была создана в Париже 12 октября 1955 года, когда 24 страны подписали учредительный документ – Конвенцию OIML. На сегодняшний день в составе OIML насчитывается 62 страны – полноправных членов и 63 страны – члены-корреспонденты.

Основные задачи и направления деятельности, структура

Основная цель деятельности OIML – международное сотрудничество в разрешении технических и административных проблем, возникающих в связи с применением СИ и осуществлением государственного контроля в области обеспечения единства измерений.

Основные задачи:

- определение общих принципов законодательной метрологии;

- изучение международно-значимых вопросов законодательной метрологии с целью их унификации;

- определение необходимых характеристик и требований к средствам измерений для признания государствами-членами и применения в международной практике;

- разработка типовых законов и правил, связанных с применением и контролем СИ;

- перевод и издание нормативных документов о средствах измерений и их применении, действующих в различных государствах, с разъяснениями, необходимыми для их полного понимания.

В структуру OIML входят:

- Международная Конференция Законодательной Метрологии – высший орган OIML, состоящий из представителей всех стран – полноправных членов OIML. Конференция собирается раз в четыре года.

- Международный Комитет по Законодательной Метрологии (CIML) – руководящий орган OIML, в состав которого входят представители всех стран-членов OIML, назначаемые правительством их стран, – как правило, это первые руководители национальных уполномоченных органов по метрологии. Заседания CIML проходят один раз в год.

Основные задачи:

- руководство работой Международного бюро законодательной метрологии (BIML);

- исполнение решений Конференции;

- рассмотрение проектов документов, разработанных в рамках OIML и представление их на утверждение Конференции;

- организация проведения компетентными службами государств-членов научных, экспериментальных исследований, лабораторных работ в области измерений (после предварительного согласования с ними);

- подготовка отчетов о проделанной работе и предложений по планированию деятельности организации для Конференции;

- Международное Бюро Законодательной Метрологии (BIML) – рабочий орган OIML, (г. Париж, Франция):

- осуществляет ведение фонда документации и информации в соответствии с задачами OIML;

- организовывает съезды Конференции и заседаний CIML;

- подготавливает отчеты о работе BIML перед CIML и Конференцией;

- выполняет работы и исследования, определенные в задачах OIML;

- координирует деятельность национальных метрологических институтов (НМИ) стран-членов в рамках сотрудничества в OIML;

издает и распространяет документы и публикации OIML.

Консультативная группа по вопросам стран с развивающимися метрологическими системами (CEEMS AG).

С 2013 года в рамках OIML функционирует Консультативная группа по вопросам, касающимся стран и экономик с развивающимися метрологическими системами.

Цель деятельности CEEMS AG:

вовлечь страны CEEMS к активному участию в деятельности OIML;

разрабатывать политики и планы работ OIML в поддержку стран CEEMS;

руководство деятельностью OIML для стран CEEMS.

Для содействия наращиванию потенциала CEEMS были организованы различные учебные курсы и семинары, ориентированные на потребности стран CEEMS. Работа CEEMS AG является одним из ключевых направлений стратегии OIML.

Технические комитеты и подкомитеты (TC/SC OIML), осуществляющие разработку международных документов по вопросам применения, контроля СИ и законодательной метрологии, в рамках проектов, утвержденных Конференцией для каждого отдельного TC/SC.

В настоящее время насчитывается 18 TC OIML, в состав которых входят 58 подкомитетов.

Технические комитеты OIML:

ТК 1 «Терминология»;

ТК 2 «Единицы измерений»;

ТК 3 «Метрологический контроль»;

ТК 4 «Эталоны единиц величин и устройства для калибровки и поверки»;

ТК 5 «Электронные инструменты и программное обеспечение»;

ТК 6 «Фасованные продукты»;

ТК 7 «Средства измерений длины и связанных с ней величин»;

ТК 8 «Измерение количества жидкости»;

ТК 9 «Средства измерений массы и плотности»;

ТК 10 «Средства измерений давления, силы и связанных с ними величин»;

ТК 11 «Средства измерений температуры и связанных с ней величин»;

ТК 12 «Средства измерений электрических величин»;

ТК 13 «Средства измерений акустики и вибрации»;

ТК 14 «Средства измерений, используемые в оптике»;

ТК 15 «Средства измерений ионизирующих излучений»;

ТК 16 «Средства измерений загрязнений»;

ТК 17 «Средства измерений физико-химических величин»;

ТК 18 «Медицинские средства измерений».

Основные категории нормативных документов OIML в области обеспечения единства измерений – это Рекомендации и Документы.

Международные рекомендации (104) – типовые правила, устанавливающие метрологические характеристики определенных СИ и определяющие методы и оборудование для проверки их соответствия). Эти рекомендации служат основой для гармонизации национальных требований к СИ с международными. Международные рекомендации составляют нормативную базу системы сертификации OIML.

Международные документы (31) – информационные документы, направленные на улучшение работы национальных метрологических служб государств-членов.

Первым МД OIML был «Закон о метрологии», в котором содержатся основные положения для создания национальных законов об обеспечении единства измерений.

В рамках OIML существует система сертификации OIML, созданная в 1991 году, с целью утверждения типа СИ и подтверждения его соответствия требованиям определенной международной рекомендации (MP) OIML.

Сертификаты выдаются уполномоченными органами стран-членов OIML и признаются национальными метрологическими службами других стран-членов OIML на добровольной основе путем заключения двусторонних соглашений.

В целях совершенствования сертификационной системы OIML в 2003 году был разработан проект документа В 10-1 OIML «Соглашение о взаимном признании результатов оценки типа СИ» (МАА - OIML). Основные задачи МАА:

– укрепление взаимного доверия стран-участниц к результатам испытаний СИ путем обеспечения прозрачных и надежных процедур оценки компетентности;

– создание более прочной базы для взаимного признания сертификатов оценки типа СИ OIML.

Соглашение МАА OIML реализуется в виде подписания Деклараций о взаимном доверии (ДовД) к результатам оценки отдельно для каждой категории СИ. Участники ДовД могут быть двух видов: 1) те, кто осуществляет испытания, выдает протоколы испытаний и сертификаты OIML по подтверждению соответствия, а также признает и применяет у себя протоколы испытаний, выданные другими участниками; 2) те, кто не осуществляет испытаний, но признает и применяет у себя протоколы испытаний, выданные другими участниками.

Для выполнения работ по (1) национальный орган по оценке соответствия должен пройти аккредитацию в международно-признанном органе по аккредитации, испытательные лаборатории должны аккредитоваться на соответствие требованиям ИСО/МЭК 17025.

Участие Республики Казахстан в OIML

Республика Казахстан является полноправным членом OIML с 1994 года (Постановление Кабинета Министров от 19 апреля 1994 года «О вступлении в международную организацию по законодательной метрологии»). Членом Комитета OIML от Республики Казахстан является руководитель уполномоченного органа по техническому регулированию и метрологии.

Членство в OIML позволяет:

участвовать в заседаниях Международной конференции законодательной метрологии и CIML, с правом голоса при принятии решений;

рассматривать проекты международных рекомендаций, документов и других видов публикаций OIML, представлять свои замечания и предложения, голосовать по принятию, внесению изменений или отмене МР и МД OIML;

использовать международные публикации OIML в качест-

ве основы для гармонизации национальных нормативных документов по метрологии с международными требованиями;

участвовать в семинарах, проектах и исследованиях, проводимых в рамках этой организации.

Международная организация мер и весов (BIPM, CIPM)

Международная организация мер и весов была создана 20 мая 1875 года, в Париже, с подписанием «Метрической конвенции» полномочными представителями правительств 17 государств. В настоящее время в составе CIPM – полных членом – 63 страны, ассоциированных членом – 38 стран.

Основные задачи:

создание и поддержание единой международной системы единиц величин, их определений и методов воспроизведения;

создание и совершенствование международных эталонов единиц величин;

научные исследования в областях измерений, создание новых высокоточных международных эталонов;

установление степени эквивалентности национальных эталонов, хранимых национальными метрологическими институтами.

Структура Международной организации мер и весов:

Генеральная Конференция Мер и Весов (CGPM) – высший орган МОМВ, общее собрание всех его членом, которое происходит один раз в четыре года.

Международный Комитет Мер и Весов (CIPM) – руководящий орган BIPM:

руководит деятельностью Международного Бюро мер и весов;

несет ответственность за исполнение решений CGPM и реализацию программ научной и практической деятельности организации;

осуществляет контроль за хранением международных эталонов;

координирует международные работы в области метрологии и согласовывает результаты этих работ;

отчитывается о работе и представляет предложения по программам развития на CGPM.

Заседания CIPM проходят раз в год, в состав CIPM входят 18 представителей стран-членов, избираемых на Генеральной Конференции.

Международное бюро мер и весов (BIPM) – рабочий орган CIPM, международный центр метрологии, научно-исследовательские лаборатории и помещения, расположенные в Севре, западном предместье Парижа, со штатом около 70 человек, ученых и специалистов из разных стран.

Основные задачи BIPM:

осуществляет хранение и сопровождение международных эталонов (прототипы метра и килограмма, единицы ионизирующих излучений, электрического сопротивления и др.);

проводит международные ключевые сличения национальных эталонов с международными;

осуществляет поверку и калибровку эталонов и эталонного оборудования для стран-членов;

осуществляет прикладные научные исследования по совершенствованию характеристик международных эталонов, созданию новых эталонов, научные исследования в различных областях измерений.

Консультативные Комитеты – совещательный орган CIPM:

изучают последние достижения физики, которые оказывают прямое влияние на метрологию, осуществляют научно-исследовательские работы в определенных областях измерений;

подготавливают материалы и Рекомендации для обсуждения на Генеральной Конференции и заседаниях CIPM;

подготавливают программы и планы международных ключевых сличений по областям измерений и отвечают за их реализацию;

подготавливают предложения в CIPM по планам научно-технических работ в лабораториях BIPM.

Консультативные Комитеты CIPM:

1. CCAUUV: Акустика, ультразвук и вибрация;
2. CCEM: Электричество и магнетизм;
3. CCL: Длина;
4. CCM: Масса и связанные с ней величины;
5. CCPR: Фотометрия и радиометрия;
6. CCQM: Количество вещества - химические измерения;
7. CCRI: Ионизирующие излучения;
8. CCT: Термометрия;
9. CCTF: Время и частота;
10. CCU: Единицы величин.

Объединенные Комитеты BIPM осуществляют сотрудничество BIPM с другими международными и региональными организациями по метрологии с целью решения совместных задач.

Объединенные Комитеты (ОК):

1. JCGM – ОК по разработке Руководств по метрологии;
2. JCRB – ОК региональных организаций по метрологии и BIPM;
3. JCTLM – ОК по прослеживаемости результатов измерений в медицинских лабораториях.

В рамках CIPM действует CIPM-MRA, подписанное 14 октября 1999 г. На сегодняшний день к нему присоединились 252 организации, из них 98 – национальные метрологические институты, 4 международные организации, 150 институтов, уполномоченных правительством своих государств.

Основные цели соглашения:

установление степени эквивалентности национальных эталонов;

взаимное признание сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (НМИ);

обеспечение правительств и других административных органов надежной технической базой для более широких договоренностей, касающихся международной торговли, науч-

но-технического сотрудничества и разработки нормативной документации.

В соответствии с этим, в рамках CIPM-MRA осуществляют-ся следующие виды работ:

- международные сличения национальных эталонов, широко известные как ключевые сличения;

- дополнительные сличения результатов измерений;

- наличие системы качества, ее признание и/или другие виды работ, обеспечивающие признание компетентности НМИ.

Функционирование системы управления качеством может быть продемонстрировано путем сертификации в соответствии с международными стандартами ИСО 9000, аккредитации на соответствие требованиям ИСО/МЭК 17025 или презентацией в рамках региональной организации.

Результаты работ, осуществляемых в CIPM-MRA, предварительно проходят экспертизу в региональной метрологической организации (РМО), далее направляются в BIPM и после одобрения публикуются в сети Интернет, в виде базы данных по измерительным возможностям каждого НМИ.

Особую роль в реализации этого соглашения играют РМО. Они выполняют следующие функции:

- формирование перечня измерительных и калибровочных возможностей НМИ (СМС-данных);

- экспертиза систем менеджмента качества;

- организация и проведение региональных ключевых и дополнительных сличений для поддержки публикуемых калибровочных и измерительных возможностей НМИ, сотрудничающих в рамках РМО.

Для участия любого НМИ в CIPM-MRA требуется выполнение следующих условий:

- а) наличие результатов ряда ключевых сличений, проводимых по четко установленным методикам, которые ведут к количественному выражению степени эквивалентности национальных измерительных эталонов;

- б) функционирование системы качества;

- в) успешное участие в соответствующих дополнительных сличениях.

Программа ВІРМ по наращиванию потенциала и передаче знаний (СВКТ)

Программа ВІРМ по наращиванию потенциала и передаче знаний направлена на повышение эффективности участия государств-членов и ассоциированных организаций во всемирной скоординированной метрологической системе.

Основные цели программы:

сбалансировать рабочую нагрузку между странами-членами при управлении международной системой измерений; помочь новым членам эффективно взаимодействовать в рамках международной системы измерений;

поддерживать программу выездных командировок ВІРМ и способствовать обмену опытом и знаниями между участниками.

Программа СВКТ является гибкой и может легко поддерживать различные проекты сотрудничества, относящиеся к метрологии, при условии, что они совпадают с целями Программы.

Тематические проекты СВКТ реализуются через привлечение внешней спонсорской помощи.

Темы проектов определяются, исходя из потребностей, по согласованию с организацией-спонсором и ВІРМ.

На сегодняшний день определены следующие наиболее приоритетные темы:

Метрология для чистого воздуха;

Метрология для обеспечения безопасности пищевых продуктов и кормов;

Метрология для точного ухода за пациентами;

Реализация и распространение единицы килограмма;

Использование квантовых электрических эталонов для реализации электрических измерений.

Способы передачи знаний в рамках Программы:

Проведение семинаров;

Проведение краткосрочных мастер-классов, семинаров, учебных курсов, организованных в ВІРМ или RMO, посвященных основным тематическим инициативам СВКТ и/или другим актуальным темам.

Семинары, как правило, включают лекции, групповые рабочие сессии, тематические исследования и посещение лабораторий.

Учебные материалы публикуются (в общем или ограниченном доступе) на веб-странице СВКТ веб-сайта ВІРМ в качестве долгосрочного ресурса для участников Программы СВКТ, а также всего метрологического сообщества. Все публикации и материалы защищены авторским правом, положения которого изложены в документе «Авторское право на Программу СВКТ и политика конфиденциальности».

Практическая работа в лабораториях

Практика в лабораториях — это долгосрочные проекты в рамках программы по наращиванию потенциала, путем участия в научной или административной работе в ВІРМ или спонсирующей/поддерживающей организации.

Практика в лабораториях ВІРМ возможна для ученых из НМИ в практикуемых в ВІРМ областях научно-технической деятельности. Практика позволит усилить техническую компетентность специалистов НМИ, которые будут далее передавать полученные знания ученым, задействованным в формировании национальной системы метрологии, а также предоставлять услуги для решения региональных потребностей.

Совместные практики, организуемые ВІРМ и организацией-спонсором, предоставляют возможности молодым метрологам в проведении исследований или получения навыков по определенной тематике в лабораториях принимающего НМИ/НИ. Длительность стажировки составляет от 1 до 3 месяцев.

Программа содержит множество других проектов, включая функционирование онлайн-платформы для обучения, специальное издание по передаче знаний через метрологию, онлайн-наставничество и др.

Участие Республики Казахстан в CGPM

Казахстан 14 сентября 2005 года был принят в качестве ассоциированного члена CGPM, 31 декабря 2008 года Республика Казахстан была принята полноправным членом ВІРМ.

В рамках CIPM-MRA в целях обеспечения прослеживаемости измерений до международных эталонов и получения признания результатов измерений, производимых в Казахстане, зарубежными государствами и деловыми партнерами, НМИ РК осуществляется участие в международных сличениях эталонов.

Информацию об участии НМИ РК в международных сличениях и опубликованных калибровочных и измерительных возможностях (СМС-данных) Казахстана в базе данных Международного бюро мер и весов KCDB BIPM можно увидеть на web-сайте Международного бюро мер и весов (<https://www.bipm.org/kcdb/>).

Казахстан первым из стран среднеазиатского региона обеспечил признание измерительных возможностей на международном уровне, что создает предпосылки для доверия к деятельности испытательных и измерительных лабораторий, органов по подтверждению соответствия, а также органа по аккредитации республики.

Прослеживаемость измерений страны до международных эталонов является необходимым условием признания результатов работ аккредитованных испытательных лабораторий и органов по подтверждению соответствия продукции. Соответственно участие национального метрологического института в международных (региональных) сличениях и обеспечение прослеживаемости измерений к международным эталонам является одним из критериев допуска соответствующей страны к подписанию Соглашения о взаимном признании деятельности органов по аккредитации органов по подтверждению соответствия и испытательных лабораторий (ILAC MRA и IAF MRA).

Международная конфедерация измерений (ИМЕКО)

ИМЕКО – неправительственная федерация, в состав которой на сегодня входят 42 организации, каждая из которых занимается развитием измерительных технологий.

Основная цель:

содействие международному обмену научно-техничес-

кой информацией в области измерений и приборостроения;
укрепление международного сотрудничества между учеными и инженерами из научных и промышленных кругов;
организация Всемирных конгрессов ИМЕКО и создание постоянно действующих научно-технических Комитетов для решения задач в рамках деятельности организации.

ИМЕКО была основана в 1958 году, имеет консультативный статус при ЮНЕСКО и ЮНИДО и является одной из пяти родственных федераций в рамках FIACC (Координационного комитета пяти международных ассоциаций).

Структура ИМЕКО:

Генеральный совет (ГС) – высший руководящий орган. Он состоит из одного или двух делегатов от каждой организации-члена, которые собираются на ежегодных сессиях ГС.

Секретариат – административный и исполнительный орган, возглавляемый Генеральным секретарем. Секретариат ответственен за выполнение решений ГС, принятых на сессиях. Секретариат расположен в штаб-квартире ИМЕКО в г. Будапешт, Венгрия.

Консультативный совет (АС)

Консультативный совет – совещательный орган, деятельность которого возглавляет бывший президент ИМЕКО.

Основные задачи АС:

- а) формирование предложений по политике и стратегии ИМЕКО;
- б) анализ научной деятельности ИМЕКО;
- в) продвижение имиджа Конфедерации;
- г) издательская политика и связи с общественностью;
- д) развитие членства;
- е) выдвижение кандидатур на должности в структурные органы ИМЕКО;
- ж) консультирование Президента по вопросам Премии;
- з) консультации с Казначеем по финансовым планам ИМЕКО.

Технический совет (ТС) осуществляет надзор за технической деятельностью ИМЕКО, особенно технических комитетов и редколлегии журнала «Измерение».

В задачи Технического совета входит:

а) рассмотрение предложений по созданию ТК и/или формированию действующих ТК;

б) выработка предложений по формированию новых ТК;

в) поддержание активности деятельности ТК, разработка планов развития и обеспечение регулярных публикаций в журнале «Измерение»;

г) координация и возможное спонсорство деятельности ТС;

д) утверждение мероприятий и совместных мероприятий, организуемых ТК;

е) поддержка издания журнала «Измерение»;

ж) помощь в подготовке технических сессий и круглых столов на Всемирном конгрессе ИМЕКО.

Технические комитеты

Деятельность ИМЕКО в основном осуществляется через технические комитеты, которые регулярно организывают симпозиумы, конференции, мастер-классы, семинары по конкретным темам, публикуют материалы мероприятий, учебники, глоссарии, результаты исследований и т. д.

На сегодня в ИМЕКО функционируют 25 ТК.

Технический комитет (ТК) создается общим решением Генерального совета по рекомендации Технического Совета. Предложение о создании ТК может быть представлено в Технический Совет организацией-членом или сотрудником ИМЕКО, и должно содержать описание научно-технической цели, объема и программы работы. ТК может быть сформирован только в случае, если не менее трех организаций-членов заявят о готовности участия в его работе.

В состав членов ТК включаются специалисты, обладающие экспертной компетентностью в технической дисциплине ТК. Член ТК действует как физическое лицо, а не как представитель организации. Кандидаты в члены ТК могут быть предложены председателем действующего ТК, организациями-членами или должностными лицами ИМЕКО. ТС уведомляет соответствующую организацию-члена о предложенном кандидате. Соответствующая организация-член может одобрить

или иным образом прокомментировать кандидатуру. В состав ТК могут входить по 2-3 члена из одной страны. ТК могут создавать рабочие группы по конкретным темам своей дисциплины.

Всемирный конгресс ІМЕКО

Всемирный конгресс ІМЕКО – это собрание ученых и инженеров для презентации научных докладов и обмена опытом по вопросам, относящимся к деятельности ІМЕКО. Структура, тематика и продолжительность Конгресса определяются общим решением на сессии Генерального Совета.

Конгресс организуется не реже одного раза в три года, но не чаще чем один раз в год, предпочтительным является интервал в 3 года.

Каждой организации-члену рекомендуется проводить предварительный отбор докладов, представляемых на Конгресс, однако окончательное решение о включении в программу Конгресса принимается на пленарном заседании GC.

Казахстан в лице ГНМЦ был принят в качестве полноправного члена ІМЕКО 6 сентября 2007 года.

Участие в деятельности ІМЕКО позволяет:

участвовать в международном обмене научной и технической информацией, связанной с разработками в области измерительной техники, проектированием и производством приборов и применением приборов в научных исследованиях и в промышленности;

осуществлять публикации научных работ, материалов в журнале *Measurement*, в электронном издании АКТА ІМЕКО открытого доступа, индексируемых в SCOPUS при поддержке ІМЕКО.

Региональные метрологические организации (РМО)

Региональные организации по метрологии осуществляют: организацию работ по метрологии в своем регионе в целях обеспечения единства измерений;

тесное сотрудничество с BIPM, BIML для координации работы ГНМЦ на международном уровне;

реализацию CIPM-MRA.

На сегодня 6 РМО координируют сотрудничество по метрологии на региональном уровне:

APMP – Asia-Pacific Metrology Programme (Азиатско-Тихоокеанская метрологическая программа);

EURAMET – Европейское сотрудничество по эталонам (European Collaboration in Measurement Standards);

COOMET – Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений (Euro-Asian cooperation of national metrological institutions);

AFRIMETS – Африканская метрологическая система (Intra-Africa Metrology System);

SIM – Межамериканская метрологическая система (Inter-American Metrology System);

GULFMET – Ассоциация по метрологии Стран Персидского залива (GULF Association for Metrology).

Евро-Азиатское Сотрудничество Государственных Метрологических Учреждений (КОOMET)

КОOMET было создано в Варшаве в июне 1991 года, с подписанием «Меморандума о сотрудничестве». В состав КОOMET входят метрологические учреждения таких стран, как Азербайджан, Армения, Беларусь, Босния и Герцеговина (ассоциированный член), Болгария, Германия (ассоциированный член), Грузия, Казахстан, Кыргызстан, Куба, КНР (ассоциированный член), Литва, Молдова, Россия, Словакия, Таджикистан, Турция (ассоциированный член), Украина и Узбекистан.

Основные задачи и направления деятельности, структура

Сотрудничество в КОOMET осуществляется в областях: эталоны единиц величин, законодательная метрология, аккредитация и системы менеджмента качества, информация и обучение.

Основные Цели КОOMET:

содействие эффективному решению вопросов единообразия мер, единства измерений и требуемой точности их результатов;

содействие развитию сотрудничества национальных экономик и устранению технических барьеров в международной торговле;

сближение деятельности метрологических служб евроазиатских стран с деятельностью аналогичных служб регионов и, в частности, сотрудничество по мере взаимной заинтересованности с организациями EUROMET, EA, WELMEC, APMP и др.

Основные задачи KOOMET:

достижение взаимного соответствия эталонов, согласованности требований, предъявляемых к измерительным приборам и методам их метрологического контроля;

признание эквивалентности национальных сертификатов, удостоверяющих результаты метрологической деятельности;

обмен информацией о состоянии метрологических служб и направлениях их развития;

совместная разработка метрологических тем;

содействие во взаимном оказании метрологических услуг.

Высшим органом KOOMET является Комитет KOOMET, в состав которого входят руководители государственных метрологических учреждений-членов KOOMET. Заседания Комитета созываются не реже одного раза в год. Из числа своих членов Комитет избирает Президента KOOMET, который обеспечивает ведение Секретариата силами своего национального органа. Комитет по предложению Президента одобряет кандидатуры Вице-президентов из числа своих членов. Президент, Вице-президенты и руководитель Секретариата KOOMET образуют Совет Президента, который формирует политику KOOMET, взаимодействует с международными и региональными метрологическими организациями, координирует сотрудничество между заседаниями Комитета и подготавливает вопросы для решения на этих заседаниях.

Организацией работ по основным областям и направлениям сотрудничества занимаются структурные органы KOOMET (Объединенный комитет, Технические комитеты, Форум). В своих странах члены Комитета назначают

представителей в структурные органы КООМЕТ (Корреспондентов). Корреспонденты предлагают кандидатуру Председателя структурного органа, которого затем назначает Комитет КООМЕТ. Руководители структурных органов являются центральным звеном, организующим работу в тематических областях сотрудничества. Именно они определяют эффективность работы КООМЕТ (в части координации деятельности корреспондентов и координаторов тем) и взаимодействие с докладчиками других региональных метрологических организаций (РМО). Особенно ярко это проявляется в вопросах, связанных с реализацией CIPM-MRA. Структурные органы могут образовывать Подкомитеты для решения постоянных задач сотрудничества и Рабочие группы для выполнения конкретных текущих работ в рамках тем КООМЕТ.

Деятельность КООМЕТ осуществляется в соответствии с Программой развития и Рабочей программой КООМЕТ, формируемой из совместных проектов, выполняемых странами-участниками КООМЕТ.

К тематическим областям сотрудничества относятся: общая метрология, акустика, ультразвук, вибрация; электричество и магнетизм; расходометрия; ионизирующие излучения и радиоактивность; длина и угол; масса и связанные с ней величины; фотометрия и радиометрия; физико-химия; термометрия и теплофизика; время и частота; стандартные образцы; законодательная метрология; аккредитация и системы качества; информация и информационные технологии; обучение и повышение квалификации.

Всего за годы сотрудничества в рамках КООМЕТ было предложено 854 тем. В настоящее время работа ведется по 81 согласованному темам; в процессе согласования находится 53 тема; завершена реализация 464 проектов.

В настоящее время большинство действующих проектов КООМЕТ в той или иной степени связаны с реализацией CIPM-MRA, которое явилось важным этапом в деятельности КООМЕТ, знаменующим переход к участию в создании глобальной системы измерений.

Большинство выполняемых в рамках KOOMET проектов ориентировано на проведение сличений.

Для упорядочения процесса планирования сличений и калибровок, проводимых НМИ стран-участниц KOOMET, подтверждения заявляемых СМС-данных, оптимизации расходов на эти работы, подготовки сведений для обоснования финансирования таких работ для каждого НМИ и создания условий для анализа состояния национальных эталонов стран-партнеров в рамках KOOMET регулярно разрабатываются Программы сличений и калибровок эталонов стран-участниц KOOMET.

Наличие и функционирование в НМИ систем менеджмента качества является, наряду со сличениями, еще одним важным критерием доверия к СМС-данным. Поэтому направление сотрудничества KOOMET по созданию и презентации систем менеджмента качества активно развивается в рамках Форума качества KOOMET.

В рамках KOOMET активно развивается сотрудничество в области стандартных образцов (СО) состава и свойств веществ и материалов. За прошедшее время создано 117 типов СО KOOMET, которые страны-участницы KOOMET в соответствии с достигнутыми договоренностями могут беспрепятственно применять при экономическом и научно-техническом сотрудничестве, а также в своей экономике без дополнительных исследований. Создание таких СО ведется в соответствии с Программой совместной разработки СО в рамках KOOMET, которая ежегодно актуализируется и по содержанию, и по участникам, и по срокам выполнения.

Для большинства участников KOOMET весьма актуальным было и до настоящего времени остается сотрудничество в области законодательной метрологии, которое возглавляют специалисты Германии. Благодаря тому, что Германия, представляемая Физико-техническим институтом (PTB), является активным участником многих международных и региональных метрологических организаций – EUROMET, WELMEC, EA, – сотрудничество в этой области основывается на самой актуальной информации о современных принципах и подходах

в области законодательной метрологии, о международных и европейских нормах и правилах по метрологии.

Участие Республики Казахстан в КООМЕТ

Казахстан вступил в КООМЕТ в ноябре 1998 года. Членом Комитета КООМЕТ от Казахстана является руководитель ГНМЦ.

Работа в КООМЕТ проводится путем принятия участия в заседаниях Комитета КООМЕТ и технических комитетов. Представители ГНМЦ принимают участие в работе 12-ти ТК по следующим направлениям:

- ТК 1.1 «Общая метрология»;
- ТК 1.3 «Электричество и магнетизм»;
- ТК 1.4 «Расходомерия»;
- ТК 1.5 «Длина и угол»;
- ТК 1.6 «Масса и связанные с ней величины»;
- ТК 1.8 «Физико-химия»;
- ТК 1.10 «Термометрия и теплофизика»;
- ТК 1.11 «Время и частота»;
- ТК 1.12 «Стандартные образцы»;
- ТК 2 «Законодательная метрология»;
- ТК 3.1 «ТК Форума Качества»;
- ТК4 «Информация и обучение».

Азиатско-Тихоокеанская Метрологическая Программа АРМР

АРМР создана в 1977 году в целях продвижения и поддержки измерительной инфраструктуры в Азиатско-Тихоокеанском регионе, которая облегчает международную торговлю, повышает эффективность и конкурентоспособность промышленности, обеспечивает равенство на рынке и улучшает качество жизни и окружающую среду.

Основные задачи и направления деятельности, структура

Основные цели АРМР:

обеспечение информационного обмена по вопросам эталонов и измерительных возможностей;

обеспечение международного доверия в единстве изме-

рении и компетентности как основание для CIPM-MRA для стандартов и сертификатов калибровки, выпущенных национальными/территориальными метрологическими институтами;

обучение персонала, для усовершенствования возможности измерений в пределах региона;

единство измерения через калибровку и сличение национальных/территориальных эталонов;

расширение сотрудничества с BIPM (Международное Бюро Мер и Весов), а также с другими РМО;

поддержка целей АПЕС (Азиатско-Тихоокеанское Экономическое Сотрудничество).

Деятельность

В числе основных направлений деятельности АРМР:

реализация CIPM-MRA;

участие в международных ключевых сличениях, организуемых BIPM и организация ключевых сличений в регионе АРМР;

опубликование результатов исследований в международном журнале Metrologia;

организация обучений, симпозиумов, конференций в целях передачи опыта и знаний в рамках регионального сотрудничества;

сотрудничество с другими Азиатско-Тихоокеанскими региональными органами;

сотрудничество с другими региональными организациями по метрологии и BIPM;

ведение вебсайта;

издание информационных бюллетеней и других публикаций.

Организационная структура

Генеральная Ассамблея:

Высший руководящий орган, представляющий собрание всех организаций-членов АРМР, в целях обсуждения целей и задач деятельности АРМР, и принятия решения по всем вопросам управления организацией. Генеральная Ассамблея из-

бирает Председателя из числа полноправных членов АРМР.

Исполнительный комитет – руководящий орган, осуществляет руководство текущей деятельностью АРМР, возглавляется Председателем.

Секретариат АРМР – рабочий орган, осуществляющий координацию всей работы организации.

Технические Комитеты (ТК)

На сегодня в АРМР действует 12 технических комитетов (ТС), отвечающих за координацию технической деятельности в каждой области, охватываемой консультативными комитетами СІРМ. Деятельность ТК возглавляется Председателем ТК, который назначается на двухлетний срок.

Технические Комитеты АРМР:

1. Акустика, Ультразвук и Вибрация (AUV);
2. Электричество и Магнетизм (ЕМ);
3. Поток жидкости;
4. Длина (L);
5. Масса и связанные с ней величины (M);
6. Фотометрия и Радиометрия (PR);
7. Объем вещества (QM);
8. Системы качества (QS);
9. Ионизирующее излучение (RI);
10. Температура (T);
11. Время и частота (TF);
12. Метрология материалов (TCMM).

Комитет развивающихся экономик (DEC) отвечает за инициирование и координацию рабочих программ для удовлетворения потребностей НМИ – членов АРМР из развивающихся стран.

АРМР также создала 5 фокус-групп (по чистой воде, изменению климата и чистому воздуху, энергоэффективности, безопасности пищевых продуктов и медицинской метрологии) для обеспечения связи с заинтересованными сторонами и поддержки развития измерений в данных приоритетных областях.

Участие Республики Казахстан в АРМР

ГНМЦ был принят в качестве ассоциированного члена

АРМР от Республики Казахстан.

Республика Казахстан была принята в качестве ассоциированного члена АРМР 2 ноября 2007 года, на 23-м заседании Генеральной Ассамблеи АРМР в г. Сидней, Австралия. Членом АРМР от Казахстана является ГНМЦ.

Членство в АРМР позволяет:

участвовать в ключевых сличениях эталонов единиц величин, которые проводятся данной организацией, в целях декларирования новых и подтверждения уже задекларированных СМС-строк;

использовать образовательные и учебные площадки, создаваемые АРМР в целях обмена опытом и участия в тренингах, стажировках и практических конференциях;

участвовать в заседаниях Технических комитетов, Генеральных совещаний и других;

участвовать в проектах и исследованиях, проводимых в рамках этой организации.

Казахстан участвует в работе 8 ТК АРМР:

Технический комитет по фотометрии и радиометрии (TCPR);

Технический комитет по химическим и биологическим измерениям (TCQM);

Технический комитет по длине (TCL);

Технический комитет по электричеству и магнетизму (TCEM);

Технический комитет по системе качества (TCQS);

Технический комитет по расходу жидкости (TCFF);

Технический комитет по массе и связанных с ней величин (TCM);

Технический комитет по времени и частоте (TCTF).

6.2 Роль метрологии в экономике

Метрология, как правило, рассматривается исследователями с позиций фундаментальных и точных наук, при этом мало рассматривается учеными экономистами. В подтверждение данного тезиса можно привести контент-анализ, проведенный авторами. Анализ проводился на основе поисковых

системы баз данных зарубежных рецензируемых журналов: Web of Knowledge, Scopus, ScienceDirect, журналов выпускаемых редакцией IOPScience, а также поиском на официальных площадках метрологических организаций IOML и IMEKO.

При поиске использовались отдельные ключевые слова и их комбинации: метрология, законодательная метрология, экономика, общество. По результатам данного литературного поиска установлено, что за период в 30 лет было опубликовано более 42000 публикаций по метрологии и измерениям. Из этого числа, как было отмечено выше, только около 450 публикаций затрагивают аспекты, связанные с оценкой влияния метрологии на социально-экономические показатели отдельных стран или в мире целом.

При этом следует отметить, что более половины публикаций, посвященных оценкой экономических выгод метрологии, опубликованы Международной организацией законодательной метрологии (OIML), с большинством которых можно ознакомиться на веб-сайте данной организации по ссылке <https://www.oiml.org/en/publications/bulletin/bulletin>. Также следует отметить ряд исследований австралийских ученых и исследователей Национального института стандартов и технологий США (NIST).

Аналогичный анализ публикаций в странах СНГ посредством баз данных РИНЦ показывает, что данный вопрос рассматривался небольшим количеством публикаций, подготовленных Институтом проблем региональной экономики РАН, Центром стандартизации и метрологии г. Ярославль и Всероссийским научно-исследовательским институтом оптико-физических измерений, также социоэкономические эффекты метрологии изучались специалистами Укрметртестандарт.

Тем не менее, к одному из серьезных исследований по данной теме, проведенной в течение последних пяти лет можно отнести работу, проведенную Всемирным банком и Физико-техническим институтом Германии (PTB). По результатом совместного исследования подразделения Всемирного банка по Глобальной инфраструктуре качества и PTB были подготовлены рекомендации, в том числе для государствен-

ных организаций, которые направлены на анализ инфраструктуры качества стран, разработке, проведению реформ с целью улучшения институтов в инфраструктуре качества. Данные рекомендации представлены на сайте Всемирного банка <http://www.worldbank.org/qi>. При этом следует отметить, что результаты работ были рассмотрены и приняты в качестве инструментариев по комплексной диагностике и реформированию инфраструктуры качества Международным бюро мер и весов в октябре 2019 г. В этой связи далее в этой главе тезисно представлены аспекты данных рекомендаций и представлены основные формулы по которым проводится оценка экономической эффективности.

Как и многие другие виды деятельности в обеспечение единства измерений, стандартизации, аккредитации следует находить и рассчитывать экономические выгоды и эффективность процессов. Цель этого раздела состоит в том, чтобы выделить несколько ключевых экономических преимуществ, которые ясно иллюстрируют экономическое обоснование метрологии и стандартизации.

Выделяют четыре ключевых экономических преимущества, которые также включают в себя снижение транзакционных издержек, повышение экономической эффективности, поддержку инноваций и уменьшение риска обвалов рынка.

Во-первых, измерения и стандарты играют важную роль в эффективном функционировании рынков. Рынки не могут работать эффективно или действенно, если покупатели и продавцы не имеют достоверной информации о товарах на рынке. Асимметричная информация между покупателями и продавцами является одним из наиболее распространенных источников обвала рынка, который происходит, когда покупатель не может определить качество продукта и, как следствие, не покупает продукт. Благодаря информации получаемых от процесса измерений покупатели могут оценить качество товаров и услуг, учитывая наличие определенных стандартов, и, следовательно, можно выделять продукты более низкого и более высокого качества. Это затем устраняет асимметричную информацию, а также исправляет существ-

вующие сбои рынка, тем самым повышая эффективность рынка.

Здесь следует понимать, что измерения, могут влиять на стоимость конечного продукта, в зарубежной терминологии это может называться как добавленная стоимость (value added). Результаты анализа рынка труда в США, проведенные Pasqual A. Don Vito, показывают, что оценку добавленной стоимости на конечный продукт или услугу, следует производить, если рассматривать измерение как трудовой (производственный) процесс в общем процессе производства товара или процессе оказания услуги.

В таблице 3 показаны секторы промышленности и оценка экономических затрат на примере США.

Таблица 3

Сектор промышленности	Доля измерительного процесса от общих трудозатрат, %	Оцененная стоимость трудозатрат на процесс измерений (от добавленной стоимости), млн. долларов
Химическая промышленность	12	4 (34)
Нефтепереработка	13	4 (29)
Передача электроэнергии	10	1 (11)
Радио и телевидение	11	2 (12)
Услуги связи	9	4 (49)
Производство электронных компонентов	21	1,2 (6)
Оптическое и фото оборудование	14	1 (8)
Учет в ЖКХ	20	10 (49)
Услуги автосервиса	15	4 (26)

Данная таблица демонстрирует среднюю суммарную добавленную стоимость при выпуске продукции/услуги (во втором столбце показано в скобках), стоимость измерительного процесса, как трудовых затрат и долю занимаемую измерительным процессом в общем производственном процессе.

Например, для при переработке нефтепродуктов процесс измерений, автоматизированный и «ручной» занимает 13% от общего процесса производства, при этом затраты на оплату труда инженеров напрямую (проведение и интерпретация измерений) или косвенно (монтаж, обслуживание и калибровка оборудования) задействованных в измерительных процессах составляют 4 млн. долларов, при том что добавленная стоимость продукции составляет 29 млн. в среднем по отрасли.

Во-вторых, метрология и стандартизация могут снизить транзакционные издержки, связанные с участием в экономическом обмене. Транзакционные издержки возникают в результате асимметричности и неполноты информации между потребителями и производителями. Наличие установленного измерительного эталона, позволяет покупателю уменьшить затраты времени на поиск товара и нести меньшие финансовые затраты, связанные с проверкой соответствия товара требованиям качества. Дополнительно к этому, выпускаемая продукция (товары или услуги) в соответствии со стандартом, производитель может нести меньше затрат, связанных с исправлением дефектов для соответствия спецификациям, что позволяет сертифицировать продукт, а также вызывает доверие в отношении сертификации и характеристик продукта по сравнению с продуктом конкурента. Таким образом, стандарты помогают обеспечить безопасные результаты для покупателей и помогают производителям управлять рисками в снижении нежелательных результатов. Следовательно, снижая транзакционные издержки, метрология и стандартизация помогают снизить вероятность провала рынка.

Данный результат особо виден на примере экономического влияния Соглашения о взаимном признании CIPM MRA, с учетом следующих факторов:

- 1 Эффективность затрат для НМИ достигается при установлении взаимного признания на многосторонней основе посредством централизованной совместной координации, а не на двусторонней основе.

- 2 Экономическая эффективность, обусловленная сниже-

нием технических барьеров в торговле (ТБТ).

На основе информации, предоставленной зарубежными НМИ, было подсчитано, что условная экономия НМИ на расходы, связанные с установлением и поддержанием взаимного признания, в среднем, достигает 75 тыс. евро в год, а общая условная экономия для всех НМИ, включенных в процесс признания, составила порядка 85 млн. евро. Исследования также показывают, что сокращение нетарифных барьеров в торговле может принести до 10% чистой прибыли. Исходя из объема торговли между странами, участвующими в МРА, которая составляет более 4 триллионов долларов США, отмечается, что увеличение стоимости торговли на одну десятую процента приведет к увеличению стоимости более чем на \$4 млрд. среди 28 рассматриваемых стран.

В-третьих, метрология повышает экономическую эффективность за счет улучшения производства или производственных процессов. Экономия за счет повышения точности и масштабирования работает следующим образом: стандарты (международные, национальные или стандарты предприятия) могут устанавливать требования к точности измерений. Уменьшая ошибки измерений определенных параметров продукта, они снижают затраты производителя, связанные с производством одной единицы товара для поставщиков.

Данное положение можно подтвердить результатами исследования J.C. Lange, которые представлены МОЗМ. Так, улучшение весоизмерительной системы ленточного конвейера порта Нарвик в Швеции позволило уменьшить неопределенность измерений металлической руды с 0,5% до 0,2%. Стоимость установки дополнительного оборудования составила примерно 850 тыс. долларов США, при этом годовая прибыль экспортера в связи с уменьшением неопределенности измерений составила 1,5 млн. долларов США.

В-четвертых, измерение играет большую роль в поддержке и стимулировании инноваций и коммерциализации. Измерения считаются одной из инфраструктурных технологий, то есть одной из технологий, обеспечивающих техническую инфраструктуру и инструменты, необходимые для дальней-

ших инноваций. Измерение и стандарты делают это, предоставляя платформу, на которой можно создавать и демонстрировать новые технологии и процессы. В мире, где нет измерений и стандартов, новатору нового продукта будет очень трудно продемонстрировать и убедить потенциального покупателя в преимуществах товара и его преимуществах перед конкурентами. С другой стороны, если характеристики продукта могут быть измерены и проверены с помощью системы измерения, то это затем позволяет уменьшить риск для покупателей, приобретающих новые продукты, и увеличит скорость, с которой новые продукты будут распространяться на рынке. Таким образом, измерение играет важную роль в инновациях, инновации требуют измерительных эталонов, и, как правило, отсутствие эталонов, для инновационных новых продуктов ведет к их провалу на рынке.

Согласно определению прослеживаемости, она реализуется через непрерывную цепь калибровок от международного и/или национального эталона к рабочим эталонам метрологических служб и субъектов аккредитации и далее к рабочим средствам измерений. Основной метрологический процесс измерений, который можно рассматривать как продукцию или услугу, это процесс калибровки. Но при этом калибровка это не единственная услуга, которая оказывается национальным метрологическим институтом, в частности, Казахстанским институтом стандартизации и метрологии (КазСтандарт). Существуют и другие механизмы, с помощью которых воплощенные достижения в области метрологии входят в экономику, такими механизмами являются патенты на изобретения, полученные в рамках научных исследований. При этом калибровка имеет то преимущество, что они фиксируют элементы рыночного спроса на воплощенные научные достижения. Организации частного и государственного секторов оплачивают калибровку, и поэтому можно предположить, что заказчик калибровки фактически будет использовать результаты измерений в своих производственных процессах.

Таким образом, предлагается к рассмотрению модель,

согласно которой измерительные эталоны внедряются в экономику (т. е. имеют потребность производственными компаниями) в той мере, в какой предельная выгода от использования эталона равна предельным издержкам, связанным с этим.

Когда производственная фирма использует эталон, она, по сути, получает новые знания. Для внедряющей компании это новое знание воплощено в эталоне, который имеет воспринимаемую ценность для предприятия (и, следовательно, для общества), но предприятие не может самостоятельно развивать это новое знание по разумной цене, следовательно, в соответствующие научные исследования в области измерения вкладывается недостаточно средств с социальной точки зрения.

Таким образом, эталон посредством калибровки предоставляется третьей стороной по стоимости ниже, чем затраты предприятия на его собственную разработку, где в качестве третьей стороны выступает метрологическая лаборатория государственного сектора или просто государственным сектором.

Для предприятия имеется двойная выгода в использовании эталона.

Измерительный эталон увеличивает вероятность того, что, среди прочего, производственный процесс внутри фирмы будет более успешным, чем без эталона, а эталон увеличит рыночную стоимость любой производственной продукции фирмы, полученной из-за сокращения информационной асимметрии и транзакционных издержек [1]

Пусть вероятность (p) того, что в результате производственного процесса будет получена успешная товарная продукция (Q), представлена функцией $p(q)$, где q указывает на качество или товарность продукции. Кроме того, пусть чистая выручка R , связанная с производством и реализацией полученной продукции, представлена функцией $R(q)$.

Пусть сфера применения эталона представлена S , где S можно рассматривать эмпирически как вновь определенный вход в производственный процесс компании. Предполагает-

ся, что качество q выхода Q само по себе является вогнутой функцией $q(S)$ уровня использования эталона. Таким образом, ожидаемая (e) чистая выручка от производства и реализации полученной продукции будет функцией S :

$$R^e = p(q(S)) \cdot R(q(S)),$$

а предельная чистая ожидаемая выручка (MRS) на единицу показателя для масштаба деятельности компании, использующей измерительный эталон в производстве и продаже продукции, будет:

$$MRS = p(q(S)) \cdot R'(q(S)) + R(q(S)) \cdot p'(q(S)).$$

Конечно, использование эталона сопряжено с затратами как материальных, так и интеллектуальных, необходимых для интеграции эталона в производственный процесс, так и с точки зрения стоимости самого эталона. Предполагая, что эти затраты включают как постоянные, так и переменные компоненты, функция затрат (c) может быть представлена следующим образом: Оптимальный уровень использования стандарта измерения при условии, что компания стремится максимизировать ожидаемый уровень прибыли (π) от интеграции эталона измерения, будет некоторое S^* , максимизирующее ожидаемую прибыль, связанную с процессом интегрирования эталона:

$$\pi^e(S) = p(q(S)) \cdot R(q(S)) - c(S),$$

то есть S^* будет тем уровнем S , который приравнивает предельный чистый ожидаемый доход, MRS , к предельным затратам, MC , процесса интеграции эталона:

$$(5) \quad p(q(S)) \cdot R'(q(S)) + R(q(S)) \cdot p'(q(S)) = c'(S).$$

Окончательное выражение не используется явно для формирования эмпирической основы. Скорее, модель система-

тически иллюстрирует условия, когда компания будет интегрировать измерительный эталон в свой производственный процесс в той мере, в какой предельная выгода равна предельным затратам на это.

$$c = c(S) \text{ where } c(0) > 0, c'(S) > 0, \text{ and } c''(S) > 0.$$

В ряде международных исследований проанализировано экономическое влияние эталонов. Однако эмпирическая литература об экономическом воздействии измерения в Казахстане очень ограничена. На международном уровне были разработаны ряд методологий для количественной оценки экономического воздействия измерения, включая экономическое моделирование, тематические исследования, анализ затрат и результатов и интервью. В целом, эти исследования измеряют влияние увеличения затрат на модернизацию эталоны на производительность и валовой внутренний продукт (ВВП).

Указанные международные исследования, в которых количественно определялось влияние увеличения эталонов на 1 процент на общую факторную производительность, дали оценки, которые варьировались от 0,1 процента до 0,17 процента. По оценкам, влияние 1-процентного увеличения на развитие эталонной базы на производительность труда колеблется от 0,05 до 0,36 процента, а влияние на ВВП — от 0,17 до 1 процента [2]. Кроме того, по результатам исследований установлено, что ежегодная стоимость торговых измерительных операций в современных индустриальных обществах составляет около 50% ВВП и увеличение средней ошибки измерения на 0,1%, создаст «экономическое искажение» в размере 0,05% ВВП. При умножении данного процентного показателя на ВПП конкретной страны, легко понять, что это значение является значительно большим, чем расходы правительств на поддержание национальных систем обеспечения единства измерений.

6.3 Развитие метрологии в Казахстане

Развитие метрологии – это постоянный процесс, направленный на повышение качества измерений и обеспечение точности результатов.

Развитие метрологии в Казахстане сегодня – важное направление, обеспечивающее качество продукции и услуг, безопасность и защиту прав потребителей, а также укрепление научно-технического потенциала страны.

В настоящее время развитие метрологии в стране осуществляется в нескольких направлениях.

1. Развитие системы государственного регулирования и контроля в сфере метрологии. Для этого создаются и улучшаются законодательные и нормативные документы, регулирующие сферу метрологии, а также органы государственного контроля, отвечающие за их исполнение.

2. Развитие метрологической инфраструктуры. В стране создаются и развиваются национальные эталоны, национальный метрологический институт, калибровочные и поверочные лаборатории, обеспечивающие качественную калибровку и поверку СИ, а также своевременное и достоверное информационное обеспечение в сфере метрологии.

3. Развитие кадрового потенциала в сфере метрологии. Для обеспечения высокого уровня квалификации специалистов в области метрологии в стране создаются специальные учебные и научные центры, проводятся обучающие программы и тренинги, а также проводится работа по привлечению молодых специалистов в эту область.

4. Развитие международного сотрудничества в сфере метрологии. Страна активно сотрудничает с ведущими международными метрологическими организациями, что позволяет обеспечивать высокий уровень качества продукции и услуг, а также повышать свой научно-технический потенциал.

На сегодняшний день, эталонная база Республики Казахстан насчитывает 104 единицы государственных эталонов и эталонного оборудования.

Прослеживаемость измерений в республике до рабочих

СИ обеспечивается передачей единиц величин от государственных эталонов, которые в свою очередь должны иметь прослеживаемость к международной системе единиц путем калибровки и участия в сличениях.

Для международного признания измерений, проводимых в республике, государственные эталоны принимают участие в сличениях с эталонами зарубежных институтов в рамках соглашения CIPM MRA «О взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами».

По положительным результатам сличений в базе данных Международного бюро мер и весов (BIPM) публикуются калибровочные и измерительные возможности (СМС - строки) эталонов стран участниц сличений (qR-код либо ссылка на сайт).

Зарегистрированные в базе данных BIPM СМС строки государственных эталонов НМИ РК позволяют признать казахстанские результаты измерений и обеспечить их прослеживаемость на международном уровне.

Развитие метрологии в стране – это развитие национальной эталонной базы, как основного элемента инфраструктуры качества.

Без контроля качества нет качества;

Без измерений – нет контроля качества;

Без калибровки нет измерений;

Без аккредитованных лабораторий нет калибровки;

Без прослеживаемости нет аккредитованных лабораторий;

Без эталонов нет прослеживаемости;

Без метрологии нет эталонов¹.

Совершенствование системы обеспечения единства измерений как стратегическая цель Казахстана подтверждается развитием калибровки СИ, которая сегодня и всегда идет параллельно с развитием технологий и научных достижений, как один из важнейших элементов прослеживаемости.

Переход с поверки на калибровку эталонов как один из основных этапов прослеживаемости измерений, составляет

основу для доверия к результатам измерений в международной торговле и является важным этапом в развитии метрологической деятельности предприятий страны, позволяющим повысить точность измерений и обеспечить более высокое качество продукции.

Важно отметить, что переход на калибровку эталонов требует соответствующей квалификации и опыта со стороны специалистов, занимающихся калибровкой. Также это требует соответствующего оборудования и лабораторных условий для проведения калибровки.

Метрологическая деятельность предприятий, организаций нашей страны, связанная с получением и использованием результатов измерений, обеспечением их достоверно оцененной точности приобретает приоритетное значение. Она включает в себя следующие аспекты:

- обеспечение требований к измерительной технике: выбор и приобретение подходящих СИ, их калибровка и поверка в соответствии с установленными требованиями;

- разработка методик измерений: определение методов измерения и контроля, разработка соответствующих документов (например, технических заданий, инструкций по применению СИ);

- обучение персонала: обучение работников предприятия правильной эксплуатации и применению СИ, а также методик измерений;

- контроль и управление измерениями: контроль за соблюдением правил применения СИ и методик измерений, управление данными об измерениях, контроль за поверкой СИ;

- участие в международных и национальных метрологических программах: соблюдение требований международных и национальных стандартов в области метрологии, участие в разработке стандартов, обеспечение соблюдения требований стандартов на предприятии.

Цель развития метрологической деятельности – обеспечение точности и надежности измерений на предприятии, что позволяет повысить качество продукции и услуг, сократить затраты на производство и повысить его эффективность.

Перспектива развития системы обеспечения единства измерений в республике. Первое направление — это поддержка экспорта и защиты потребителей от некачественной продукции. Техническое перевооружение эталонной базы, модернизация эталонного оборудования и подтверждение измерительных возможностей на международном уровне позволит получить мощный инструмент влияния на качество продукции, которая обращается на рынке страны и которая, соответственно, будет поступать на рынки зарубежных стран.

Второе важное направление — цифровая трансформация, как одно из комплексных решений и направлений. Цифровая трансформация преобразит существующие информационные системы, открывая новые возможности.

Третье определяющее направление — развитие кадрового потенциала. Измерительные и калибровочные возможности страны, как результаты работ «ученых-хранителей» на сегодняшний день являются эталонными индикаторами точных измерений в страновом контексте. Повышение статуса ученого-хранителя закрепит за собой новый подход по профильным видам измерений.

Также, для получающих образование в высших и средних учебных заведениях, обязательное включение программ стажировок в рамках страны (площадки НМИ, испытательных, калибровочных и поверочных лабораторий и т.д.) и ближнего/дальнего зарубежья для повышения экспертности, участия в научно-исследовательских проектах.

1 – Национальная инфраструктура качества. Др.-инж. Клеменс Санетра, Росио М.Марбан

2 - Ученый хранитель государственного эталона – должностное лицо государственного научного метрологического центра, несущее ответственность за правильное хранение и применение государственного эталона и его совершенствование

Глава 7

Государственный метрологический контроль

Государственный метрологический контроль осуществляется уполномоченным органом и его территориальными подразделениями с целью проверки соблюдения физическими и юридическими лицами требований законодательства Республики Казахстан об обеспечении единства измерений.

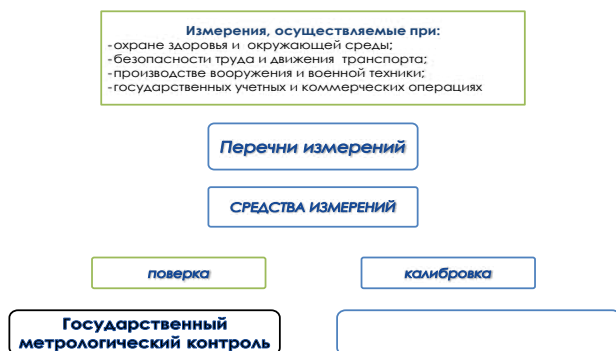
Перечни измерений, относящихся к государственному регулированию (далее – Перечни измерений) это новая модель государственного регулирования, которая предусматривает четкое разграничение измерений, подлежащих контролю со стороны государства и измерений, которые контролируются бизнесом самостоятельно.

Необходимо отметить, что Перечни измерений введены в 2019 году в соответствии с внесением изменений в Закон РК в целях обеспечения прозрачности и четкости в определении сферы государственного метрологического контроля, тем самым снизив административную нагрузку на бизнес.

Перечни измерений утверждены государственным органом в рамках своей компетенции совместно с уполномоченным органом в области обеспечения единства измерений.

К примеру: Министерство здравоохранения – в области охраны здоровья граждан, Министерство труда и социальной защиты населения – в области безопасности труда, Министерство внутренних дел – в области безопасности транспорта и т.д.

Механизм действия перечней измерений приведен на рисунке 7.1.



Из рисунка следует, что СИ, если они применяются в измерениях, указанных в Перечнях измерений, поверяются, в случае применения вне сферы Перечня измерений, калибруются.

Перечни измерений позволяют конкретизировать измерительные приборы, подлежащие утверждению типа и поверке.

Таким образом, все СИ, нормативные документы, такие как методики выполнения измерений, методики поверки, применяемые при измерениях, указанные в этих Перечнях, контролируются со стороны государства – путем обязательной поверки и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений.

7.1 Объекты государственного метрологического контроля

В соответствии со статьей 22 Закона РК государственный метрологический контроль осуществляется через Перечни измерений, относящихся к государственному регулированию, в отношении следующих объектов:

- 1) государственные эталоны единиц величин;
- 2) эталоны единиц величин и СИ;
- 3) стандартные образцы;
- 4) нормативные правовые акты, технические регламенты;
- 5) методики выполнения измерений и методики поверки СИ;
- 6) количество продукции, отчуждаемой при совершении торговых операций;
- 7) количество фасованной продукции в упаковках любого вида при ее реализации.

Государственный метрологический контроль распространяется на объекты, применяемые при измерениях, к которым установлены метрологические требования в перечнях измерений, относящихся к государственному регулированию, и нормативных правовых актах.

Государственный метрологический контроль за объектами осуществляется:

для определения фактического выполнения метрологических требований, установленных перечнями измерений, относящихся к государственному регулированию, и нормативными правовыми актами;

в целях проверки правильности определения массы, объема, расхода или других величин, характеризующих количество отчуждаемой продукции;

в целях проверки соответствия количества содержащейся в упаковке продукции величине, обозначенной на упаковке.

7.2 Порядок осуществления государственного метрологического контроля

Субъектами государственного метрологического контроля за выпуском, состоянием и применением СИ, применением методик выполнения измерений, государственными эталонами единиц величин, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм являются государственные органы, физические и юридические лица, осуществляющие свою деятельность в области обеспечения единства измерений или выполняющие измерения, к которым установлены метрологические требования в Перечнях измерений, относящихся к государственному регулированию и нормативных правовых актах.

Государственный метрологический контроль осуществляется должностными лицами уполномоченного органа и его территориальных подразделений, в виде внеплановой проверки и профилактического контроля в соответствии с Предпринимательским кодексом Республики Казахстан.

Профилактический контроль без посещения субъекта контроля осуществляется путем изучения, анализа, сопоставления сведений, полученных из различных источников информации, в том числе на основе сведений:

- 1) представленных субъектами государственного контроля и надзора, государственными органами и иными организациями;
- 2) полученных из информационных систем;
- 3) полученных из средств массовой информации и иных

открытых источников, обращений физических и юридических лиц.

По итогам профилактического контроля без посещения субъекта контроля составляется рекомендация об устранении выявленных нарушений (далее – рекомендация) без возбуждения дела об административном правонарушении с обязательным разъяснением субъекту контроля способа устранения нарушений.

Данный вид контроля осуществляется с целью своевременного пресечения и недопущения нарушений, предоставления субъекту контроля права самостоятельно устранить нарушения, выявленные по результатам профилактического контроля без посещения субъекта контроля, и снизить на него административную нагрузку.

Заключение

В учебнике рассмотрены основные вопросы метрологии, изучение которых необходимо для практической деятельности в сфере измерений.

В частности, рассмотрены вопросы:

- основные термины и задачи метрологии;
- история развития и роль метрологии в науке и технике;
- измерение физических величин, методы измерения и их классификация;
- классификация СИ, стандартные образцы, эталоны единиц величин, в том числе эталоны Республики Казахстан, нормативно-правовая основа метрологической деятельности: от международного уровня до уровня руководства отдельными предприятиями и их подразделениями;
- основные разделы метрологии: теоретическая, прикладная и законодательная;
- главные тенденции международного сотрудничества в области метрологии, основные характеристики глобальной метрологической системы;
- международные и региональные организации по метрологии, их основные цели и задачи, участие Республики Казахстан в их деятельности;
- роль метрологии в экономике;
- состояние и развитие метрологии в Казахстане;
- обеспечение Государственного метрологического контроля в Республике Казахстан.

Данные сведения позволяют изучить только основы метрологии. Авторы данного учебного пособия надеются, что студенты и специалисты метрологи, освоив материалы учебного пособия, смогут, используя новейшую литературу, самостоятельно изучить интересующие их вопросы и проблемы.

Наиболее актуальными, на настоящий момент, темами можно считать: калибровку измерительных приборов через Internet — например, дистанционная калибровка или поверка с прямым доступом; создание всемирной сети для метрологического сотрудничества между метрологическими орга-

низациями разных стран; измерения в виртуальных компаниях — в частности, телеметрические измерения и контроль; измерения в компьютерных сетях; измерения в интерактивном режиме и т.д.

Рекомендуемая литература

Tassey, Gregory (2017). "The Roles and Impacts of Technical Standards on Economic Growth and Implications for Innovation Policy," *Annals of Science and Technology Policy*, 1: 215–316.

US National Institute of Standards and Technology, viewed 3 September 2013, <http://www.nist.gov/director/planning/summary-studies.cfm>

R. Schwartz, M. Borys, F.Scholz, Guide to Mass Determination with High Accuracy, HND-MA-80e, Braunschweig, March 2007.

4 OIML R 111–1:2004 Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3 . Part 1: Metrological and technical requirements.

KOOMET R/GM/11:2008 ПОЛОЖЕНИЕ о сличениях эталонов национальных метрологических институтов KOOMET.

Шишмарёв, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 377 с.

Сергеев, А. Г. Метрология: учебник и практикум для СПО / А. Г. Сергеев. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 322 с.;

Приказ Министра по инвестициям и развитию РК от «27» декабря 2018 года № 933 «Правила утверждения типа и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений стандартного образца и оказания государственных услуг «Допуск к применению стандартного образца зарубежного выпуска», «Утверждение государственного стандартного образца»;

СТ РК 2.43 Разработка, утверждение и применение стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов предприятий;

СТ РК 2.79 ГСИ РК. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов зарубежного выпуска. Порядок допуска к применению. Основные положения;

Р РК 50.2.1-2001 ГСИ РК. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов и аттестованные смеси. Общие требования к применению и хранению;

ГОСТ 8.315-97 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения;

ГОСТ 32934-2014 (ISO Guide 30:1992) Стандартные образцы. Термины и определения, используемые в области стандартных образцов;

ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Прикладная метрология

Астана 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	129
Список сокращений	130
Глава 1 Прослеживаемость измерений	131
1.1 Сличения эталонов единиц величин.....	136
1.1.1 Виды сличений.....	138
1.1.2 Порядок проведения сличений эталонов.....	139
1.2 Поверка средств измерений.....	159
1.2.1 Понятие и виды поверок.....	160
1.3 Калибровка средств измерений.....	162
1.3.1 Понятие и виды калибровки.....	162
1.4 Межлабораторные сличительные испытания	165
Глава 2 Реестр государственной системы обеспечения единства измерений.....	168
2.1 Порядок утверждения типа средств измерений.....	171
2.2 Порядок проведения метрологической аттестации средств измерений.....	172
2.3 Порядок признания утверждения типа средств измерений	172
Глава 3 Методика выполнения измерений	174
3.1 Порядок разработки методик выполнения измерений.....	174
3.2 Метрологическая аттестация методик выполнения измерений.....	175
Заключение.....	179

Предисловие

Целью раздела «Прикладная метрология» является изучение и освоение методов и средств, используемых в современной прикладной метрологии, обеспечение необходимым объемом теоретических знаний о средствах измерения, метрологических характеристиках, техническом регулировании, их особенностях.

Задачи:

- иметь представление: о современном состоянии прикладной метрологии в стране и за рубежом; об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства; о способах достижения требуемой точности; об организации деятельности по прикладной метрологии в развитых странах; о международных и региональных организациях по метрологии;

- знать: законодательные и нормативные правовые акты, методические материалы по метрологии; систему межведомственного и ведомственного контроля за стандартами и единством измерений; теорию воспроизведения единиц физических величин и передачи их размеров; методы обработки результатов измерений и СИ; их метрологические характеристики; правила проведения испытаний и приемки продукции;

- уметь: планировать и проводить работы по метрологии; применять методы обработки результатов измерений и анализа их достоверности; методы контроля качества продукции;

- приобрести практические навыки: работы контрольно-измерительной и испытательной техникой; использования СИ, испытаний и контроля; пересмотра действующих стандартов, технических условий и других документов по метрологии; осуществления систематической проверки применяемых на предприятии стандартов и других документов по метрологии; изучения и систематизации передового отечественного и зарубежного опыта в области метрологии.

Список сокращений

AP – аттестованный раствор;

BIPM – Bureau International des Poids et Mesures (Международное бюро мер и весов);

CIPM-MRA – Соглашение «О взаимном признании национальных измерительных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами»;

EAL – Echelle Atomique Libre (Шкала свободного атомного времени);

KCDB BIPM – База данных ключевых сличений Международного бюро мер и весов;

OIML – The International Organization of Legal Metrology (Международная организация законодательной метрологии);

UTC – Coordinated Universal Time (шкалы координированного времени);

UTC(KZ) – национальная шкала координированного времени Республики Казахстан;

ГНМЦ – Государственный научный метрологический центр;

ГПЭВЧ – Государственный первичный эталон времени и частоты;

ГСИ РК – Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан;

МВИ – Методика выполнения измерений;

НМИ – Национальный метрологический институт;

НМИ РК – Национальный метрологический институт Республики Казахстан;

КООМЕТ – Евро-Азиатское Сотрудничество Государственных Метрологических Учреждений;

СИ – средство измерений.

Глава 1

Прослеживаемость измерений

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все существующие СИ одной и той же величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных учреждениях установленных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым средствам измерения.

Воспроизведение единицы физической величины – это совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей точностью посредством государственного эталона или исходного эталона. Различают воспроизведение основной и производной единиц.

Воспроизведение основной единицы — это создание фиксированной по размеру физической величины в соответствии с определением единицы. Оно осуществляется с помощью государственных первичных эталонов. Например, единица массы – 1 кг (точно) воспроизведена в виде платиноиридиевой гири, хранимой в Международном бюро мер и весов в качестве международного эталона килограмма. Откалиброванные и переданные другим странам метрической системы эталоны массы имеют номинальное значение 1 кг с известными отклонениями. На основании последней калибровки (2021 г.) после вступления в силу «согласованного значения» международного прототипа килограмма после переопределения килограмма, три единицы гирь, входящие в состав государственного первичного и вторичного эталона Республики Казахстан, имеют действительную массу $\sim 1,000000038$ кг (KZ3), $\sim 0,999999991$ кг (KZ2), $\sim 0,99999978$ кг (KZ1) и стандартную неопределённость 0,021 мг, где доминирует стандартная неопределённость 0,020 мг «согласованного значения» по отношению к постоянной Планка.

Воспроизведение производной единицы — это опреде-

ление значения физической величины в указанных единицах на основании косвенных измерений других величин, функционально связанных с измеряемой. Так, воспроизведение единицы силы – ньютона осуществляется на основании известного уравнения механики $F = mg$, где m – масса; g – ускорение свободного падения.

Передача размера единицы — это осуществляемое при поверке или калибровке приведение размера единицы, хранимой поверяемым/калибруемым СИ, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном. Размер единицы передается сверху вниз – от более точных средств измерения к менее точным.

Слово «измерение» является частью нашей повседневной жизни, и его результаты влияют на решения, принимаемые во многих отраслях. Помимо целей защиты прав потребителей при юридических сделках, точные измерения, становятся всё более важными в условиях глобализации производства с работающими на мировом уровне компаниями и местными поставщиками по всему миру.

Роль прослеживаемости измерений значительно возросла за последние 20 лет, особенно в рамках программ аккредитации испытательных и калибровочных лабораторий, которые были созданы по всему миру. Общепринятый стандарт системы менеджмента качества ISO/IEC 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» включает в себя комплекс требований, касающихся прослеживаемости результатов измерений.

Определение метрологической прослеживаемости, глобально принятое в метрологическом сообществе, включено в Международный словарь основных и общих терминов в метрологии (VIM 3): «...свойство результата измерения, при котором результат может быть связан с эталоном через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит свой вклад в неопределенность измерения.»

Прослеживаемость означает, что результат измерения, не зависимо от того, где он был произведен, может быть связан с государственным или международным эталоном, и что эта связь документирована. Кроме того, средства измерений должны быть откалиброваны с помощью рабочих эталонов, которые сами являются прослеживаемыми.

Прослеживаемость, таким образом, определяется как свойство результата измерений или значения эталона, при котором он может быть связан с заявленными эталонами, обычно государственными или международными, через непрерывную цепочку сравнений, имеющих заявленные неопределенности.

Система прослеживаемости важна, поскольку она позволяет сравнивать точность измерений во всем мире в соответствии со стандартизированной процедурой оценки неопределенности измерений.

НМИ каждой страны отвечает за создание и хранение национальных эталонов физических и химических величин.

На сегодняшний день эталонная база республики, которая находится в ведении ГНМЦ, насчитывает 104 единицы государственных эталонов и эталонного оборудования.

Структурная схема передачи размера единицы физической величины (прослеживаемость измерений) от государственных эталонов к рабочим эталонам и далее к рабочим средствам измерений и ее роль показана на рисунке 1.1.

На первичном уровне Институт обеспечивает передачу единицы измерений в соответствии с международно признанными требованиями путем участия в международных сличениях эталонов, калибровкой эталонного оборудования и оценкой системы качества. Таким образом, государственные эталоны являются мостом в передаче единиц измерений от первичных эталонов до эталонов поверочных, калибровочных и испытательных лабораторий через калибровку/поверку.

Рисунок 1.1 – Передача размера единицы измерений



На вторичном уровне в котором задействованы эталоны поверочных и калибровочных лабораторий, существует аналогичная система обеспечения передачи единицы измерений.

Для обеспечения передачи единицы измерений на данном уровне лабораториям необходимо проводить калибровку своих эталонов в организациях, имеющих метрологическую прослеживаемость к государственным эталонам единиц величин Республики Казахстан в соответствии с межгосударственными, национальными стандартами или международными документами в области обеспечения единства измерений, устанавливающими схемы метрологической прослеживаемости.

В случае отсутствия государственных эталонов единиц величин передача размеров единиц величин допускается от национальных эталонов единиц величин других государств, степень эквивалентности которых подтверждена в Базе данных ключевых сличений Международного бюро мер и весов (KCDV BIPM).

Также в соответствии с требованиями Национального органа аккредитации (НЦА) лабораториям для прохождения

процедуры аккредитации в национальной системе аккредитации на соответствие требованиям стандарта ИСО/МЭК 17025-2009 на проведение работ по поверке/калибровке необходимо продемонстрировать свою техническую компетентность путем участия в межлабораторных сличениях, а для испытательных лабораторий в межлабораторных сравнительных испытаниях.

Международные стандарты качества (ISO 9000, ISO/IEC 17025 и т.д.) требуют прослеживаемости или единства измерений. Концепция прослеживаемости означает непрерывную цепочку сличений с приборами более высокой точности измерений (меньшей неопределенности измерений), начиная с прибора, используемого в промышленности, до государственного эталона.

Таким образом, прослеживаемость измерений обеспечивает доверие к результатам измерений, проводимых в РК, защиту рынка от недостоверных результатов измерений, сертификатам соответствия и протоколам испытаний продукции на международном уровне, а также беспрепятственному обращению товаров отечественных производителей на международном рынке.

Основные функции национального метрологического института могут быть сформулированы следующим образом:

- это – первичная метрологическая лаборатория; в этом качестве он разрабатывает национальные измерительные эталоны и передаёт размер их единиц промышленности и потребителям в стране;
- он учреждает и хранит национальную систему измерений, предоставляя техническую поддержку сети вторичных и третичных лабораторий;
- он обеспечивает прослеживаемость измерений к национальной системе и через неё к международной системе;
- он предлагает техническую поддержку промышленности во всём, что касается измерений, стандартных образцов, калибровок и информации для организации прослеживаемости их измерений;
- он участвует в модернизации эталонов и передаче

технологий между научным сообществом, промышленностью и правительством, содействуя укреплению научной и технической инфраструктуры, требуемой со стороны промышленности для обеспечения конкуренции на существующих мировых рынках;

- он поддерживает разработку исходных эталонов и национальной системы эталонов и их последующее совершенствование;

- он облегчает международную гармонизацию и сравнимость результатов измерений;

- он представляет страну в региональной метрологической организации РМО и всемирной метрологической системе, координируемой BIPM;

- он участвует в организуемых на международном уровне взаимных сличениях, и вместе с национальным органом по аккредитации он организует национальные взаимные сличения для калибровочных лабораторий в стране.

1.1 Сличения эталонов единиц величин

Проведение сличений и декларирование СМС-строк являются технической базой Международного соглашения о взаимном признании эталонов и сертификатов калибровки (Соглашение МРА).

Задачами Соглашения CIPM MRA являются:

- установление степени эквивалентности национальных эталонов (т. е. степени, с которой эти эталоны согласуются с опорными значениями, определяемыми в ходе ключевых сличений, и, следовательно, согласуются друг с другом);

- взаимное признание сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых НМИ, подписавшими CIPM MRA;

- обеспечение правительств и других административных органов надежной технической базой для более широких договоренностей, касающихся международной торговли, научно-технического сотрудничества и разработки нормативной документации.

Механизмы реализации задач Соглашения CIPM MRA являются:

- организация и проведение сличений;
- открытая экспертная оценка калибровочных и измерительных возможностей участников, основанная в основном на результатах сличений;
- внедрение системы менеджмента качества участника и демонстрация компетентности.

Результатами Соглашения CIPM MRA являются международно-признанные (проверенные и одобренные экспертами) измерительные и калибровочные возможности (СМС) участвующих институтов, опубликованные в общедоступной базе данных ключевых сличений BIPM (KCDB).

Степень эквивалентности национальных эталонов – это степень согласованности национальных эталонов, участвующих в сличениях, с опорным значением ключевого сличения и, тем самым, согласованности друг с другом. Он устанавливается по результатам участия в сличениях и декларирования СМС-строк.

Под СМС-строками подразумеваются калибровочные и измерительные возможности того или иного государственного эталона единицы величины. Иными словами, это уровень точности калибровки и измерений, гарантируемый институтом потребителям ее метрологических услуг.

На территории Республики Казахстан в нижеприведенных документах прописано о том, что государственные эталоны единиц величин подлежат сличению с эталонами единиц величин Международного бюро мер и весов и национальными эталонами единиц величин других государств:

Закон РК «Об обеспечении единства измерений» (Статья 10);

Правила создания, утверждения, хранения, применения и сличения государственных эталонов единиц величин и эталонов единиц величин субъектов аккредитации, утвержденные приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан №927 от 27.12.2018 года (глава 5);

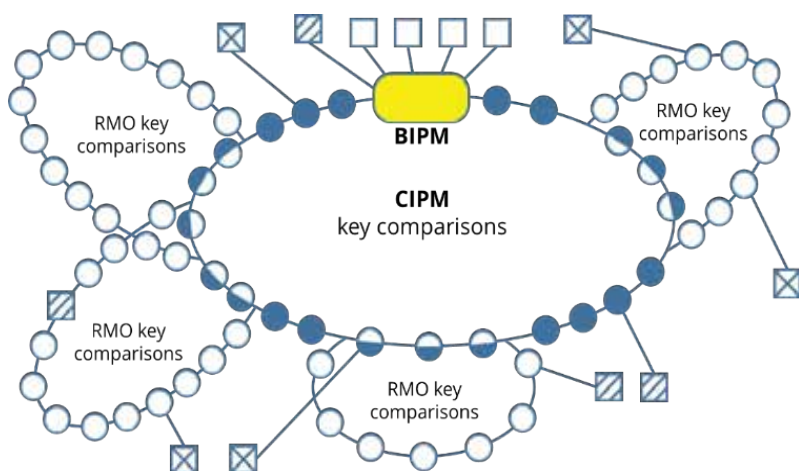
СТ РК 2.431 «Порядок создания, утверждения, регистрации, сличений, калибровки, хранения, применения, исследования, совершенствования (модернизации) государственных

эталонов единиц величин, эталонов единиц величин и передачи размера единиц величин от государственных эталонов единиц величин» (9 раздел).

Порядок проведения международных сличений и опубликования СМС-строк на базе KCDB регламентируются в документах BIPM «Measurement comparisons in the CIPM MRA. Guidelines for organizing, participating and reporting CIPM MRA-G-11» и «Calibration and measurement capabilities in the context of the CIPM MRA. Guidelines for their review, acceptance and maintenance CIPM MRA-G-13».

НМИ может принять участие в международных сличениях в рамках Региональных метрологических организаций и Консультативных Комитетов BIPM по видам измерений. Также по соглашению НМИ могут проводить двухсторонние сличения эталонов единиц величин (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Иллюстрация участия НМИ в сличениях



1.1.1 Виды сличений

Существуют базовые и основные три категории сличений:

- ключевые и дополнительные сличения Международного Бюро мер и весов;
- ключевые и дополнительные сличения Региональных

– пилотные сличения.

Рисунок 1.3 – Сравнительная таблица сличений

Матрица	Система CRM		Система PMS		Платформа
	Базовый	Дополнительный	Базовый	Дополнительный	
Цель	Позволяет повысить эффективность работы	Дополняет функционал базовых систем	Позволяет автоматизировать процессы	Дополняет функционал базовых систем	Внедрение платформы для автоматизации процессов работы с клиентами
Срок внедрения	не менее 3-х лет		3-5 лет		3-5 лет
Внедрение и поддержка	Система должна быть простой в использовании		Система должна быть простой в использовании		Система должна быть простой в использовании
Гибкость	Система должна быть гибкой		Система должна быть гибкой		Система должна быть гибкой
Интеграция	Система должна быть интегрирована с другими системами		Система должна быть интегрирована с другими системами		Система должна быть интегрирована с другими системами
Безопасность	Система должна быть безопасной		Система должна быть безопасной		Система должна быть безопасной
Поддержка	Система должна быть поддерживаемой		Система должна быть поддерживаемой		Система должна быть поддерживаемой
Масштабирование	Система должна быть масштабируемой		Система должна быть масштабируемой		Система должна быть масштабируемой
Мониторинг	Система должна быть мониторимой		Система должна быть мониторимой		Система должна быть мониторимой
Обучение	Система должна быть обучаемой		Система должна быть обучаемой		Система должна быть обучаемой

Порядок участия в сличениях и опубликование СМС-строк состоит из следующих этапов:

обсуждение темы сличений на Техническом Комитете РМО;

подготовка пилотом формуляра сличений на основании предложений от участников;

регистрация темы сличений в РМО/ ВРМ;

подготовка технического протокола сличений пилотом и
согласование с участниками;

подготовка пилотом объекта сличений и передача его участникам;

проведение измерений объекта сличений участниками

согласно Техническому протоколу и направление результатов пилоту;

обработка результатов измерений пилотом, подготовка отчета Draft A и Draft B и согласование с участниками;

направление проекта окончательного отчета на рассмотрение в BIPM;

подготовка участниками проекта СМС-строк и направление на экспертизу в BIPM;

опубликование на базе данных KCDB.

База данных СМС-строк BIPM представляет собой очень важный международный документ, обеспечивающий доверие к измерениям, которые являются важной предпосылкой в международной торговле и облегчает почти каждое затруднение в индустриальном мире.

Повышение количества СМС-строк Республики Казахстан в перечне BIPM служит драйвером экономики страны, поскольку подтверждает измерительные и калибровочные возможности метрологических ресурсов нашего государства для внутренних и международных игр.

Международные сличения государственных эталонов единицы длины

Международные сличения – это подтверждение измерительных и калибровочных возможностей национальных метрологических институтов.

Международному сличению подвергаются национальные (государственные) эталоны, предназначенные для воспроизведения, хранения и (или) передачи размера физической величины, ее кратных или дольных значений. Решение о необходимости проведения сличения принимает государство, владелец эталона (пилот) с учетом рекомендаций международных и (или) региональных организаций по метрологии. Сличения являются обязательной составной частью работ по исследованию национального эталона и определению размера воспроизводимой им единицы, предпочтительно Международной системы единиц. Сличению, как правило, подлежат эталоны одинакового уровня

точности. Сличения эталонов осуществляют посредством транспортируемого эталона сравнения (объект сличений), а в случае его отсутствия выбирается средство сличений по согласию государств-участников сличений. Эталон сравнения (объект сличений) должен удовлетворять требованиям стабильности. Сличения эталонов могут быть круговыми, радиальными или комбинированными. Выбор вида сличения (круговые или радиальные) проводят в зависимости от стабильности эталона сравнения (объект сличений).

Международные сличения эталонов, проводятся под эгидой Консультативных комитетов (КК) Международного комитета по мерам и весам (МКМВ) и региональных метрологических организаций. Они являются юридической основой признания эквивалентности сличаемых эталонов и, соответственно, правильности измерений и сертификационных испытаний в странах участниках сличений.

Под эквивалентностью эталонов понимают равенство эталонов для практических целей по их значению или значимости. Эквивалентность эталонов не подразумевает их идентичность. Степень эквивалентности двух национальных эталонов – это степень, с которой два национальных эталона метрологических институтов совпадают друг с другом по значению единицы, воспроизводимой эталоном.

В международных сличениях пилотом сличений разрабатывается технический протокол, который имеет разделы такие как:

- описание проекта;
- цель проекта;
- участники сличений;
- организация сличений (схема проведения сличений, график сличений);
- объект сличений, используемый при сличениях;
- методика выполнения измерений;
- форма предоставления результатов измерений.

Приводим пример сличений одного из эталонов геометрических величин.

Ключевые/дополнительные сличения эталонов из об-

ласти параметров текстуры поверхности.

Любая, обработанная даже тщательнейшим образом поверхность детали, не может быть полностью идеально ровной. Значение гладкости и ровности поверхности детали в любом случае будет отличаться от заданного чертежом значения, т.е. от номинального значения. Получение параметров поверхности осуществляются профилометрами. Для калибровки профилометров применяются эталонные меры шероховатости (одноштриховые, многштриховые). С целью оценки калибровочных и измерительных возможностей и установления степени эквивалентности национальных эталонов проводятся сличения мерами шероховатости.

Цель сличений: установление степени эквивалентности национальных эталонов.

Схема проведения сличений: круговые.

Принцип сличения: Участники сличения производят на своих национальных эталонах измерения мер текстуры поверхности на одном и том же участке. По полученным результатам для каждой меры вычисляются:

опорное значение;

расширенная неопределенность опорного значения;

степень эквивалентности эталонов.

Участники сличений приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

№	Страна / Национальный метрологический институт	Контактное лицо/адрес
1.	Лаборатория 1	Ф.И.О. ответственного за эталон Должность Адрес: Тел.: e-mail:
2.	Лаборатория 2	Ф.И.О. ответственного за эталон Должность Адрес: Тел.: e-mail:

3.	Лаборатория 3	Ф.И.О. ответственного за эталон Должность Адрес: Тел.: e-mail:
----	---------------	---

Объект сличений, используемый при сличениях.

Для проведения работ были использованы две меры – ПРО-10 с номиналом Ra 1 мкм и образец сравнения технической поверхности (плоское шлифование ШП) с номиналом Ra 0,1 мкм. Общий вид мер и расположение зон измерений представлен на рисунке 1.4.

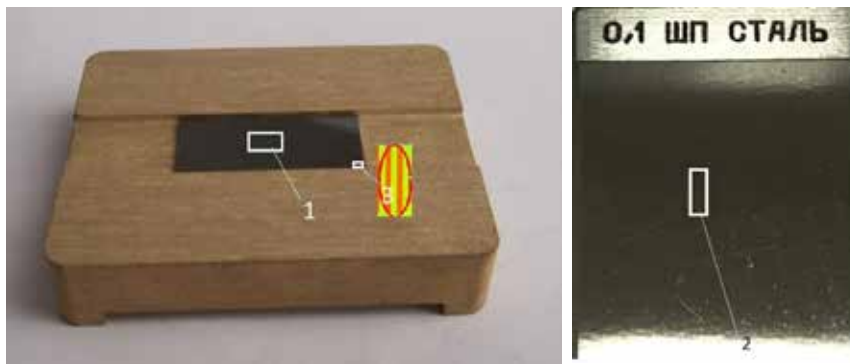
Условия внешней среды при проведении сличений

Условия внешней среды, при которых проводились измерения мер, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Наименование характеристики	Условия, при которых допускаются измерения, согласно протоколу сличений
Температура окружающего воздуха, °C	20±1
Относительная влажность воздуха, %	от 40 до 50
Изменение температуры воздуха, °C/ч, не более	1,0

Рисунок 1.4 – Общий вид мер и расположение зон измерения



а) Мера ПРО-10

*б) Образец сравнения
шлифование плоское*

Методика проведения измерений

Для проведения измерений на каждой мере была выбрана средняя зона размером 5×4 мм. Для измерений глубины отдельной неровности (риски) на мере ПРО-010 была выбрана зона, расположенная в правом нижнем углу меры размером 0,9×0,9 мм, а для дальнейшего анализа выбирался участок размером 0,7×1,2 мм.

На мерах проводились измерения, соответственно на зонах 1 и 2, по десять измерений, размер площадки 0,9×0,9 мм, равномерно расположенных по полю зоны и без перекрытия, а в зоне 3 однократное измерение. Для каждого измерения (в зонах 1 и 2) при помощи программы проводился расчет топографического параметра S_a , далее конвертация полученных результатов в серии профилей и расчет профильных параметров (R_a). Для каждой зоны было рассчитано среднее значение параметра и СКО. Результат измерения зоны 3 также был загружен в программу, проведена конвертация в серию профилей и рассчитан параметр глубины риски в соответствии с ISO 5436-1, рассчитано среднее значение параметра и СКО.

Предоставление результатов измерений

Типы прибора и датчика, входящих в состав эталона приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Лаборатория	Тип датчика	Размер измеряемой площадки, мм
Лаборатория 1	Калиброванный пьезопровод	0,9×0,9
Лаборатория 2	На базе фазового шкального интерферометра	0,9×0,9
Лаборатория 3	Щуповой, на базе фазового шкального интерферометра	0,9×0,9

Математическая модель измерений

Значение высотного параметра поверхности рассчитывается по формуле:

$$Y = X_u + \delta_{RS} + \delta_s + \delta_{str} + \delta_{FR} + \delta_R + \delta_L + \delta_C \quad (1.1)$$

где Y – высота элемента поверхности, мкм;
 X_u – среднее арифметическое значение результатов измерений, мкм;
 δ_{RS} – поправка на эффект не учета радиуса щупа при расчете (для щуповых приборов);
 δ_s – неопределенность меры (СКО среднего), мкм;
 δ_{str} – поправка на отклонение от прямолинейности направляющей (для щуповых приборов);
 δ_{FR} – поправка на повторяемость системы, мкм;
 δ_R – поправка на разрешающую способность системы, мкм;
 δ_L – поправка на нелинейность пьезопривода/датчика, мкм;
 δ_C – поправка на калибровочную меру, мкм.

Результаты измерений

Результаты измерений мер на национальных эталонах показаны в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Мера	Параметр	Полученное значение, мкм			Декларируемая суммарная стандартная неопределенность, мкм		
		Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3	Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3
ПРО-10 зона 1	Sa	1,024	1,035	1,054	0,0075	0,0075	0,009
	Ra	1,014	1,027	1,043	0,007	0,0075	0,009
ШП 0,1 зона 2	Sa	0,131	0,150	0,125	0,01	0,009	0,009
	Ra	0,098	0,121	0,098	0,008	0,0075	0,009
ПРО-10 зона 3	h (глубина риски)	2,207	2,210	2,210	0,007	0,007	0,009

Проверка результатов измерений по E_n - критерию

Для проверки внутренней плотности между результатами отдельных измерений был использован E_n – критерий. Для $k=2$, $|E_n| \leq 1$.

$$E_n = \frac{1}{k} \cdot \frac{x_j - x_{ref}}{\sqrt{u_j^2 - u_{ref}^2}}, \quad (1.2)$$

$$x_{ref} = \frac{\sum_{j=1}^n p_j \cdot x_j}{\sum_{j=1}^n p_j}, \quad (1.3)$$

$$u_{ref} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_j^2}}}, \quad (1.4)$$

$$p_j = \frac{1}{u_j^2}, \quad (1.5)$$

где x_j , – результат измерений лаборатории с номером j ;
 u_j – стандартная неопределенность, заявленная лабораторией с номером j ;

p_j – вес результата измерений лаборатории с номером j ;

x_{ref} – опорное значение (среднее взвешенное) сличений;

u_{ref} – стандартная неопределенность опорного значения;

n – число участников сличений.

Значение E_n – критерия для меры ПРО-10 (параметр Sa) представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Наименование характеристики	Аббревиатура лаборатории		
	Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3
Результат измерений лаборатории x_j , мкм	1,024	1,035	1,054
Суммарная стандартная неопределенность, заявленная лабораторией u_j , мкм	0,0075	0,0075	0,009
Опорное значение (среднее взвешенное) сличений x_{ref} , мкм	1,036		
Стандартная неопределенность опорного значения u_{ref} , мкм	0,0046		
Значение критерия E_n	-0,68	-0,05	0,9

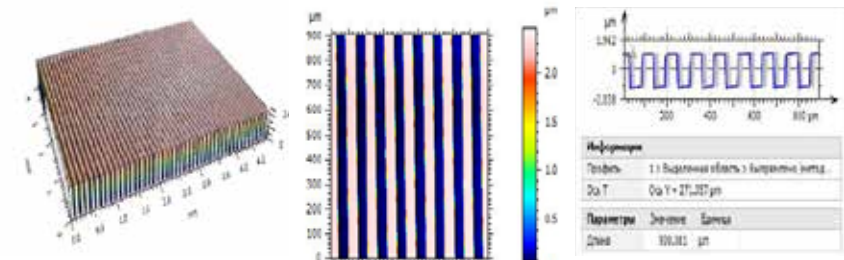
Значения E_n – критерия для меры ПРО-10 (параметр Ra), представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Наименование характеристики	Аббревиатура лаборатории		
	Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3
Результат измерений лаборатории x_j , мкм	1,014	1,027	1,043
Суммарная стандартная неопределенность, заявленная лабораторией u_j , мкм	0,007	0,0075	0,009
Опорное значение (среднее взвешенное) сличений x_{ref} , мкм	1,026		
Стандартная неопределенность опорного значения u_{ref} , мкм	0,0045		
Значение критерия E_n	-0,71	0,08	0,87

Измеренная текстура поверхности меры ПРО-10 в 3D формате показана на рисунке 1.5.

Рисунок 1.5 – Измеренная текстура поверхности меры ПРО-10 в 3D формате



Значения E_n – критерия для меры ШП (параметр Sa), представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Наименование характеристики	Аббревиатура лаборатории		
	Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3
Результат измерений лаборатории x_j , мкм	0,131	0,150	0,125
Суммарная стандартная неопределенность, заявленная лабораторией u_j , мкм	0,01	0,009	0,009
Опорное значение (среднее взвешенное) сличений x_{ref} , мкм	0,136		

Стандартная неопределенность опорного значения U_{ref} , мкм	0,0054		
Значение критерия E_n	-0,21	0,69	-0,51

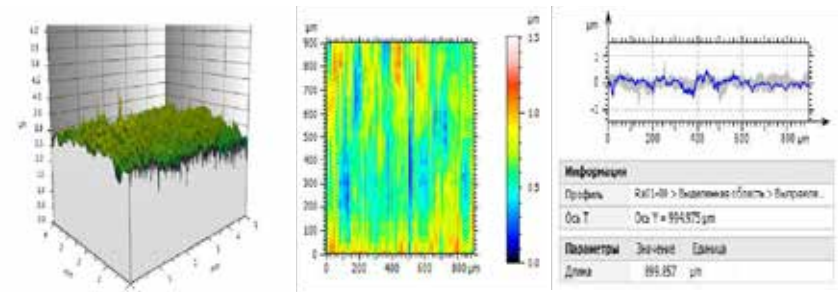
Значения E_n – критерия для меры ШП (параметр Ra), представлены в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Наименование характеристики	Аббревиатура лаборатории		
	Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3
Результат измерений лаборатории x_j , мкм	0,098	0,121	0,098
Суммарная стандартная неопределенность, заявленная лабораторией u_j , мкм	0,008	0,0075	0,009
Опорное значение (среднее взвешенное) сличений x_{ref} , мкм	0,107		
Стандартная неопределенность опорного значения u_{ref} , мкм	0,0047		
Значение критерия E_n	-0,49	0,08	-0,45

Измеренная текстура поверхности меры ШП в 3D формате показана на рисунке 1.6.

Рисунок 1.6 – Измеренная текстура поверхности меры ШП в 3D формате

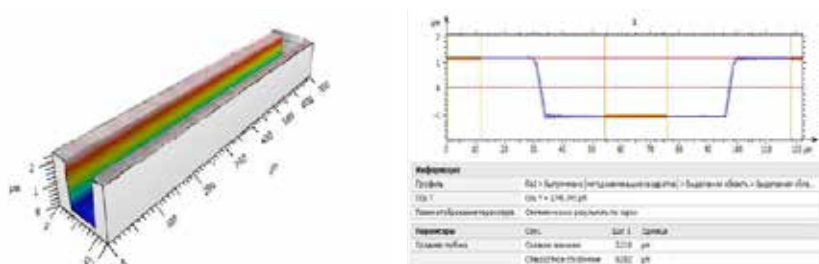


Значения E_n – критерия для одноштриховой меры (ПРО-10, зона 3), представлены в таблице 1.9. Измеренная текстура поверхности одноштриховой меры ПРО-10 в 3D формате показана на рисунке 1.7.

Таблица 1.9

Наименование характеристики	Аббревиатура лаборатории		
	Лаборатория 1	Лаборатория 2	Лаборатория 3
Результат измерений лаборатории x_j , мкм	2,207	2,210	2,210
Суммарная стандартная неопределенность, заявленная лабораторией u_j , мкм	0,007	0,007	0,009
Опорное значение (среднее взвешенное) сличений x_{ref} , мкм	2,209		
Стандартная неопределенность опорного значения u_{ref} , мкм	0,0044		
Значение критерия E_n	-0,12	0,07	0,06

Рисунок 1.7 – Измеренная текстура поверхности одноштриховой меры ПРО-10 в 3D формате



Все значения критерия E_n для мер у участников сличений ниже установленного уровня $|E_n| \leq 1$.

Выводы

Результаты сличений свидетельствуют о соответствии неопределенностей измерений заявленным значениям.

Сличаемые эталоны эквивалентны.

Результаты проведенных сличений эталонов единицы длины в области измерений параметров текстуры поверхности Лаборатории 1, Лаборатории 2 и Лаборатории 3 могут быть признаны положительными.

Международные сличения государственных эталонов единицы массы

Целью международных сличений государственных эталонов единицы массы является проведение ключевых сличений в области кратных и дольных единиц килограмма [4] с целью установления степени эквивалентности национальных

эталонов в области массы и обеспечения возможности публикации СМС-строк [5] в базе данных Международного Бюро мер и весов.

Государственный первичный эталон стран-участников сличений представляет собой гирию, изготовленную из платино-иридиевого сплава или нержавеющей стали, с известной номинальной массой. Вторичные эталоны, предназначенные для передачи единицы массы, средствам измерения массы, представляют собой гири, изготовленные из нержавеющей стали. Прослеживаемость единицы массы с высокой точностью реализуется в диапазоне с 1 мг до 20 кг. Цель ключевых сличений заключается в том, чтобы проверить калибровочные и измерительные возможности (СМС) НМИ стран-участниц участников в области измерения массы.

Предполагается сравнить массу каждой гири (действительное значение) и расширенной неопределенности этого значения. В качестве опорного значения будет использоваться средневзвешенное значение массы, полученное по результатам всех участников (CRV). В качестве лабораторий связи будут выступать лаборатории массы, которые принимали участие в ключевых сличениях ССМ: ССМ.М1-К1 и ССМ.М5-К1.

Все манипуляции с гирями должны быть выполнены с помощью пинцетов или других подходящих аксессуаров. Необходимо избегать касания поверхности гирь голыми руками.

Во время пребывания эталонов сравнения в лаборатории, когда не выполняются измерения – гири должны храниться в месте, защищенном от пыли, влаги и выпадения конденсата, например под стеклянным колпаком.

Температурная стабилизация: перед выполнением измерений гири должны быть выдержаны в нормальных условиях достаточных для их температурной стабилизации (не менее 5 дней со дня прибытия).

Измерения выполняются методом замещения (Борда). Выполняется не менее 3 серий по 6 АВВА либо АВВВ циклов. Масса гири должна быть определена с максимально возможной точностью.

Поправка на выталкивающую силу обязательна. Плотность воздуха может определяться с помощью формулы СИРМ 1981/91 или аппроксимационной формулы. В отчете по сличениям участник сличений должен указать какая формула использовалась.

Для оценки значения массы исследуемой гири (эталоны сравнения) должно производиться ее сравнение с помощью компаратора с исходной эталонной гирей или с суммой эталонных гирь. Оценка действительной массы выполняется согласно:

$$m_X = m_R + \overline{\Delta m}, \quad (1.6)$$

где m_R – масса исходной гири или суммы исходных гирь.

За результат сличения гирь принимают среднее арифметическое из n результатов сравнения гирь с индексами «X» и «R», каждое из которых выполнено по циклу ABBA.

$$\overline{\Delta m} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta m_i. \quad (1.7)$$

В каждый результат сравнения вводят поправку на выталкивающую силу воздуха:

$$\Delta m_i = \Delta m_{w_i} + \rho_{a_i} (V_X - V_R), \quad (1.8)$$

где Δm_{w_i} – исправленная разность показаний исследуемой и исходной гири, которая определяется по формуле:

$$\Delta m_{w_i} = \Delta I_i (1 - \rho_0 / \rho_c) \cdot \frac{1 - \rho_{a,adj} / \rho_{adj}}{1 - \rho_0 / \rho_{adj}}. \quad (1.9)$$

При выполнении условия $\Delta I < 3000d$ (d – дискретность отсчета компаратора) можно принять:

$$\Delta m_{w_i} = \Delta I_i. \quad (1.10)$$

Для весов с ценой деления λ :

$$\Delta m_{w_i} = \Delta I_i \cdot \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s} \right), \quad (1.11)$$

$$\lambda = \frac{m_s}{I(m_R + m_s) - I(m_R)} - \text{цена деления весов.} \quad (1.12)$$

$$\Delta I_i = \frac{1}{2} (I_{X1_i} - I_{R1_i} - I_{R2_i} + I_{X2_i}). \quad (1.13)$$

Неопределенности типа А из n циклов взвешивания определяется по формуле:

$$u_A^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta m_i - \overline{\Delta m})^2. \quad (1.14)$$

Неопределенности типа В оценивается по формуле:

$$u_B^2 = u_{m_R}^2 + u_b^2 + u_{\Delta m_W}^2, \quad (1.15)$$

где $u_{m_R} = \sqrt{\left(\frac{U_R}{k} \right)^2 + u_{inst}^2}$ - составляющая неопределенности, обусловленная исходной гирей;

u_b - составляющая неопределенности, обусловленная погрешностью поправки на выталкивающую силу;

$u_{\Delta m_W}$ - составляющая неопределенности, обусловленная процессом взвешивания.

Составляющая неопределенности, обусловленная погрешностью поправки на выталкивающую силу, включает в

себя составляющую, обусловленную значением плотности воздуха u_{ρ_a} и составляющие, обусловленные неопределенностями объема (плотности) исследуемой и исходной гирь.

Неопределенность, обусловленная погрешностью поправки на выталкивающую силу, для действительного значения массы может быть определена по формуле:

$$u_b^2 = (V_X - V_R)^2 \cdot u_{\rho_a}^2 + \rho_a^2 \cdot (u_{V_X}^2 + u_{V_R}^2), \quad (1.16)$$

или:

$$u_b^2 = \left(m_R \cdot \frac{\rho_R - \rho_X}{\rho_R \rho_X} u_{\rho_a} \right)^2 + (m_R \rho_a)^2 \cdot \left(\frac{u_{\rho_X}^2}{\rho_X^4} - \frac{u_{\rho_R}^2}{\rho_R^2} \right). \quad (1.17)$$

Неопределенность плотности воздуха u_{ρ_a} вычисляется по формуле С.6.3-3 OIML R 111.

Составляющая неопределенности, обусловленная процессом взвешивания вычисляется по формуле:

$$u_{\Delta m_W}^2 = \left[\frac{(1 - \rho_A / \rho_S)}{I(m_0 + m_S) - I(m_0)} \right]^2 \cdot (\overline{\Delta I} \cdot u_{m_S})^2 \quad (1.18)$$

или:

$$u_{\Delta m_W}^2 = \left(\overline{\Delta I} \cdot \frac{u_{adj}}{c_{adj}} \right)^2. \quad (1.19)$$

Как правило, для компаратора, построенного на принципе электромагнитной компенсации

$$u_{adj} / c_{adj} \leq 5 \cdot 10^{-4}.$$

Суммарная стандартная неопределенность u_c :

$$u_c(m_X) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (1.20)$$

Расширенная неопределенность U для измерений массы обычно коэффициент охвата $k = 2$, расширенная неопределенность вычисляется по формуле:

$$U = 2 \cdot u_c(m_X) \quad (1.21)$$

Для проверки обоснованности выбора коэффициента охвата вычисляется эффективная степень свободы ν_{eff} :

$$\nu_{eff} = (n-1) \frac{u_c^4(m_X)}{u_A^4}. \quad (1.22)$$

В случае если эффективная степень свободы меньше 50, то коэффициент охвата должен быть выбран из таблицы 1.10.

Таблица 1.10 – Таблица распределения Стьюдента

Распределение Стьюдента		Распределение Стьюдента		Распределение Стьюдента	
1	12,7060	15	2,1314	29	2,0452
2	4,3020	16	2,1190	30	2,0423
3	3,1820	17	2,1098	32	2,0360
4	2,7760	18	2,1009	34	2,0322
5	2,5700	19	2,0930	36	2,0281
6	2,4460	20	2,0860	38	2,0244
7	2,3646	21	2,0790	40	2,0211
8	2,3060	22	2,0739	42	2,0180
9	2,2622	23	2,0687	44	2,0154
10	2,2281	24	2,0639	46	2,0129
11	2,2010	25	2,0595	48	2,0106
12	2,1788	26	2,0590	50	2,0086
13	2,1604	27	2,0518	51	2,0000
14	2,1448	28	2,0484		

Обозначения:

X – индекс, обозначающий исследуемую гирю;

R – индекс, обозначающий исходную эталонную гирю;

m_X – масса исследуемой гири;

m_R – масса исходной эталонной гири;

$\overline{\Delta m}$ – разность масс исследуемой и исходной эталонных гирь;

Δm_W – результат сравнения исследуемой и исходной эталонных гирь в воздухе;

ΔI – разность показаний весов при сравнении гирь;

m_S – масса гири для определения чувствительности весов;

ρ_a – плотность воздуха;

V_R – объем исходной эталонной гири;

V_X – объем исследуемой гири;

u_c – стандартная неопределенность (1σ), индекс «с» обозначает суммарную неопределенность;

u_A – стандартная неопределенность по типу А;

U_R – расширенная неопределенность исходной гири;

u_{inst} – стандартная неопределенность, обусловленная нестабильностью исходной гири.

Международные сличения государственных эталонов единицы времени и частоты

Государственный первичный эталон времени и частоты (далее – ГПЭВЧ) наряду с 80 ведущими лабораториями мира принимает постоянное участие в формировании Международной шкалы атомного времени, а также имеет зарегистрированные строки измерительных и калибровочных возможностей в Международном бюро мер и весов.

Участие в сличениях

Данные о ведении национальной шкалы времени ежемесячно публикуются в бюллетене Международного Бюро

Мер и Весов (Circular T, UTC rapid). Эталон времени и частоты за отчетный период участвовал в международных ключевых сличениях по теме: «CCTF-K001.UTC Calculation of the reference time scale UTC» (Расчет эталонной шкалы времени UTC).

Измерительная информация ГЭВЧ, передаваемая в ВРМ, включает в себя несколько информационных потоков предназначенных для формирования UTC и UTCr:

- данные о смещениях шкал времени СЧВВ из состава ГЭВЧ относительно национальной шкалы времени UTC(KZ);
- данные о смещениях шкал времени ГНСС ГЛОНАСС и GPS относительно национальной шкалы времени UTC(KZ).

Рисунок 1.13 – Внешний вид ГЭВЧ-2021



Таким образом обеспечивается:

- участие ГЭВЧ в международных Ключевых Сличениях;
- вклад в формирование шкал времени UTC, UTCr;
- прослеживаемость национальной шкалы времени UTC(KZ) к UTC.

Ниже представлены результаты международных Ключевых Сличений, опубликованные в циркулярах ВРМ «Т» №№ 402÷410 (рисунки 1.14, 1.15).

Рисунок 1.14 – Смещения шкал координированного времени относительно UTC

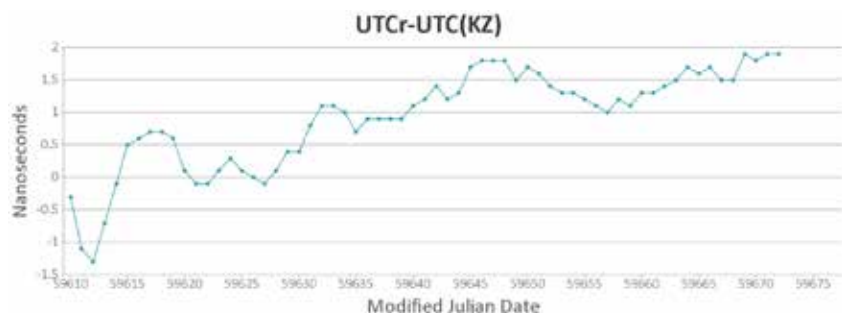
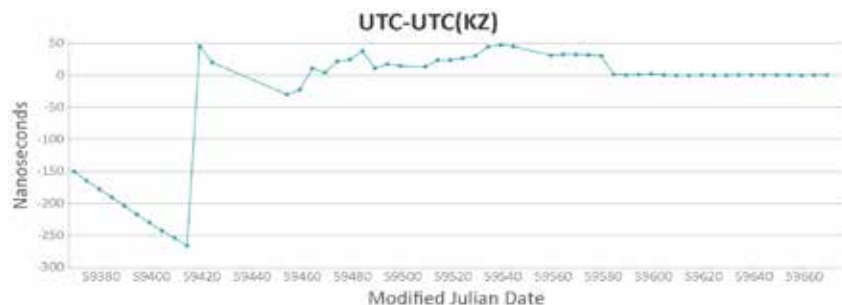


Рисунок 1.15 – Смещения шкал координированного времени относительно UTCr



Национальные шкалы времени UTC(KZ) по своим характеристикам находятся на уровне шкал времени ведущих зарубежных лабораторий.

Декларирование СМС

Лаборатория времени и частоты зарегистрирована в Базе Данных Ключевых Сличений (KCDB). Опубликована 21 строка калибровочных и измерительных возможностей (СМС) ГЭВЧ, признание которой подтверждает измерительные возможности ГЭВЧ РК, обеспечивая доказательную базу, которая является инструментом подтверждения технических характеристик продукции.

По результатам ежемесячной публикации Департамента времени ВРМ (Circular T и UTCr) на сегодняшний день поведение национальной шкалы UTC(KZ) относительно UTC составляет ± 2 нс, что точнее чем ± 2500 нс от прежней шкалы

ГЭВЧ-2007 (состояние UTC(KZ) до модернизации) и является одним из высших показателей из 80 лаборатории мира, участвующих в международных ключевых сличений по теме «CCTF-K001.UTC Calculation of the reference time scale UTC» (Расчет эталонной шкалы времени UTC) (рисунки 1.9, 1.10).

Рисунок 1.9 – Нестабильность частоты UTC(KZ)

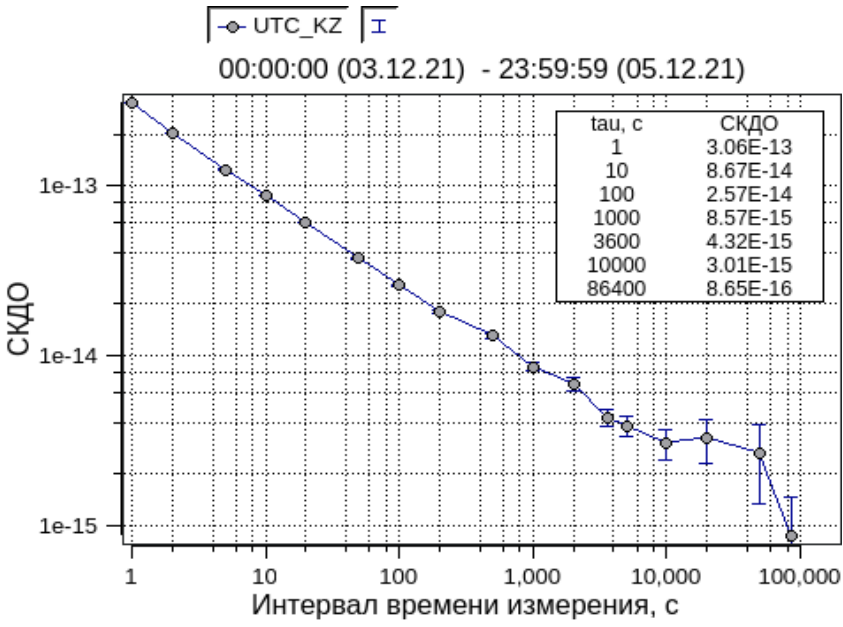
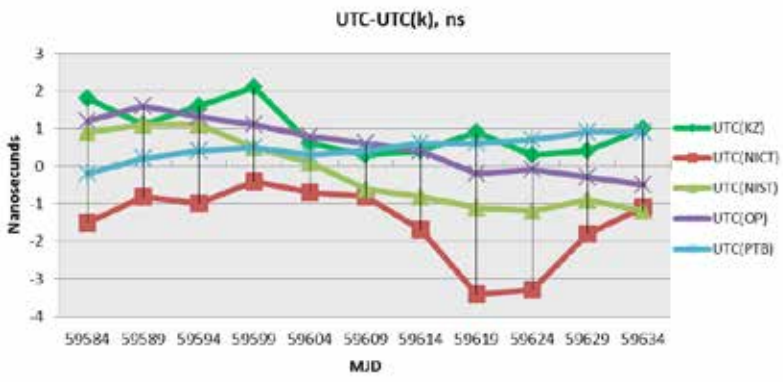


Рисунок 1.10 – Поведения национальной шкалы UTC(KZ) относительно UTC



1.2 Поверка средств измерений

Поверка является частью законодательной метрологии.

СИ, являющиеся объектами государственного метрологического контроля, к которым установлены метрологические требования в перечнях измерений, относящихся к государственному регулированию, и нормативных правовых актах, после утверждения их типа или метрологической аттестации и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений перед выпуском в обращение, после ремонта, в период эксплуатации подвергаются поверке.

Согласно определению, поверка СИ – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия СИ обязательным метрологическим требованиям. Простыми словами, поверка – это проверка правильности выполнения измерений прибором, которая подтверждает, что его показания достоверны. Положительные результаты поверки удостоверяются сертификатом и/или клеймом.

Для прохождения процедуры поверки в наличии обязательно нужны государственные и рабочие эталоны единиц, поверочные схемы, специальное техническое оснащение, разработанные методики поверки, подготовленные сотрудники – поверители, а также целый ряд поверочного измерительного оборудования. Реализовать этот процесс довольно сложно, поэтому поверку выполняют НМИ и аккредитованные лаборатории.

Ответственность за ненадлежащее выполнение поверочных работ и несоблюдение требований соответствующих нормативных документов несет метрологическая служба или аккредитованная лаборатория, которой выполнены поверочные работы.

О том, насколько она важна для обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации оборудования, говорит тот факт, что законодательно установлены сферы деятельности, в которых необходимо использовать только поверенное оборудование. Газовая и нефтяная, медицинская и фармакологическая, химическая и строительная промышленности используют приборы, для которых проведение поверки обязательно.

Организация и порядок проведения поверки изложены в стандарте СТ РК 2.4 «Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения».

1.2.1 Понятие и виды поверок

СИ подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

Первичная поверка – поверка нового СИ либо после ремонта, технического обслуживания, регулировки, а также при ввозе СИ из-за границы при продаже.

Периодическая (вторичная) поверка осуществляется в отношении СИ, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняется через межповерочные интервалы времени, установленные для данного СИ.

Внеочередная поверка – поверка СИ, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки. Проводится по инициативе заинтересованного лица (владельца, пользователя и т.д.)

Инспекционная поверка – поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при осуществлении инспекционного контроля за состоянием и применением СИ.

Комплектная поверка – поверка, при которой определяют метрологические характеристики СИ, присущие ему как единому целому.

Поэлементная поверка – поверка, при которой значения метрологических характеристик СИ устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей.

Выборочная поверка – поверка группы СИ, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.

Экспертная поверка – проводится при возникновении разногласий по вопросам исправности СИ, их метрологических характеристик и пригодности СИ к дальнейшему применению.

Обеспечение правильной передачи размера единиц во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством поверочных схем. Поверочная схема – это нормативный документ, который устанавливает соподчинение СИ, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерения с указанием методов и погрешности. Основные положения о поверочных схемах приведены в ГОСТ 8.061-80. Поверочные схемы делятся на государственные и локальные.

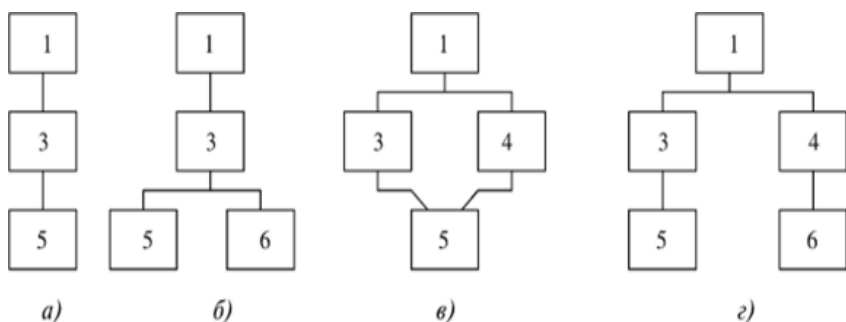
Государственная поверочная схема распространяется на все СИ данной физической величины, имеющиеся в стране. Она разрабатывается в виде государственного стандарта, состоящего из чертежа поверочной схемы и текстовой части, содержащей пояснения к чертежу.

Локальная поверочная схема распространяется на СИ, применяемые в данном регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (организации).

Локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам для СИ одних и тех же физических величин. Они могут быть составлены при отсутствии государственной поверочной схемы. В них допускается указывать конкретные типы (экземпляры) приборов. Локальные поверочные схемы оформляют в виде чертежа.

Поверочная схема устанавливает передачу размера единиц одной или нескольких взаимосвязанных величин. Она должна включать не менее двух ступеней передачи размера. Элементы графического изображения поверочных схем при передаче размера приведены на рисунке 1.23.

Рисунок 1.23 – Элементы графического изображения поверочных схем при передаче размера



а - от эталона 1 к объекту 5 методом 3; б — от эталона 1 к объектам поверки 5 и 6 методом 3; в — от эталона 1 к объекту поверки 5 методом 3 или 4; г — от эталона 1 к объекту поверки 5 методом 3 и к объекту поверки 6 методом 4

Для СИ одной и той же величины, существенно отличающихся по диапазонам измерений, условиям применения и методам поверки, а также для средств измерения несколь-

ких физических величин допускается подразделять на части. На чертежах поверочной схемы должны быть указаны:

- наименования средств измерения и методов поверки;
- номинальные значения физической величины или их диапазоны;
- допускаемые значения погрешностей средств измерения;
- допускаемые значения погрешностей методов поверки.

Методика поверки СИ – описание совокупности операций, выполнение которых позволяет определить и подтвердить соответствие СИ установленным требованиям к метрологическим характеристикам.

Методики поверки СИ разрабатываются в виде национального стандарта, межгосударственного стандарта или стандарта организации и используются для подтверждения соответствия СИ установленным техническим и метрологическим требованиям.

1.3 Калибровка средств измерений

Калибровка является частью промышленной метрологии.

Калибровка СИ – совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик и метрологической пригодности тех СИ, которые применяются вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений.

1.3.1 Понятие и виды калибровки

Процедура калибровки приборов бывает двух типов, а именно:

- первичная калибровка;
- вторичная калибровка.

Первичная калибровка

В соответствии с этой процедурой система калибруется по первичному эталону.

При калибровке расходомеров, если расход определяется посредством измерения времени и объема или массы жидкости, то это называется *первичной калибровкой*.

Вторичная калибровка

В соответствии с этой процедурой устройство, прошедшее первичную калибровку, используется в качестве вторичного эталона для дальнейшей калибровки других устройств меньшей точности.

Расходомер турбинного типа используется в качестве вторичного эталона для калибровки других расходомеров.

Калибровка СИ проводится с применением эталонов единиц величин, соподчиненных государственным эталонам единиц величин, в порядке, определяемом производителем, владельцем или пользователем этих СИ.

Процедура калибровки эталонов единиц величин и СИ проводится ГНМЦ, производителями, владельцами или пользователями СИ, а также калибровочными лабораториями, аккредитованными в соответствии с Законом Республики Казахстан «Об аккредитации в области оценки соответствия».

Результаты калибровки эталонов единиц величин и СИ удостоверяются калибровочным знаком, который наносится на СИ и (или) сертификатом калибровки. В сертификате калибровки приводятся действительные значения метрологических характеристик, метрологическая прослеживаемость измерений, неопределенность результата измерений, и другие сведения в соответствии с требованиями стандарта СТ РК ИСО/МЭК 17025.

Ответственность за состояние СИ, которые проходят калибровку при выпуске из производства, несут производители, при эксплуатации – пользователи и (или) владельцы этих СИ.

Система калибровки – это совокупность субъектов деятельности и калибровочных работ, направленных на обеспечение единства измерений в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и действующих на основе установленных требований к организации и проведению калибровочных работ.

Средства калибровки – эталоны и другие СИ, применяемые при калибровке в соответствии с методиками калибровки.

Методики калибровки СИ – документ, устанавливающий порядок и процедуры проведения калибровки эталона единицы величины или СИ.

Методики калибровки СИ используются для проведения операций по установлению действительных значений метрологических характеристик эталонов единиц величин и СИ, и разрабатываются и утверждаются юридическими лицами, выполняющими калибровку, изготовителями, владельцами и (или) пользователями эталонов единиц величин и СИ.

Функции участников системы калибровки Республики Казахстан

Уполномоченный орган координирует деятельность субъектов СК РК, осуществляя следующие функции:

- координацию деятельности государственных органов, физических и юридических лиц в области обеспечения единства измерений;

- определение порядка создания, утверждения, хранения, применения и сличения государственных эталонов единиц величин и эталонов единиц величин субъектов аккредитации;

- определение порядка обеспечения метрологической прослеживаемости измерений для субъектов аккредитации и юридических лиц при аккредитации.

ГНМЦ осуществляет следующие функции:

- формирует предложения по основным принципам и правилам функционирования СК РК;

- разрабатывает рекомендации по совершенствованию деятельности СТ РК;

- рассматривает проекты нормативных правовых актов в области обеспечения единства измерений, направляет предложения об утверждении или внесении изменений и дополнений в нормативные документы, регламентирующие деятельность СТ РК;

- определяет основные направления в проведении исследований в области калибровки;

- рассматривает и определяет направления международного сотрудничества в области калибровки;

- разрабатывает нормативные документы, регламентирующие калибровочную деятельность в стране;

осуществляет организацию и координацию разработки, метрологической экспертизы методик калибровки СИ;

осуществляет пропаганду и распространение научно-технических знаний в области метрологии, организацию обмена опытом специалистов метрологов, занимающихся калибровочной деятельностью;

осуществляет консультационную деятельность по вопросам СК РК;

осуществляет взаимодействие с калибровочными лабораториями республики и зарубежных стран;

проводит мероприятия по подготовке и повышению квалификации кадров в области калибровочной деятельности;

обеспечивает передачу размеров единиц аккредитованным юридическим лицам, осуществляющим свою деятельность в области обеспечения единства измерений от государственных или международных эталонов единиц величин, путем калибровки эталонов и СИ.

К основным функциям органа по аккредитации согласно законодательству в области аккредитации относятся:

- аккредитация юридических лиц, осуществляющих свою деятельность в области обеспечения единства измерений, и осуществление инспекционных проверок за соблюдением требований к проведению калибровочных работ;

- ведение перечня аккредитованных юридических лиц, осуществляющих свою деятельность в области обеспечения единства измерений, и подготовка для опубликования информации по результатам аккредитации.

К основным функциям аккредитованных калибровочных лабораторий и юридических лиц, в состав которых входят калибровочные лаборатории в СК РК, относятся:

- калибровка СИ, в т.ч. для сторонних организаций;
- разработка методик калибровки СИ.

1.4 Межлабораторные сличительные испытания

Проверка квалификации лабораторий (РТ) относится к процедурам внешнего (третьей стороны) мониторинга качества деятельности по измерениям/испытаниям/ анализам/исследо-

ваниям, которую проводят лаборатории. Согласно положениям международных документов ISO/IEC 17025, ISO 15189, ISO 15193, компетентная лаборатория, при наличии такой возможности, должна периодически участвовать в существующих программах проверки квалификации. Проверка квалификации является дополнительным к внутрилабораторному контролю способом мониторинга и подтверждения качества деятельности лаборатории.

Ответственность за проведение проверки квалификации несут Провайдеры проверки квалификации. Деятельность провайдеров по организации и проведению программ проверки квалификации и требования к их системе качества регулируется международным документом ISO/IEC 17043.

Основным инструментом проведения проверок квалификации являются межлабораторные сличения.

Межлабораторные сличения (далее – МЛС) – организация, выполнение и оценивание измерений или испытаний одного и того же или нескольких подобных образцов двумя или более лабораториями в соответствии с заранее установленными условиями.

Межлабораторные сличения – это универсальный инструмент, с помощью которого можно решать много задач, основными из которых являются:

- 1) проверка квалификации;
- 2) валидация методик измерений;
- 3) сертификация стандартных образцов;
- 4) ключевые сличения национальных эталонов.

Межлабораторные сличения широко используются для ряда задач и находят все большее применение на международном уровне. Задачами межлабораторных сличений являются:

оценка характеристик функционирования лабораторий по проведению определенных испытаний или измерений и постоянный мониторинг за ними;

выявление проблем в лабораториях, связанных, например, с применением неправильных процедур измерений или испытаний, недостаточной эффективностью обучения и управления персоналом или некорректной калибровкой оборудования, и их устранение;

установление эффективности и сравнимости методов испытаний;

обеспечение дополнительного доверия у заказчиков лаборатории;

выявление различий между лабораториями;

обучение участвующих лабораторий, основанное на результатах сличений;

подтверждение заявленной неопределенности.

Необходимость в постоянном доверии к качеству работы лаборатории важна не только для лабораторий и их заказчиков, но также и для других заинтересованных сторон, таких как инспектирующие организации, органы по аккредитации лабораторий и другие организации, которые устанавливают требования к лабораториям. Для аккредитованных лабораторий участие в МЛС является неотъемлемой частью подтверждения технической компетентности в Системе аккредитации Республики Казахстан. СТБ ISO/IEC 17011-2008 «Оценка соответствия. Требования к органам по аккредитации органов по оценке соответствия» предъявляет к органам по аккредитации требование принимать во внимание участие лабораторий в проверке квалификации и полученные при такой проверке характеристики функционирования.

Проверки квалификации реализуются через программы проверки квалификации, которые могут разрабатываться и реализовываться за один или несколько туров в определенной области испытаний, измерений, поверки/калибровки или контроля. Характеристики функционирования результатов участников проверки квалификации определяются на основании анализа полученных данных и применения статистических методов, изложенных в ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 (Приложение В) и СТБ ISO 13528-2011 «Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons» (Статистические методы, применяемые при проверке квалификации лабораторий посредством межлабораторных сличений).

СТБ ISO 13528-2011 является дополнением к ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 и обеспечивает детальное руководство по применению статистических методов при проверке квалификации лабораторий.

Глава 2

Реестр государственной системы обеспечения единства измерений

В соответствии со статьей 1 Закона Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» (далее – Закон), реестр государственной системы обеспечения единства измерений Республики Казахстан – это документ учета регистрации объектов, участников работ и документов в области обеспечения единства измерений.

В соответствии со статьями 6-4 Закона Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» уполномоченный орган Комитет технического регулирования и метрологии МТИ РК (далее - Комитет) определяет порядок ведения реестра государственной системы обеспечения единства измерений Республики Казахстан (далее – реестр ГСИ РК).

Ведение реестра ГСИ РК осуществляется согласно «Правилам ведения реестра государственной системы обеспечения единства измерений» (утверждены Приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан № 929 от 27 декабря 2018 года).

Комитет организует ведение реестра ГСИ РК по следующим разделам:

- «Государственные эталоны единиц величин»;
- «Утвержденные типы средств измерений»;
- «Средства измерений, прошедшие метрологическую аттестацию»;
- «Утвержденные типы стандартных образцов»;
- «Методики поверки средств измерений»;
- «Методика выполнения измерений»;
- «Ученые-хранители государственных эталонов единиц величин»;
- «Поверители средств измерений».

Реестр ГСИ РК является источником официальной инфор-

мации. На базе сведений, содержащихся в реестре ГСИ РК, осуществляется информационное обслуживание заинтересованных государственных органов управления, физических и юридических лиц, в том числе зарубежных стран.

В целях наиболее полного и оперативного обслуживания информация из реестра ГСИ РК размещается на веб-портале с возможностью свободного доступа к данным реестра, имеющих информационный характер.

В разделе «Государственные эталоны единиц величин» метрологические службы могут просматривать характеристики эталонов для обеспечения поверкой и калибровкой, для анализа метрологической обеспеченности имеющихся исходных эталонов.

Информация о наличии СИ в реестре ГСИ РК необходима для поставщиков и пользователей СИ для выполнения требований Закона.

Информация из реестра облегчает работу метрологических служб, аккредитованных на право поверки, для соблюдения п.1 ст. 19 Закона, получать информацию о межповерочном интервале СИ, установленном при внесении в реестр ГСИ РК.

Методики поверки СИ используются для определения и подтверждения соответствия СИ установленным техническим и метрологическим требованиям и подлежат обязательной регистрации в реестре ГСИ РК. Утвержденными и зарегистрированными в реестре ГСИ РК методиками поверки пользуются метрологические службы для поверки поступающих на поверку СИ.

В реестре ГСИ РК отражается информация о признании первичной поверки СИ проведенной за пределами республики.

Стандартные образцы, зарегистрированные в реестре ГСИ РК, используются при испытаниях для целей утверждения типа, метрологической аттестации и поверки СИ. Кроме того, стандартные образцы используются при осуществлении внутреннего контроля качества в лабораториях, при калибровке, градуировке, настройке СИ, проведении межлабораторных сравнительных испытаний и т.д.

Разделы «Утвержденные типы средств измерений», «Ут-

вержденные типы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов» и «Средства измерений, прошедшие метрологическую аттестацию» содержат информацию о метрологических характеристиках (диапазон измерений, погрешность и т.д.), что позволяет потребителям ориентироваться при выборе необходимых СИ и стандартных образцов.

МВИ разрабатываются и применяются с целью обеспечения выполнения измерений с погрешностью, не превышающей требуемой приписанной характеристики.

МВИ, применяемые в сферах осуществления государственного метрологического контроля, подлежат обязательной метрологической аттестации и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений.

Разделы реестра ГСИ РК «Поверители средств измерений», «Ученые-хранители государственных эталонов единиц величин» позволяют получить информацию о наличии у специалистов в сфере метрологии соответствующей квалификации, позволяющей проводить конкретные виды метрологических работ (поверку СИ, метрологическую экспертизу технической документации, метрологическую аттестацию методик выполнения измерений, выполнение работ по обслуживанию и эксплуатации государственных эталонов и др.), информацию об общем количестве аттестованных поверителей в области обеспечения единства измерений в республике; позволяют производить поиск специалистов по поверке конкретных видов измерений или осуществлению определенных видов метрологических работ, поиск специалистов по конкретным предприятиям или регионам республики.

Информация, указанная в реестре ГСИ РК, представляет интерес для метрологических служб предприятий, аккредитованных поверочных лабораторий, пользователей СИ, органов, осуществляющих государственный метрологический контроль.

Программа реестра ГСИ РК позволяет работать с базой данных реестра ГСИ РК по разделам, с помощью которой можно осуществлять поиск по необходимым полям. Функция поиска данных необходима для более оперативного поиска одной записи или группы записей в соответствующих полях.

В целом программа удобна для целей получения информации об объектах реестра.

2.1 Порядок утверждения типа средств измерений

СИ являются важными объектами государственного метрологического контроля в Республике Казахстан. Перед выпуском в обращение, эти средства подлежат испытаниям с последующим утверждением типа для их законного применения на территории страны.

Испытание СИ – это процесс, который включает в себя ряд операций, направленных на определение соответствия СИ установленным нормам. Этот процесс включает в себя различные испытательные воздействия на объекты испытаний, подтверждение метрологических характеристик, заявляемых производителем, и внесение данных СИ в реестр ГСИ РК.

Испытания проводятся в соответствии с СТ РК 2.21 «Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений», который описывает порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.

Утверждение типа СИ является процессом, включающим испытания в целях утверждения типа и утверждение типа партии СИ. Эти процессы проводятся ГНМЦ с использованием материально-технической базы аккредитованных испытательных, поверочных, калибровочных лабораторий Республики Казахстан и третьих стран.

В ходе выполнения процедуры разрабатывается программа испытаний, проект описания типа и методика поверки. На основании данных документов подтверждаются заявленные метрологические характеристики, и уполномоченный орган по техническому регулированию и метрологии (далее – уполномоченный орган) выдает сертификат об утверждении типа СИ.

Срок действия сертификата об утверждении типа СИ, производимых серийно, определяется решением уполномоченного органа на 5 лет.

Срок действия сертификата об утверждении типа партии СИ является бессрочным.

2.2 Порядок проведения метрологической аттестации средств измерений

Для СИ, выпускаемых в обращение в единичных экземплярах, являющихся объектами государственного метрологического контроля в целях их законного применения на территории Республики Казахстан, допускается проведение метрологической аттестации. Метрологическая аттестация проводится в соответствии с СТ РК 2.30 «Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Порядок проведения метрологической аттестации средств измерений».

Обычно метрологической аттестации подвергаются измерительные системы, такие как система измерений количества нефти, система измерений расхода газа и т.д. Этот процесс осуществляется ГНМЦ с привлечением материально-технической базы аккредитованных испытательных, поверочных, калибровочных лабораторий Республики Казахстан и других стран.

В процессе метрологической аттестации разрабатывается программа и методика поверки средств измерений. Если средство измерения успешно прошло аттестацию, то оно не нуждается в первичной поверке. Однако, для обеспечения точности измерений, очередная поверка проводится по истечению межповерочного интервала от даты протокола экспериментальных исследований.

Решение о метрологической аттестации средства измерения подтверждается сертификатом о метрологической аттестации, который имеет бессрочный срок действия.

2.3 Порядок признания утверждения типа средств измерений

СИ, произведенные на территориях государств-участников Соглашения о взаимном признании результатов испытаний с целью утверждения типа, метрологической аттестации,

поверки и калибровки СИ могут пройти регистрацию в реестре ГСИ РК по процедуре ПМГ 06-2019 «Порядок признания результатов испытаний и утверждения типа, первичной поверки, метрологической аттестации СИ».

Признание результатов испытаний и утверждения типа СИ, а также их первичной поверки осуществляется применительно к средствам измерений, произведенным на территориях государств — участников Соглашения.

В состав государств-участников Соглашения вошли, такие страны как Российская Федерация, Азербайджанская Республика, Республика Армения, Республика Беларусь, Туркменистан, Республика Казахстан, Республика Узбекистан, Кыргызская Республика, Республика Молдова.

Признание результатов испытаний и утверждения типа СИ, их первичной поверки осуществляет уполномоченный орган по метрологии (обеспечению единства измерений) государства — участника Соглашения (далее — национальный орган).

Признание метрологической аттестации СИ осуществляется национальными органами в том случае, если законодательством в области обеспечения единства измерений государства — участника Соглашения предусмотрена данная метрологическая процедура.

Решение о признании утверждения типа и первичной поверки СИ выдается национальным органом на период срока действия свидетельства (сертификата) об утверждении типа СИ, выданного заявителю национальным органом государства — участника Соглашения, на территории которого заявитель осуществляет выпуск из производства СИ утвержденного типа и организует их первичную поверку.

Глава 3

Методика выполнения измерений

Методики выполнения измерений – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с точностью, установленной данной методикой выполнения измерений.

МВИ разрабатываются в виде национального стандарта, межгосударственного стандарта или стандарта организации и применяются при испытаниях объектов исследований с целью оценки их параметров с установленной точностью, а также для проведения учетных операций.

МВИ, применяемые в сферах осуществления государственного метрологического контроля, подлежат обязательной метрологической аттестации и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений.

3.1 Порядок разработки методик выполнения измерений

МВИ разрабатываются ГНМЦ, физическими и юридическими лицами, осуществляющими деятельность в области обеспечения единства измерений.

Разработка документа на МВИ предусматривает следующие этапы:

- 1) формирование исходных данных в соответствии с ГОСТ 8.010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения» (далее - ГОСТ 8.010);
- 2) формулирование измерительной задачи и описание измеряемой величины;
- 3) предварительный отбор возможных методов решения измерительной задачи;
- 4) выбор методов и средств измерений (в том числе стандартных образцов, аттестованных смесей), вспомогательных устройств, реактивов и материалов;

5) установление последовательности и содержания операции при подготовке и выполнении измерений, включая требования по обеспечению безопасности труда и экологической безопасности, требования к квалификации операторов;

6) организацию и проведение теоретических и экспериментальных исследований по оценке показателей точности разработанной МВИ, экспериментальное опробование МВИ, анализ соответствия показателей точности исходным требованиям;

7) обработку промежуточных результатов измерений и вычисление окончательных результатов, полученных с помощью данной МВИ;

8) разработку процедур и установление нормативов контроля точности, получаемых результатов измерений;

9) разработку проекта документа на МВИ;

10) аттестацию МВИ;

11) утверждение МВИ;

12) регистрацию МВИ в реестре ГСИ РК.

8. Выбор методов и средств измерений, формирование и структура программы проведения теоретических и экспериментальных метрологических исследований по определению характеристик погрешности измерений МВИ, форма представления и оценки характеристик погрешности измерений, оперативного контроля осуществляются согласно ГОСТ 8.010 и СТ РК 2.18 «Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Методики выполнения измерений. Порядок разработки, метрологической аттестации, регистрации и применения».

3.2 Метрологическая аттестация методик выполнения измерений

Метрологическая аттестация МВИ проводится согласно «Правил разработки, метрологической аттестации, утверждения и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений методик выполнения измерений и референтных методик выполнения измерений»

от 27 декабря 2018 года № 932» (далее – Правила) и СТ РК 2.18 «ГСИ РК. Методики выполнения измерений. Порядок разработки, метрологической аттестации, регистрации и применения».

Метрологическая аттестация МВИ проводится с целью установления (подтверждения) соответствия МВИ предъявляемым к ней метрологическим требованиям.

Метрологическая аттестация МВИ осуществляется ГНМЦ, юридическими лицами, осуществляющими деятельность в области обеспечения единства измерений, аккредитованными в порядке, установленном Законом Республики Казахстан «Об аккредитации в области оценки соответствия».

Для проведения метрологической аттестации МВИ представляется комплект документов, включающий:

1) заявку в произвольной форме на проведение метрологической аттестации МВИ с указанием области применения МВИ;

2) исходные данные, программу и отчет по результатам теоретических и экспериментальных исследований в соответствии с пунктом 7 Правил;

3) МВИ, утвержденную руководителем предприятия-работчика (в двух экземплярах);

4) согласование (разрешение на применение) МВИ, выданное соответствующим государственным органом, в зависимости от области применения в случае, если МВИ предназначена для определения показателей безопасности;

5) согласование с заинтересованными юридическими лицами, в случае если МВИ используется для коммерческого учета;

6) согласование с уполномоченным органом, осуществляющим руководство, а также межотраслевую координацию в области регулирования производства драгоценных металлов и оборота драгоценных металлов и драгоценных камней, сырьевых товаров, содержащих драгоценные металлы, ювелирных и других изделий в случае, если МВИ устанавливает значение содержания вредных примесей и драгоценных металлов в сырьевых товарах, содержащих драгоценные метал-

лы, а также ювелирных и других изделий, содержащих драгоценные металлы.

Метрологическая аттестация МВИ осуществляется путем проведения экспертизы представленного комплекта документов.

При экспертизе комплекта документов осуществляется подтверждение соответствия МВИ установленным требованиям путем оценивания правильности (обоснованности):

- 1) модели измерений;
- 2) сведений, приведенных при описании бюджета неопределенности или структуры образования погрешности результата измерений, полученных при разработке МВИ;
- 3) плана и объема экспериментальных исследований, включая методы отбора и подготовки проб;
- 4) выбора СИ, эталонов единиц величин, стандартных образцов, технических средств и материалов, использованных при проведении экспериментальных исследований МВИ;
- 5) выбора условий проведения экспериментальных исследований МВИ;
- 6) выбора способов и средств обработки результатов экспериментальных исследований МВИ, включая программное обеспечение;
- 7) выбора способов представления характеристик погрешности или способов представления неопределенности;
- 8) выбора предложенных процедур контроля показателей точности результатов измерений.

В случае необходимости подтверждения правильности выбора метода и СИ, а также полноты требований, содержащихся в МВИ, проводятся дополнительные экспериментальные метрологические исследования МВИ.

По результатам экспертизы составляется соответствующее заключение.

При положительных результатах метрологической экспертизы оформляется свидетельство о метрологической аттестации МВИ установленной формы.

При отрицательных результатах экспертизы МВИ возвращается на доработку с соответствующим заключением.

Повторная метрологическая аттестация МВИ проводится при:

- изменении исходных данных или метрологических характеристик МВИ;

- внесении изменений и дополнений в процедуру проведения измерений;

- истечении срока действия свидетельства о метрологической аттестации МВИ.

Порядок проведения повторной метрологической аттестации осуществляется согласно пунктам 12-18 Правил.

В случае признания МВИ государствами-членами Евразийского экономического союза метрологическая аттестация МВИ осуществляется в соответствии с «Порядком метрологической аттестации методики (метода) измерений», утвержденным Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 17 марта 2016 года № 21.

В случае признания МВИ в странах СНГ аттестация осуществляется в соответствии с ПМГ 44-2001 «Порядок признания методик выполнения измерений», принятыми Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации.

Заключение

Метрология во все времена тесно связана с деятельностью человека. В современном мире метрология является основой инфраструктуры качества. Международная и внутренняя торговля требует подтверждения соответствия и взаимного признания измерений. Экономический успех отраслей промышленности зависит от того, насколько качественно производятся товары, где требования к измерениям играют ключевую роль.

Здоровье и безопасность человека зависят от надежных измерений в диагностике, терапии, производстве и реализации продуктов питания и продовольственных товаров.

Защита окружающей среды от пагубного воздействия производственной деятельности можно обеспечить только на основе точных и надежных измерений. Инфраструктура производства гарантирует качество только на основе измерений, прослеживаемых к измерительным эталонам, которые в свою очередь связаны с фундаментальными и атомными константами.

Метрология – прикладная наука, которая сформирована на стыке фундаментальных наук и применяет все наилучшие достижения таких наук, как физика, математика и химия, кроме того, в метрологии все более широко находят применение информационные и цифровые технологии.

Современный метролог должен обладать знаниями не только в точных науках, но также ему следует развивать свою информационную и экономическую грамотность.

Основной целью написания данного учебника является изложение в доступном виде обширного практического материала, который был накоплен метрологами Казахстанского института стандартизации и метрологии в ходе многолетнего опыта. Несмотря на достаточный объем информации, представленный в учебнике – это всего лишь малая часть того, что следует знать специалисту метрологу для того, чтобы быть

востребованным в современном мире. Коллектив авторов, выражает надежду, что данный учебник станет настольной книгой любого специалиста, который ежедневно сталкивается с измерениями и поможет ему улучшить свои профессиональные знания, умения и навыки.

Рекомендуемая литература

1. Tasse, Gregory (2017). "The Roles and Impacts of Technical Standards on Economic Growth and Implications for Innovation Policy," *Annals of Science and Technology Policy*, 1: 215–316.
2. US National Institute of Standards and Technology, viewed 3 September 2013, <http://www.nist.gov/director/planning/summary-studies.cfm>
3. R. Schwartz, M. Borys, F. Scholz, Guide to Mass Determination with High Accuracy, HND-MA-80e, Braunschweig, March 2007
4. OIML R 111–1:2004 Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3 . Part 1: Metrological and technical requirements
5. КООМЕТР/GM/11:2008 ПОЛОЖЕНИЕ о сличениях эталонов национальных метрологических институтов КООМЕТ
6. Библиография: Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы. 2019 г.
7. СТ КазСтандарт 48. Меры наружных и внутренних диаметров. Методика калибровки.
8. Herrmann K. Hardness testing. Principles and application – 1-е изд. - USA: ASM International, 2011. - 247 с.
9. СТ РК 2.118 ГСИ РК. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах.
10. СТ РК 2.349 ГСИ РК. Газоанализаторы. Методика поверки.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

Практикум по метрологии

Астана 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	183
Список обозначений	184
Глава 1 Обработка и представление результатов измерений.....	186
1.1 Формулы и примеры расчета погрешностей измерений.....	186
1.2 Формулы и примеры расчета неопределенности измерений	199
Глава 2 Задачи.....	217
2.1 Задачи по расчету результатов поверки средств измерений (по видам измерений).....	217
2.2 Задачи по расчету результатов калибровки средств измерений (по видам измерений).....	225
2.3 Примеры расчета неопределенности измерений (по видам измерений).....	235

Предисловие

Настоящий учебник предназначен для изучения и освоения методов и средств, используемых в современной метрологии, обеспечения необходимым объемом теоретических знаний об обработке и представлении результатов измерений.

Цель учебника - систематизировать сведения из теории погрешности и математической статистики, необходимые для выполнения обработки различных видов измерений.

Данный практикум состоит из двух частей.

В первой главе пособия представлены основные этапы обработки результатов измерений, необходимые сведения из теории погрешности и структуры формирования погрешности результата измерения. Даны сведения о оценке погрешности косвенного измерения. Включены необходимые сведения о неопределенности измерений, основных принципах ее оценивания. Приведены необходимые сведения из математической статистики (определение оценок и требований к ним, интервальная оценка и статистические критерии оценки закона распределения результатов измерений). Рассмотрены примеры, поясняющие отдельные этапы выполнения математической обработки результатов наблюдений.

Во второй главе приведены задачи по расчету результатов поверки и калибровки СИ, примеры расчета неопределенности измерений. Задачи и примеры построены на основе практических решений.

Список обозначений

- a_i – оцененный полуразмах некоррелированной систематической составляющей неопределенности, возможное распределение неизвестно, где $i = 1 \dots N$;
- a_d – систематическая составляющая неопределенности, которая так доминирует над другими составляющими неопределенности в величине, что специальное рассмотрение должно присутствовать в вычислении расширенной неопределенности;
- c_i – коэффициент чувствительности, чтобы умножить x_i входной величины X_i чтобы выразить его в терминах измеряемой величины Y ;
- f – функциональная взаимосвязь между измеряемой величиной Y и входными величинами X_i от которых зависит Y и между выходной оценкой y и входными оценками x_p от которых зависит y ;
- $\partial f / \partial x_i$ – частная производная по отношению к входной величине X_i от функционального отношения f между измеряемой величиной и входными величинами;
- k – коэффициент охвата (общий);
- k_p – коэффициент охвата, использующийся чтобы вычислить расширенную неопределенность U_p для определенных границ вероятности;
- k_s – коэффициент охвата, выбранный с целью сравнения со специальными границами;
- m – число показаний или наблюдений, которое используется для оценки $s(q)$, если оно отличается от n ;
- n – число измерений или наблюдений, которое вложено в среднее значение;
- N – число входных оценок x_i от которых зависит значение измеряемой величины;
- q_i – j -ое повторение наблюдения беспорядочно изменяющейся величины q ;
- $\bar{q}$ – арифметическое среднее или среднее из n повторных наблюдений случайно изменяющейся величины q ;
- p – вероятность охвата или уровень конфиденциальности, выраженный в процентах или в интервале от 0 до 1;
- σ – стандартное отклонение совокупности данных, используя все образцы в этой совокупности;
- $s(q)$ – оценка стандартного отклонения σ по совокупности значений случайно изменяемой величины q , основанной на ограниченном числе результатов из этой совокупности;
- $s(\bar{q})$ – экспериментальное стандартное отклонение среднего значения $\bar{q}$;
- $t_p(f_{eff})$ – коэффициент Стьюдента для f_{eff} числа степеней свободы для данной вероятности p ;

- $u(x_i)$ – стандартная неопределенность входной оценки x_i ;
- $u_c(y)$ – суммарная стандартная неопределенность выходной оценки y ;
- U – расширенная неопределенность выходной оценки y , которая описывает измеряемую величину как интервал $Y=y\pm U$ с высокой вероятностью охвата;
- U_p – расширенная неопределенность выходной оценки y , которая описывает измеряемую величину как интервал $Y=y\pm U_p$ с определенной вероятностью охвата;
- $\{$ – число степеней свободы, в основном, число членов в сумме минус число констант в терминах суммы;
- $\{_i$ – степени свободы стандартной неопределенности число степеней свободы стандартной неопределенности $u(x_i)$ входных оценок x_i ;
- $\{_{\text{eff}}$ – эффективное число степеней свободы $u_c(y)$, используемые, чтобы получить $t_p(\{_{\text{eff}})$.

Глава 1 Обработка и представление результатов измерений

Основные этапы обработки результатов измерений:

1. Для каждой из непосредственно измеренных величин вычислить:

- а) среднее арифметическое $\langle X \rangle$;
- б) среднее квадратичное отклонение $S_{\langle X \rangle}$;
- в) доверительную границу случайной погрешности ϵ_x ;
- г) доверительную границу систематической погрешности θ_x ;
- д) доверительную границу полной погрешности ΔX .

2. Записать результат каждого прямого измерения в виде:

$$X = \langle X \rangle \pm \Delta X, P=0,95.$$

3. Вычислить наиболее вероятное значение результата косвенного измерения $\langle Y \rangle$.

4. Получить (если она не дается в руководстве к лабораторной работе) выражение для относительной погрешности δY косвенного измерения и найти ее числовое значение.

5. Вычислить доверительную границу абсолютной погрешности ΔY результата косвенного измерения.

6. Записать окончательный результат косвенного измерения в виде:

$$Y = \langle Y \rangle \pm \Delta Y, P=0,95.$$

7. Если исследуется линейная функциональная зависимость, то используя метод наименьших квадратов, определяются параметры этой линейной зависимости, погрешности и вычисляется коэффициент корреляции.

1.1 Формулы и примеры расчета погрешностей измерений

При всяком измерении неизбежны погрешности, не дающие возможности измерить какую-либо величину абсолютно точно. Эти погрешности определяются с одной стороны

измерительными приборами - их недостатками, несовершенствами и естественными пределами чувствительности, с другой стороны несовершенством метода измерений, неполнотой наших знаний или практической невозможностью учесть все факторы, сопутствующие данному явлению. Важно понимать, что физика - точная наука не потому, что ее измерения абсолютно точны, а потому, что в каждом случае она может указать пределы, внутри которых заключается измеряемая величина. Чем совершеннее измерительный прибор и методика измерений, тем более узки эти пределы, определяющие собой величину погрешности измерений.

Погрешности по виду представления разделяются на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность - число, имеющее размерность измеряемого физического параметра и равное половине ширины интервала, внутри которого находится истинное значение измеряемой величины. Например, фраза: «средняя длина стержня равна 2 метра при абсолютной погрешности 0,01 м» означает, что при повторных измерениях длины того же стержня, тем же самым измерительным прибором длина его может оказаться в интервале от 1,99 м до 2,01 м. $L = 2 \pm 0,01$ м или $L = 2,00(1)$ мм.

В принципе, абсолютная погрешность полностью характеризует измерение, но иногда используется **относительная погрешность** – безразмерное число, равное отношению абсолютной погрешности к среднему результату измерений. В последнем примере относительная погрешность составляет 0,005. Иначе говоря, относительная погрешность – это погрешность по отношению к средней величине. Иногда ее измеряют в процентах – для этого ее необходимо умножить на 100 (в примере, приведенном выше, относительная погрешность в процентах составит 0,5%).

По своей природе или по характеру проявления погрешности измерения делятся на *систематические, случайные и промахи*.

К **систематическим погрешностям** относятся такие, которые обязаны своим происхождением действию регулярных,

неизменных по своей величине и направлению факторов. Как правило, систематические погрешности вызваны неточностью экспериментальной установки – пределом чувствительности приборов, их несовершенством, искажениями или незначительными неисправностями. В основном систематическая погрешность вносится прибором, из-за чего ее иногда называют приборной. Величина систематической погрешности практически не зависит от количества измерений. Из-за этого эту погрешность иногда называют неустранимой погрешностью. Единственный метод заметно уменьшить систематическую погрешность – усовершенствование измерительного прибора, повышение его чувствительности.

К **случайным погрешностям** относятся такие погрешности, которые не могут быть предугаданы ни по величине, ни по направлению в силу неупорядоченности совокупного действия некоторых (неизвестных) факторов. Например, воздушные течения, пылинки, садящиеся на призмы микровесов и слетающие с них, могут отразиться на результатах взвешивания. Нужно подчеркнуть, что те же факторы оставят результат более грубого взвешивания (на менее точных весах) неизменным. Это означает, что в данном случае абсолютная величина погрешности уже больше погрешности измерительного прибора. Таким образом, *появление случайных погрешностей является признаком использования недостаточно чувствительного прибора.*

Случайные погрешности не могут, в целом, быть выражены каким-либо определенным физическим законом в силу сложности, сопутствующей всем неупорядоченным явлениям. Однако, причинная связь явлений сохраняется и здесь, и случайные погрешности подчиняются определенным статистическим закономерностям.

Перечислим **основные свойства случайных погрешностей**:

- 1) Случайные погрешности, равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку, равновероятны (встречаются одинаково часто).
- 2) Чем больше по абсолютной величине случайная погрешность, тем меньше вероятность ее повторения.

решность измерения, тем меньше ее вероятность, то есть тем реже она встречается.

3) При измерении какой-либо физической величины среднее арифметическое из случайных погрешностей неограниченно стремится к нулю с увеличением числа измерений.

К **промахам** относятся ошибки, возникающие в результате небрежности отсчета по приборам или неразборчивости в записи их показаний. Единственное средство устранить их – это внимательно сделать повторное измерение.

Оценка погрешности прямых измерений

Полная погрешность серии прямых измерений одной и той же величины в одних и тех же условиях одним и тем же прибором складывается из систематической погрешности и случайной. Можно сказать, что *систематическая погрешность обусловлена измерительным прибором, а случайная процессом измерения.*

Оценка случайной погрешности

Пусть в результате ряда измерений физической величины X получены значения $x_1, x_2, \dots, x_n$, где n – число измерений. Если X_0 – истинное значение измеряемой величины, то разность $\Delta x'_n$ между ним и измеренным значением x_n называется **истинной погрешностью**. Пусть:

$$\begin{aligned} X_0 - x_1 &= \Delta x'_1 \\ X_0 - x_2 &= \Delta x'_2 \\ &\dots\dots\dots \\ X_0 - x_n &= \Delta x'_n \end{aligned} \quad (1.1)$$

Сложим эти равенства почленно, тогда:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n \Delta x'_i}{n}, \quad (1.2)$$

где $\Delta x'_i$, в силу свойства 1, могут быть как положительными, так и отрицательными числами и в соответствии со свойством 3:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \Delta x'_i = 0 \quad (1.3)$$

Тогда:

$$X_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum x_i}{n} = X_{\text{ср}} \quad (1.4)$$

то есть среднее арифметическое из результатов бесконечного количества отдельных измерений $X_{\text{ср}}^{\infty}$ в точности равнялось бы истинному значению измеряемой величины X_0 .

Практически n всегда конечно, но, как показывает теория, $X_{\text{ср}}$ остается вероятнейшим значением измеряемой величины X . Часто ее обозначают $\langle X \rangle$ или $\bar{X}$, то есть

$$\langle X \rangle = \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1.5)$$

Соотношения (1.1) теперь представятся в виде:

$$\begin{aligned} \langle X \rangle - x_1 &= \Delta x_1 \\ \langle X \rangle - x_2 &= \Delta x_2 \\ &\dots\dots\dots \\ \langle X \rangle - x_n &= \Delta x_n \end{aligned} \quad (1.6)$$

где погрешности Δx_i будут уже несколько отличаться от истинных. Погрешности Δx_i , определенные как разности между измеренными значениями физической величины X и их средним арифметическим называются **вероятнейшими** или **остаточными**. Первой величиной, которую приходится вычислять в процессе обработки прямых измерений является (1.5) – оценка истинного значения измеряемой величины, то есть среднее арифметическое из n равнозначных измерений, определяемое выражением (1.5).

Итак, для того чтобы определить истинное значение измеряемой физической величины X , необходимо провести бесконечное число ее наблюдений и найти среднее арифметическое полученных результатов. Это невыполнимая задача. В любом реальном эксперименте число наблюдений

конечно, поэтому среднее арифметическое их результатов отличается от истинного значения. Задача исследователя – оценить для данной совокупности наблюдений возможные отклонения среднего арифметического $\langle X \rangle$ от истинного X_0 . Это делается с применением математического аппарата теории вероятностей.

Как уже отмечалось, при проведении большой серии наблюдений некоторой величины X чаще всего встречаются результаты, довольно близкие к ее истинному значению. Чем больше случайное значение x_i отличается от истинного, тем реже оно встречается. Выделим среди возможных результатов наблюдений некоторый интервал Δx . Пусть из n проведенных наблюдений Δn дали результаты, лежащие в этом интервале. Вероятность попадания результата наблюдения x_i в интервал Δx определяется выражением:

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta n}{n} \quad (1.7)$$

Если данная величина X непрерывна, то существует отличная от нуля вероятность dP попадания результата отдельного наблюдения в любой элементарный интервал dx . Эта вероятность в общем случае зависит от ширины интервала dx и от того, в окрестности какого значения x выбран этот интервал, то есть

$$dP = f(x)dx. \quad (1.8)$$

Функция $f(x)$ называется **плотностью вероятности** или **плотностью функции распределения** случайной величины X .

Часто при измерениях физических величин распределение результатов наблюдений подчиняется так называемому **нормальному**, или **гауссову закону**:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - X_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.9)$$

Параметр σ^2 называется **дисперсией распределения**, а σ – **средним квадратичным отклонением**. Этот параметр харак-

теризует разброс значений измеряемой величины относительно ее истинного значения X_0 : чем больше σ , тем больше этот разброс.

В теории вероятностей доказывается, что если будет проведена бесконечно большая серия наблюдений величины X и, если результаты будут распределены по нормальному (гауссову) закону, то вероятность того, что результат x_i каждого отдельного наблюдения попадает в интервал значений от $X_0 - \sigma$ до $X_0 + \sigma$ (или того, что случайная погрешность не превысит значения σ), равна $P=0,6827$. Вероятности попадания результатов наблюдений в более широкие интервалы $X_0 \pm 2\sigma$ и $X_0 \pm 3\sigma$ равны соответственно 0,9545 и 0,9975. Иначе говоря, случайные погрешности в этих случаях, с вероятностями 0,9545 и 0,9975 не превышают значений 2σ и 3σ .

Вероятность попадания результатов наблюдений в заданный интервал значений называется **доверительной вероятностью**, сам интервал – доверительным интервалом, границы погрешностей – доверительными границами погрешностей. Так, в первом из рассмотренных примеров доверительный интервал равен $X_0 \pm \sigma$, доверительная вероятность $P=0,6827$.

Для нахождения σ необходимо провести бесконечно большое число наблюдений и построить $f(x)$. В реальных условиях число наблюдений конечно, поэтому можно найти лишь приближенную оценку σ . Эта оценка называется выборочным средним квадратичным отклонением S_x результата отдельного наблюдения и вычисляется по формуле:

$$S_x = \sqrt{\frac{(x_1 - \langle X \rangle)^2 + (x_2 - \langle X \rangle)^2 + \dots + (x_n - \langle X \rangle)^2}{n - 1}} \quad (1.9)$$

где $\langle X \rangle$ – среднее арифметическое значение величины X для данной выборки (конечной серии) наблюдений.

Таким образом, проведя конечную серию наблюдений и определив среднее квадратичное отклонение, можно для любого из результатов наблюдений указать с определенной вероятностью доверительный интервал значений и доверительные границы случайной погрешности. Однако обычно

важнее оценить границы случайной погрешности не результата каждого отдельного измерения, а их среднего арифметического $\langle X \rangle$, которое принято называть результатом измерения физической величины X . Среднее арифметическое $\langle X \rangle$ также является случайной величиной. Согласно одной из теорем теории вероятностей, если провести большое число серий измерений какой-нибудь физической величины X , то независимо от того, как распределена X в отдельной серии, ее средние арифметические будут подчинены нормальному закону распределения. В этом случае отклонение среднего арифметического $\langle X \rangle$ от истинного значения X_0 характеризуется не величиной S_x , а меньшей величиной $S_{\langle x \rangle}$, называемой **средним квадратичным отклонением среднего арифметического** (от истинного значения)

$$S_{\langle x \rangle} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \langle X \rangle)^2 + (x_2 - \langle X \rangle)^2 + \dots + (x_n - \langle X \rangle)^2}{n(n-1)}} \quad (1.10)$$

Определив для данной серии наблюдений $\langle X \rangle$ и $S_{\langle x \rangle}$ можно записать окончательный результат в виде $X = \langle X \rangle \pm 2S_{\langle x \rangle}$, $P=0,95$, то есть с вероятностью $P=0,95$ найденное значение $\langle X \rangle$ не отличается от истинного значения X_0 более чем на $2S_{\langle x \rangle}$ (в обе стороны).

Различие между $S_{\langle x \rangle}$ и $\sigma_{\langle x \rangle}$ невелико, а распределение результатов измерений мало отличается от нормального только при достаточно больших значениях n ($n > 30$). В учебных лабораториях, как правило, ограничиваются небольшим числом наблюдений (3...5). В этом случае $S_{\langle x \rangle}$ и $\sigma_{\langle x \rangle}$ различаются сильно, поэтому для правильной оценки доверительных границ случайной погрешности вместо целочисленных коэффициентов при $S_{\langle x \rangle}$ вводятся превышающие их дробные коэффициенты Стьюдента.

Опираясь методами теории вероятностей, английский математик Госсет в вышедшей в 1908 г. под псевдонимом «Стьюдент» работе показал, что в случае небольшого числа наблюдений доверительная граница ϵ_x случайной погрешности среднего арифметического оценивается по формуле:

$$\epsilon_x = t_{p,n} S_{\langle x \rangle}, \quad (1.11)$$

где $t_{p,n}$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности P и числа наблюдений n ;

$S_{<x>}$ – среднее квадратичное отклонение среднего арифметического. Значение коэффициентов Стьюдента для доверительных вероятностей $P=0,99$; $P=0,95$; $P=0,68$ для n измерений приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Критические точки распределения Стьюдента

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∞
$P=0,99$	63,7	9,92	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	2,58
$P=0,95$	12,7	4,30	3,18	2,77	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	1,96
$P=0,68$	1,82	1,31	1,19	1,13	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	0,99

Заметьте, что при $n \rightarrow \infty$ $t_{0,95; n} \rightarrow 1.96 \approx 2$

Оценка систематической погрешности.

В некоторых случаях модуль и знак систематической погрешности известны. Такая погрешность должна быть исключена путем введения соответствующей поправки. Так, например, если время наступления некоторого события фиксируется визуально, то необходимо сделать поправку на реакцию человека, составляющую около 0,2 сек; иначе говоря, у нормального человека между моментом, когда он увидел событие и моментом, когда нажал кнопку секундомера, проходит некоторое время, называемое реакцией и составляющее около 0,2 сек.

Однако имеются такие систематические погрешности, модуль и знак которых неизвестно. Такие ошибки называют неисключенными и должны быть учтены.

В паспорте измерительного средства (прибора), как правило, указывается предел основной погрешности $\theta_{осн}$ (кратко – основная погрешность), то есть погрешность, которая может возникнуть при использовании этого средства в нормальных условиях. Например, если в паспорте микрометра указано, что предел основной погрешности составляет 0,004 мм (иногда пишут $\pm 0,004$ мм), то это означает, что при измерении линейных размеров какого-либо тела без нарушения

правил измерения и в нормальных условиях основная систематическая погрешность измерения не превысит 0,004 мм.

Часто предел основной погрешности средства измерения задается классом точности. Класс точности δ средства измерения показывает, сколько процентов от его верхнего предела измерения $X_{\max}$ (размер шкалы) составляет предел основной погрешности этого средства:

$$\delta = \frac{\theta_{\text{осн}}}{X_{\text{max}}} \cdot 100\% \quad (1.12)$$

Электроизмерительные приборы могут иметь следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Класс точности прибора обычно указывается на его шкале.

Предел основной погрешности $\theta_{\text{осн}}$ прибора одинаков во всем его диапазоне измерений, но возможная относительная погрешность зависит от показания прибора. Например, если миллиамперметром с пределом измерения $I_{\max}=100$ мА измерена сила тока $I=20$ мА и класс точности миллиамперметра $\delta=1,0$, то предел основной погрешности составляет $\theta_{\text{осн}}=1$ мА, а относительная основная погрешность измерения не превышает $\gamma = \theta_{\text{осн}} / I = 0,05 = 5\%$. Но если измеренный ток составляет $I=10$ мА, то нетрудно посчитать, что относительная основная погрешность составит 10%. Отсюда следует важное правило измерения: при измерении необходимо пользоваться как можно большей частью шкалы, – нежелательно измерять в начале шкалы (следует переключиться на меньший предел, если это возможно).

Наряду с основной погрешностью средства измерения в систематическую погрешность входит также погрешность считывания или отсчета $\theta_{\text{отсч}}$, равная половине цены наименьшего деления шкалы, если отсчет показаний ведется с точностью до целых делений. Для приборов, имеющих цифровое табло $\theta_{\text{отсч}}$ равно единице последнего разряда, числа индицируемого на табло.

В общем случае у систематической погрешности имеется несколько составляющих. Кроме отмеченных уже основной погрешности и погрешности отсчета имеется погрешность

метода и погрешности, вызванные другими регулярными источниками ошибок. При оценке доверительной границы неисключенной систематической погрешности θ_x при $n=1$ следует учитывать основную погрешность средства измерения $\theta_{осн}$ и погрешность отсчитывания $\theta_{отсч}$. Тогда, для оценки полной систематической погрешности θ_x согласно теории вероятностей, при $P=0,95$ используется формула:

$$\theta_x = \sqrt{\theta_{осн}^2 + \theta_{отсч}^2} \quad (1.13)$$

В случае $n>1$ имеет смысл учитывать только $\theta_{осн}$ (погрешность отсчета в этом случае фактически учитывается в случайной погрешности), то есть

$$\theta_x = \theta_{осн}. \quad (1.14)$$

Погрешность метода в лабораторных работах обычно не учитывается, если о ней особо ничего не сказано в описании к лабораторной работе.

Оценка полной погрешности.

После того, как определены доверительные границы случайной и систематической погрешностей, необходимо оценить границы полной погрешности результата измерений. Для этого, прежде всего, сравнивают доверительную границу θ_x систематической погрешности и доверительную границу ϵ_x случайной погрешности результата измерений.

1. В случае, если $\frac{\theta_x}{\epsilon_x} < 0,1$, систематической погрешностью по сравнению со случайной пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta X = \epsilon_x$.

2. Если $\frac{\theta_x}{\epsilon_x} > 10$, то случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta X = \theta_x$.

3. Если же оказалось, что $0,1 < \frac{\theta_x}{\epsilon_x} < 10$, то необходимо учитывать обе составляющие погрешности результата измерения.

В этом случае доверительную границу погрешности результата оценивают по формуле:

$$\Delta X = \sqrt{\epsilon_x^2 + \theta_x^2} \quad (1.15)$$

После того, как граница погрешности результата измерений Δx определена, окончательный результат записывают в виде:

$$X = \langle X \rangle \pm \Delta X, P=0,95. \quad (1.16)$$

Величины $\langle X \rangle$ и ΔX должны быть согласованы по точности: они должны содержать последнюю значащую цифру в одном и том же разряде. Если, например, $\langle X \rangle = 64,538$ мм и $\Delta X = 0,028$ мм, то необходимо округлить ΔX до первой значащей цифры: $\Delta X = 0,03$ мм, а затем и $\langle X \rangle$ округлить до цифры того же десятичного разряда, которым выражена погрешность: $\langle X \rangle = 64,54$ мм. Окончательный результат измерения записывают в виде:

$$X = (64,54 \pm 0,03) \text{ мм}, P=0,95, \quad (1.17)$$

и читается так: с вероятностью $P=0,95$ истинное значение измеренной величина X находится в интервале от 64,51 мм до 64,57 мм.

Иногда пишут так:

$$X = 64,54(3) \text{ мм}, P=0,95.$$

Оценка погрешности косвенного измерения.

При косвенном измерении значение искомой величины Y находят по результатам прямых измерений величин $X_1, X_2, \dots, X_m$, которые связаны с Y известной функциональной зависимостью

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m). \quad (1.18)$$

Проведя серии прямых измерений величин $X_1, X_2, \dots, X_m$,

можно найти их оценки, то есть средние арифметические $\langle X_1 \rangle, \langle X_2 \rangle, \dots, \langle X_m \rangle$ и доверительные границы погрешностей результатов их измерений $\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_m$. Наиболее вероятным значением Y следует считать $\langle Y \rangle$, которое получается, если в формулу (1.18) подставить средние значения аргументов:

$$\langle Y \rangle = f(\langle X_1 \rangle, \langle X_2 \rangle, \dots, \langle X_m \rangle). \quad (1.19)$$

Теория вероятностей показывает, что когда погрешности измеряемых аргументов не зависят друг от друга, то доверительная граница относительной погрешности δY измерения величины Y оценивается по формуле:

$$\delta Y = \frac{\Delta Y}{\langle Y \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial X_1} \frac{\Delta X_1}{f} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2} \frac{\Delta X_2}{f} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_m} \frac{\Delta X_m}{f} \right)^2} \quad (1.20)$$

Учитывая, что $\frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{1}{f}$ - частная производная по X_i от $\ln f$, формуле (1.20) можно придать вид:

$$\delta Y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial (\ln f)}{\partial X_i} \Delta X_i \right)^2} \quad (1.21)$$

Для нахождения границы абсолютной погрешности результата измерения величины Y нужно δY умножить на $\langle Y \rangle$:

$$\Delta Y = \delta Y \langle Y \rangle \quad (1.22)$$

Естественно, границы всех аргументов X_i должны соответствовать одной и той же доверительной вероятности $P=0,95$. Тогда и граница погрешности косвенного измерения величины Y также будет соответствовать этой же доверительной вероятности.

Окончательный результат косвенного измерения записывается в виде:

$$Y = \langle Y \rangle \pm \Delta Y, P=0,95. \quad (1.23)$$

Запись означает: истинное значение $Y\Theta$ с вероятностью $P=0,95$ заключено в пределах интервала от $\langle Y \rangle - \Delta Y$ до $\langle Y \rangle + \Delta Y$.

В таблице 1.2 приводятся вычисления погрешностей косвенного измерения для некоторых простейших функций $f(X, Y)$, в которой $\Delta X, \Delta Y$ – абсолютные погрешности параметров X и Y , $\delta X, \delta Y$ – относительные погрешности.

Таблица 1.2 – Правила вычисления погрешностей косвенного измерения

Функция $f(X,Y)$ или $f(X)$	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность.
$C \oplus X$	$ C \oplus \otimes X$	${}^{\text{TM}}X$
$X \pm Y$	$\sqrt{(X)^2 + (Y)^2}$	$\sqrt{(X)^2 + (Y)^2}$
$X \oplus Y$	$ X \oplus \otimes Y + Y \oplus \otimes X$	$\sqrt{(X)^2 + (Y)^2}$
X^a	$ a \oplus X ^{a-1} \oplus \otimes X$	$ a \oplus {}^{\text{TM}}X$
$\frac{C}{X}$	$\frac{ C }{X^2} X$	${}^{\text{TM}}X$
$\frac{X}{Y}$	$\sqrt{\left(\frac{X}{Y}\right)^2 + \left(\frac{ X Y}{Y^2}\right)^2}$	$\sqrt{(X)^2 + (Y)^2}$
e^x	$e^x \otimes X$	$X \oplus {}^{\text{TM}}X$

1.2 Формулы и примеры расчета неопределенности измерений

Неопределенность измерений – это характеристика недостоверности измерений, принятая на международном уровне.

Понятие «неопределенность» произошло от английского слова «uncertainty». Неопределенность отражает отсутствие точного знания (истинного) значения измеряемой величины Y и выражает сомнение в том, насколько точно результат измерения y представляет Y .

Неопределенность – это параметр, связанный с результатом измерений Y и характеризующий разброс значений, которые можно обоснованно приписать измеряемой величине Y . Первая буква слова «uncertainty» U стала обозначением этого параметра.

Стандартная неопределенность – неопределенность результата измерений, выраженная как стандартное отклонение.

Суммарная стандартная неопределенность – стандартная неопределенность результата измерений, когда результат получают из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется в зависимости от изменения этих величин.

Оценка неопределенности по типу А – метод оценивания неопределенности путем статистического анализа ряда наблюдений.

Оценка неопределенности по типу В – метод оценивания неопределенности иным способом, чем статистический анализ ряда наблюдений.

Расширенная неопределенность – величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Коэффициент охвата – числовой коэффициент, используемый как множитель суммарной стандартной неопределенности для получения расширенной неопределенности.

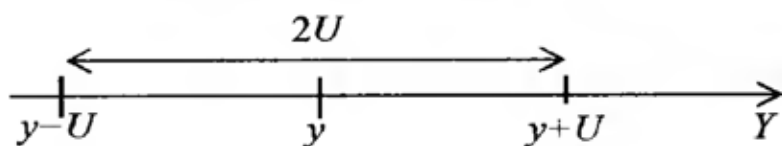
Приведенное определение лучше всего иллюстрируется стандартной формой записи результата измерения:

$$Y = y \pm U, P = 0,95. \quad (1.24)$$

Из выражения (1.24) видно, что вероятный разброс значений Y находится в диапазоне $\pm U$ относительно результата измерения y (рисунок 1.1), а степень обоснованности находке-

ния значений Y в этом интервале определяется вероятностью (уровнем доверия) $P = 0,95$.

Рисунок 1.1 – К определению неопределенности измерения



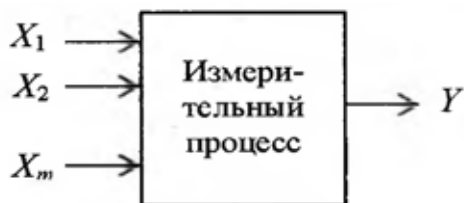
Основные принципы оценивания неопределенности измерений

В данном пособии будет рассмотрен так называемый модельный подход к оцениванию неопределенности измерений. Суть его заключается в использовании модельного уравнения

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m), \quad (1.25)$$

связывающего между собой входные величины $X_1, X_2, \dots, X_m$ измерительного процесса с измеряемой (выходной) величиной Y (рисунок 1.2). При этом по неопределенностям, связанным с входными величинами, вычисляют неопределенность измеряемой величины, поэтому модельный подход часто называют восходящим.

Рисунок 1.2 – Иллюстрация модельного подхода



Все составляющие неопределенности входных величин можно сгруппировать в две категории в соответствии со способом их оценивания:

категория А - составляющие, оцениваемые путем приме-

нения статистических методов (путем обработки результатов многократных измерений);

категория В – составляющие, оцениваемые другим способом (по характеристикам, взятым из спецификации на средство измерения (СИ), сертификата калибровки, методики выполнения измерений, из предыдущих экспериментов, из справочников и т.д.).

Составляющие типа А выражаются стандартными неопределенностями (u_A), которые равны средним квадратичным (стандартным) отклонениям (СКО) средних арифметических повторных (многократных) наблюдений.

Составляющие типа В выражаются стандартными неопределенностями (u_B), которые получают из априорной информации об изменчивости входных величин.

Стандартная неопределенность i -й входной величины $u(X_i)$, формирует пропорциональный **вклад в неопределенность измеряемой величины $u_c(Y)$** (рисунок 1.3).

Рисунок 1.3 – Формирование вкладов неопределенности



Все вклады неопределенностей входных величин образуют стандартную неопределенность измеряемой величины $u(Y)$ (суммарную стандартную неопределенность u_c), которая вычисляется по правилу суммирования дисперсий (рисунок 1.4).

Рисунок 1.4 – Образование суммарной стандартной неопределенности



Для приведенных на рисунке 1.4 вкладов неопределенности $u_i(Y)$ это правило будет выглядеть так:

$$u_c^2(Y) = \sqrt{u_1^2(Y) + u_2^2(Y) + \dots + u_m^2(Y)}$$

откуда путем извлечения корня из обеих частей равенства, получаем выражение, называемое в GUM законом распространения неопределенности:

$$u_c(Y) = \sqrt{u_1^2(Y) + u_2^2(Y) + \dots + u_m^2(Y)} \quad (1.27)$$

Интервальной оценкой неопределенности является расширенная неопределенность U , которую получают путем умножения стандартной суммарной неопределенности U_c на коэффициент охвата k :

$$U = k \cdot U_c. \quad (1.28)$$

Коэффициент охвата зависит от закона распределения измеряемой величины и выбираемого уровня P . В большинстве случаев коэффициент охвата для вероятности 0,95 принимается равным 2, исходя из предположения о нормальном законе распределения измеряемой величины.

Источники неопределенности измерений.

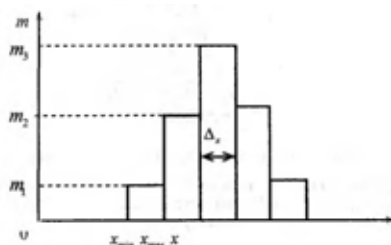
Источниками неопределенности измерений являются: **наблюдаемое рассеивание показаний**, используемых при измерении СИ (СИ) (обуславливающие стандартные неопределенности типа А) и поправки на **не исключенные систематические погрешности** (НСП) СИ (обуславливающие стандартные неопределенности типа В).

Кроме того, источниками неопределенности типа В может являться недостоверность используемых справочных данных, округление результатов измерения или применяемых констант.

Наблюдаемое рассеивание показаний.

Если при n -кратном измерении одного и того же значения измеряемой величины показания СИ $x_1, x_2, \dots, x_n$ хаотически отличаются друг от друга (имеют разброс), то их можно рассматривать как реализации случайной величины. Наиболее полной характеристикой любой случайной величины является ее закон распределения. Экспериментально закон распределения можно построить в виде **гистограммы** (столбиковой диаграммы) при наличии большого числа показаний СИ ($n \geq 40$) (рисунок 1.5).

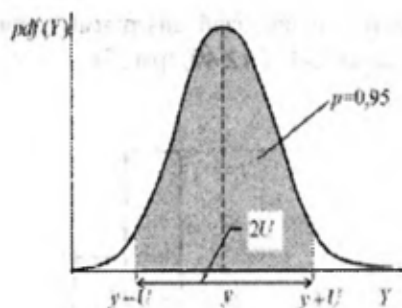
Рисунок 1.5 – Гистограмма распределения показаний СИ



Высота каждого столбика равна количеству показаний СИ, попавших на интервал его существования шириной $\Delta_x = (x_{\max} - x_{\min})/L$. Количество интервалов L зависит от числа измерений n .

Принято считать, что закон распределения случайных погрешностей – нормальный (гауссов) (рисунок 1.6).

Рисунок 1.6 – Плотность распределения вероятности для нормального закона



Характеристикой положения такого закона распределения является среднее арифметическое $\bar{x}$ отдельных показаний СИ, принимаемое за **результат измерения**.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.29)$$

ПРИМЕР

Показания весов при трехкратном взвешивания массы тела человека составили 81 кг, 79 кг и 80 кг. Среднее арифметическое значение этих показаний равно.

$$\underline{m} = \frac{81 + 79 + 80}{3} = 80 \text{ кг.}$$

Отклонение отдельных показаний СИ $x_1, x_2, \dots, x_n$ среднего значения $\bar{x}$ описывается характеристикой, называемой дисперсией:

$$D(x) = \frac{(x_1 - \underline{x})^2 + (x_2 - \underline{x})^2 + \dots + (x_n - \underline{x})^2}{n - 1} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2.$$

ПРИМЕР

Для приведенных выше показаний весов дисперсия отдельных показаний составит:

$$D(m) = \frac{(81 - 80)^2 + (79 - 80)^2 + (80 - 80)^2}{3 - 1} = 1 \text{ кг}^2.$$

Из рассмотренного примера видно, что размерность результата измерения (кг) отлична от размерности дисперсии (кг²). Для согласования этих размерностей из значения дисперсии извлекается корень и получается СКО отдельных показаний:

$$S(x) = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (1.30)$$

ПРИМЕР

Для приведенных выше показаний весов СКО отдельных показаний составит:

$$S(m) = \sqrt{\frac{(81 - 80)^2 + (79 - 80)^2 + (80 - 80)^2}{3 - 1}} = 1 \text{ кг.}$$

Поскольку за результат многократного измерения принимают среднее арифметическое отдельных показаний СИ, то характеристикой разброса $\underline{X}$ служит не СКО отдельных показаний $S(x)$, а СКО средних арифметических этих показаний $S(\underline{X})$, называемая стандартной (среднеквадратической) неопределенностью типа $A(u_A)$, которая оказывается в $\sqrt{n}$ раз меньше $S(x)$:

$$u_A(\bar{x}) = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (1.31)$$

Этой неопределенности приписывают число степеней свободы $\nu_A(m) = n - 1$.

ПРИМЕР.

Для приведенных выше показаний весов стандартная неопределенность типа А составит:

$$u_A(\underline{m}) = \sqrt{\frac{(81 - 80)^2 + (79 - 80)^2 + (80 - 80)^2}{3(3 - 1)}} = 0,58 \text{ кг.}$$

Этой стандартной неопределенности приписывают число степеней свободы $\nu_A(m) = 3 - 1 = 2$.

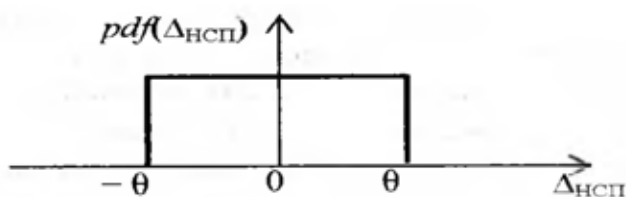
Систематическая погрешность — это погрешность, которая остается постоянной или закономер-

но изменяется при повторных измерениях величины Y . Такая особенность систематической погрешности позволяет оценить ее значение (в результате проведения калибровки) и внести поправку в результат измерения.

Поскольку значение поправки определяется неточно, в исправленном результате измерения будет присутствовать неисключенная систематическая погрешность (НСП) $\Delta_{\text{НСП}}$, для которой известны границы $\pm \theta$ интервала, в котором ее неизвестное значение может находиться с равной вероятностью.

Поэтому НСП СИ приписывают равновероятный (равномерный) закон распределения НСП, плотность вероятности которого (pdf) изображена на рисунке 1.6.

Рисунок 1.6 – Равномерный закон распределения НСП



Для такого закона распределения СКО НСП (неопределенность типа В) равна:

$$u_B = \frac{\theta}{\sqrt{3}}. \quad (1.32)$$

Для поверенных СИ оценивание неопределенности типа В производится в соответствии с таблицей 1.3. В таблице применены известные формулы, связывающие границы относительной S и приведенных u и λ погрешностей, через которые выражается класс точности средства измерения, страницами абсолютной погрешности θ в предположении равномерного распределения НСП внутри границ.

Таблица 1.3 Формулы для расчета стандартной неопределенности типа В

Пример обозначения класса точности	Вид и обозначение нормируемой погрешности	Формула для расчета стандартной неопределенности типа В
1,0 Рисунок 1.7	Относительная, δ	$u_B = \delta \frac{X_{\text{изм}}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} \quad (1.33)$
1,0 Рисунок 1.8	Приведенная, γ	$u_B = \gamma \frac{X_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} \quad (1.34)$
1,0 Рисунок 1.8	Приведенная к длине неравномерной шкалы, λ	$u_B = \lambda \frac{(X_{\text{ср}} + X_{\text{изм}})^2}{X_{\text{ср}} \sqrt{3} \cdot 100\%} \quad (1.35)$
2,0/0,1 Рисунок 1.9	Относительная, c/d	$u_B = \left[c + d \left(\left \frac{X_{\text{н}}}{X_{\text{изм}}} \right - 1 \right) \right] \frac{X_{\text{изм}}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} \quad (1.36)$

В таблице 1.3 использованы обозначения: $X_{\text{изм}}$ – измеренное значение (показание СИ), $X_{\text{н}}$ – нормированное значение измеряемой величины (чаще всего – предел измерения); $X_{\text{ср}}$ – значение измеряемой величины, соответствующее геометрической середине существенно неравномерной шкалы

Рисунок 1.7 – Шкала омметра класса точности 1,5



ПРИМЕР.

Необходимо оценить стандартную неопределенность типа В измерения сопротивления омметром М371 (рисунок 1.7).

Показания прибора 5 Ом. Класс точности прибора 1,5. Воспользовавшись формулой (1.33) из таблицы 1.3, получаем:

$$u_B = \delta \frac{X_{\text{изм}}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} = 1,5\% \frac{5 \text{ Ом}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} = 0,043 \text{ Ом}$$

Рисунок 1.8 – Мегомметр Е6-17



Классы точности: в диапазоне 0,1 ... 0,3 кОм -2,5; 1 ... 1000 кОм – 1,5;

1 ... 300 МОм -5; 1000 ... 3000 МОм -4; до 10000 МОм -6

ПРИМЕР:

Оценить стандартную неопределенность типа В измерения сопротивления на пределе 100 кОм мегомметром Е6-17 (рисунок 1.8).

На указанном пределе класс точности прибора 1,5. Воспользовавшись формулой (1.34) из таблицы 1.3, получаем:

$$u_B = \gamma \frac{X_H}{\sqrt{3} \cdot 100\%} = 1,5\% \frac{100 \text{ кОм}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} = 0,87 \text{ кОм}$$

Следует отметить, что при таком представлении класса точности неопределенность типа В не зависит от значения измеряемой величины.

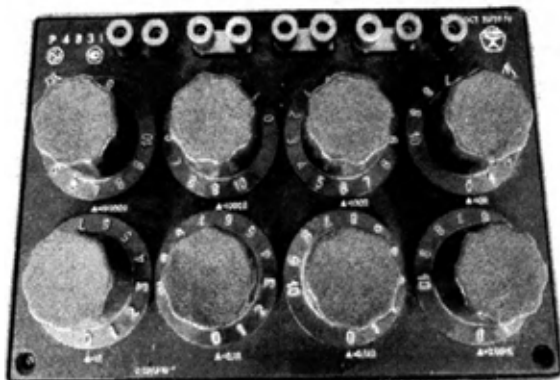
ПРИМЕР.

Необходимо оценить стандартную неопределенность типа В измерения сопротивления на пределе 10 МОм мегомметром Е6-17 (рисунок 1.8). На указанном пределе класс точности прибора 2,5. Геометрическая середина шкалы на этом пределе составляет 20 МОм. Показания прибора 36 МОм.

Воспользовавшись формулой (1.35) из таблицы 1.3 , получаем:

$$u_B = \lambda \frac{(X_{\text{ср}} + X_{\text{изм}})^2}{X_{\text{ср}} \sqrt{3} \cdot 100\%} = 2,5\% \frac{(20 \text{ МОм} + 36 \text{ МОм})^2}{20 \text{ МОм} \sqrt{3} \cdot 100\%} = 2,3 \text{ МОм}.$$

Рисунок 1.9 – Магазин сопротивлений класса точности $0,02/2 \cdot 10^{-6}$



ПРИМЕР.

Необходимо оценить стандартную неопределенность типа В воспроизведения сопротивления магазином P4831 (рисунок 1.9).

Установленное значение сопротивления на магазине 79,6 кОм. Нормированное значение сопротивления составляет 111110 Ом. Класс точности магазина $0,02/2 \cdot 10^{-6}$. Воспользовавшись формулой (1.36) из таблицы 1.3, получаем:

$$u_B = \left[c + d \left(\frac{X_{\text{н}}}{X_{\text{изм}}} - 1 \right) \right] \frac{X_{\text{изм}}}{\sqrt{3} \cdot 100\%} = \left[0,02 + 2 \cdot 10^{-6} \left(\frac{111110}{79600} - 1 \right) \right] \frac{79600}{\sqrt{3} \cdot 100} = 9,2 \text{ Ом}.$$

Для калиброванных СИ стандартная неопределенность рассчитывается из данных о расширенной неопределенности U и коэффициенте охвата k , взятых из сертификата о калибровке по формуле:

$$u_B = \frac{U}{k} \quad (1.37)$$

ПРИМЕР:

Оценить стандартную неопределенность типа В воспроизведения сопротивления катушкой РЗ21.

В сертификате о калибровке указано, что значению сопротивления приписана расширенная неопределенность 1 МОм с коэффициентом охвата $k = 2$ для уровня доверия $P = 0,95$. Используя формулу (1.37) получаем стандартную неопределенность типа В:

$$u_B = \frac{1 \text{ МОм}}{2} = 0,5 \text{ МОм.}$$

Методика оценивания неопределенности при измерении УЭП.

1) Модель измерения и оценка входных величин

1.1) Модель измерения:

$$Y = f(X_i, \delta X_{\hat{a}}, \delta X_{\hat{a}}, \delta X_{\hat{n}}), \quad (1.38)$$

где источники неопределенности:

X_i – измеренное значение УЭП;

$\delta X_{\hat{a}}$ – погрешность кондуктометра;

$\delta X_{\hat{a}}$ – погрешность термостата;

$\delta X_{\hat{n}}$ – разрешение цифрового табло кондуктометра.

В процессе измерения удельной электрической проводимости растворов электролитов определяется действительное значение УЭП раствора.

Входная величина УЭП определяется по формуле:

$$Y = X_i + {}^{\text{TM}}X_a + {}^{\text{TM}}X_b + {}^{\text{TM}}X_c, \quad (1.39)$$

1.2) Оценкой величины X_i будет среднее арифметическое значение или среднее значение $\bar{\tilde{O}}$ из n наблюдений X_i ($i = 1, 2, \dots, n$):

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1.40)$$

Стандартную неопределенность величины X_i оцениваем по типу А путем статистического анализа n независимых наблюдений в одинаковых условиях измерения.

Стандартная неопределенность величины X_i ($u(X_i)$) является экспериментальным стандартным отклонением среднего значения и рассчитывается по формуле:

$$u(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{\delta})^2} \quad (1.41)$$

1.3) Оценка величины δX_a принимается равной 0, но она имеет отклонение в виде расширенной неопределенности, равной погрешности кондуктометра. Погрешность кондуктометра является расширенной неопределенностью при прямоугольном законе распределения. Она должна быть выражена в единицах измерения УЭП (мСм/см), тогда стандартная неопределенность равна расширенной неопределенности, деленной на $\sqrt{3}$.

1.4) При измерениях УЭП не учитываем влияние параметров окружающей среды, так как измерения УЭП проводим в термостате.

Приведение результата измерения к нормальной температуре (обычно 25°C) осуществляется с помощью термостата и отклонением оценки величины ${}^{\text{TM}}X_b$ будет погрешность поддержания температуры термостатом.

Оценка величины ${}^{\text{TM}}X_b$ принимается равной 0, но она имеет отклонение в виде расширенной неопределенности, равной погрешности поддержания температуры термостатом. Погрешность поддержания температуры термостатом принимается из сертификата на него, либо рассчитывается из условия, что рассчитанные пределы допускаемой погреш-

ности поддержания температуры термостатом являются расширенной неопределенностью при прямоугольном законе распределения. Тогда стандартная неопределенность $u(^{\text{TM}}X_b)$ равна расширенной неопределенности, выраженной в единицах измерения, деленной на $\sqrt{3}$.

1.5) Оценка величины $^{\text{TM}}X_c$ принимается равной 0, но она имеет отклонение в виде расширенной неопределенности, равной разрешению цифрового табло кондуктометра.

Разрешение кондуктометра различно для различных поддиапазонов измерения УЭП. Разрешение кондуктометра является диапазоном расширенной неопределенности при прямоугольном законе распределения. Тогда стандартная неопределенность $u(\delta X_{\tilde{n}})$ равна 1/2 расширенной неопределенности, деленной на $\sqrt{3}$ для любого поддиапазона измерений.

$$u(\delta X_{\tilde{n}}) = \frac{\delta \tilde{O}_{\tilde{n}}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29 \delta \tilde{O}_{\tilde{n}}$$

2) Анализ корреляций, расчет коэффициентов влияния.

Предполагается, что входные величины не коррелированы. Определены частные производные каждого слагаемого X_i , $^{\text{TM}}X_a$, $^{\text{TM}}X_b$, $^{\text{TM}}X_c$ входящего в выражение 1.39, по каждой переменной получены коэффициенты влияния.

Коэффициенты влияния (чувствительности) рассчитывают по формулам:

$$C_{xi} = \frac{\partial f}{\partial Xi} = 1 \quad (1.42)$$

$$C_{\delta X \dot{a}} = \frac{\partial f}{\partial \delta X \dot{a}} = 1 \quad (1.43)$$

$$C_{\delta X_b} = \frac{\partial f}{\partial \delta X_b} = 1 \quad (1.44)$$

$$C_{\delta X_{\tilde{n}}} = \frac{\partial f}{\partial \delta X_{\tilde{n}}} = 1 \quad (1.45)$$

3) Расчет выходной величины и стандартной неопределенности выходных величин

3.1) Оценка выходной величины y получается из уравнения 2, при замене входных величин их оценками.

Стандартную неопределенность рассчитывают поэтапно для каждой выходной величины.

3.2) Стандартные неопределенности для выходных величин рассчитываются формулам:

Стандартная неопределенность выходной величины для величины X_i :

$$\begin{aligned} u_{x_i}(y) &= C_{x_i} \cdot u(\bar{x}) \\ C_{x_i} &= 1 \\ u_{x_i}(y) &= u(\bar{x}) \end{aligned} \quad (1.46)$$

Стандартная неопределенность выходной величины для величины δX_a :

$$\begin{aligned} u_{\delta X_a}(y) &= C_{\delta X_a} \cdot u(\delta X_a) \\ C_{\delta X_a} &= 1 \\ u_{\delta X_a}(y) &= u(\delta X_a) \end{aligned} \quad (1.47)$$

Стандартная неопределенность выходной величины для величины δX_a :

$$\begin{aligned} u_{\delta X_a}(y) &= C_{\delta X_a} \cdot u(\delta X_b) \\ C_{\delta X_a} &= 1 \\ u_{\delta X_a}(y) &= u(\delta X_b) \end{aligned} \quad (1.48)$$

Стандартная неопределенность выходной величины для величины $\delta X_{\tilde{n}}$:

$$\begin{aligned} u_{\delta X_{\tilde{n}}}(y) &= C_{\delta X_{\tilde{n}}} \cdot u(\delta X_{\tilde{n}}) \\ C_{\delta X_{\tilde{n}}} &= 1 \\ u_{\delta X_{\tilde{n}}}(y) &= u(\delta X_{\tilde{n}}) \end{aligned} \tag{1.49}$$

3.3) Суммарную стандартную неопределенность для выходной величины рассчитывают по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2_{x_i}(y) + u^2_{\delta X_a}(y) + u^2_{\delta X_b}(y) + u^2_{\delta X_c}(y)}. \tag{1.50}$$

Подставив выражения 1.46, 1.47, 1.48, 1.49 в 1.50 получим:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2(X_i) + u^2(\delta X_a) + u^2(\delta X_b) + u^2(\delta X_{\tilde{n}})}. \tag{1.51}$$

Бюджет неопределенности.

По результатам расчета составляется бюджет неопределенности в соответствии с таблицей 1.4.

Результаты расчета оценок входных величин заносят в графу 4 таблицы 1.4.

Значения стандартных неопределенностей вносят в графу 7 таблицы 1.4.

Таблица 1.4 – Бюджет неопределенности

Величина X_i	Единица измерений	Оценка X_i	Максимально возможные отклонения	Тип неопределенности	Распределение вероятности	Стандартная неопределенность $u(X)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад $u_i(y) = C_i \cdot u(X_i)$	Процентный вклад
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_i	См/м	0		A		$u(X_i)$	C_{X_i}	$u(X_i)$	

$\delta X_{\dot{a}}$	см/м	0		В	Прямо- уголь- ное	$u(\delta X_{\dot{a}})$	$C_{\delta X_{\dot{a}}}$	$u_{\delta X_{\dot{a}}}(y)$	
δX_b	см/м	0		В	Прямо- уголь- ное	$u(\delta X_b)$	$C_{\delta X_b}$	$u_{\delta X_b}(y)$	
δX_y	см/м	0		В	Прямо- уголь- ное	$u(\delta X_{\tilde{n}})$	$C_{\delta X_{\tilde{n}}}$	$u_{\delta X_n}(y)$	
Y	см/м	y				$u_{\tilde{n}}(y)$			

Вклад неопределенности $u_i(y)$ от составляющих X_i , $\delta X_{\dot{a}}$, δX_b , $\delta X_{\tilde{n}}$ вносят в графу 9 таблицы 1.4.

Процентный вклад в неопределенность каждой выходной величины $u_i(y)$ рассчитывают по формуле:

$$u_i^2(y) \cdot \frac{100}{\sum u_c^2(y)}, \quad (1.52)$$

и вносят в графу 10 таблицы 1.3.

Расчет расширенной неопределенности.

Расширенная неопределенность отклонения действительного значения pH при 25 °C от ее номинального значения рассчитывается по формуле:

$$U = k \cdot u_{\tilde{n}}(y), \quad (1.53)$$

где k - коэффициент охвата.

Допускаем, что распределение вероятностей выходной величины нормальное, и расширенная неопределенность для нормального распределения соответствует отклонению от среднего с вероятностью охвата приблизительно 95 %, тогда коэффициент охвата $k = 2$.

Представление результата измерений.

Результат измерений представляют в виде:

$$Y = X_i \pm U. \quad (1.53)$$

Глава 2

Задачи

2.1 Задачи по расчету результатов поверки средств измерений (по видам измерений)

Задача 1. Поверка измерителей теплопроводности ИТП-МГ4 «100».

Метрологические характеристики измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 «100» приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Характеристика	Значение
Диапазон измерений теплопроводности, Вт/(м*К)	от 0,02 до 1,5
Допускаемая относительная погрешность, %	не более $\pm 5,0$

Поверка измерителей теплопроводности проводится согласно методике поверки KZ.04.02.05729-2011 «Измерители теплопроводности ИТП-МГ4 Модификации ИТП-МГ4 «100», ИТП-МГ4 «250», ИТП-МГ4 «300», ИТП-МГ4 «100/Зонд», ИТП-МГ4 «250/Зонд», ИТП-МГ4 «300/Зонд», ИТП-МГ4 «Зонд». Методика поверки МП 2413-0022-2010» и с помощью эталонных СИ, указанных в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Наименование эталона	Калиброванное значение, Вт/(м*К)	Допустимая относительная погрешность, %
Мера теплопроводности из Пеноплэкс	0,033	$\pm 3,0$
Мера теплопроводности из органического стекла	0,196	
Мера теплопроводности из кварцевого стекла	1,340	

Значения измерений полученных в ходе проведения поверки приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Наименование эталона	Измеренное значение измерителем теплопроводности ИТП-МГ4 "100", Вт/(м Φ К)		
	1	2	3
Мера теплопроводности из Пеноплэкс	0,032	0,033	0,033
Мера теплопроводности из органического стекла	0,192	0,191	0,192
Мера теплопроводности из кварцевого стекла	1,337	1,337	1,336

Из полученных результатов необходимо определить, годен ли измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «100» для дальнейшей эксплуатации. Для этого проведем сравнение относительных погрешностей прибора, полученных в ходе поверки с допустимой относительной погрешностью (таблица 2.4).

Таблица 2.4

Эталонное значение, Вт/(м Φ К)	Измеренное значение, Вт/(м Φ К)	Значение относительной погрешности прибора, %	Допустимая относительная погрешность, %
0,033	0,032	3,0	$\pm 5,0$
	0,033	0,0	
	0,033	0,0	
0,196	0,192	2,0	
	0,191	2,6	
	0,192	2,0	
1,340	1,337	0,2	
	1,337	0,2	
	1,336	0,3	

Заключение по результатам: По результатам поверки Измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «100» признается **годным** для эксплуатации и допускается к применению.

Задача 2. Поверка стеклянного капиллярного вискозиметра.

Необходимо произвести поверку капиллярного стеклянного вискозиметра типа ВПЖ-2, относительная погрешность постоянной составляет $\delta = \pm 0,3 \%$.

Применяемые средства поверки:

набор эталонных стеклянных капиллярных вискозиметров с диапазоном измерений кинематической вязкости от $4 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2/\text{с}$;

стандартные образцы кинематической вязкости жидкости или градуировочные жидкости, приготавливаемые в соответствии с МИ 1289-86;

секундомер механический по ГОСТ 8.423;

термостат жидкостный, для диапазона от 20°C до 50°C .

Постоянная вискозиметра из паспорта $\text{мм}^2/\text{с}^2$: $K_1 = 0,01018$.

Вязкость градуировочной жидкости, $\text{мм}^2/\text{с}$: $V = 4,7515$.

Ускорение свободного падения в г Астане, $\text{м}/\text{с}^2$: $g = 9,8110$.

Время истечения жидкости, с: 1) 466,18;

2) 466,20;

3) 466,19;

4) 466,16;

5) 466,18.

Среднее значение времени истечения, t , с 466,18.

Формула определения вязкости:

$$v = K \cdot t \cdot \frac{g}{9.807}, \quad (2.1)$$

где: v - кинематическая вязкость жидкости, $\text{мм}^2/\text{с}$;

K - постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

t - время течения жидкости, с;

g - ускорение свободного падения в месте измерения вязкости жидкости, $\text{м}/\text{с}^2$.

Определяем постоянную K_2 вискозиметра по формуле:

$$4,7515 : 466,18 = 0,01019. \quad (2.2)$$

Находим среднее арифметическое значение постоянной K , $\text{мм}^2/\text{с}^2$:

$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} = \frac{0,01018 + 0,01019}{2} = 0,01085.$$

Вычисляем погрешность определения постоянной, %

$$\delta = \frac{K_1 - K_2}{K} \cdot 100 \% = \frac{0,01018 - 0,01019}{0,01085} \cdot 100 \% = 0,09 \%.$$

Ответ: погрешность определения постоянной вискозиметра составляет $\delta = 0,09 \%$.

Задача 3. Поверка СИ по времени и частоте.

Объект поверки: Интеллектуальная аппаратура синхронизации SSU2000e, производства фирмы «Symmetricom Inc.», США.

Наименование применяемых эталонов и СИ, с помощью которых выполнена поверка:

стандарт частоты рубидиевый RFS;

измеритель интервалов времени и частоты SR620.

Методика поверки: СТ РК 2.59 «ГСИ РК. Меры частоты и времени высокой точности. Методика поверки»

Номинальная частота: 2,048 МГц

Измеренные значения частоты на интервале времени $\tau=100$ с (согласно таблице 2.5).

Таблица 2.5

№ п/п	Измеренные значения, МГц
1	2,047999999670
2	2,047999999650
3	2,047999999640
4	2,047999999632
5	2,047999999613
6	2,047999999666
7	2,047999999669
8	2,047999999757
9	2,047999999622
10	2,047999999639
11	2,047999999653

Задача: определить относительную разность частоты $\Delta f/f$ и среднеквадратическое относительное двух выборочное отклонение частоты (СКДО) согласно представленным значениям.

Решение:

Относительная разница $\Delta f/f = (f_{изм} - f_{ном})/f_{ном}$

Из полученного ряда наблюдений $\frac{\Delta f_1}{f}, \frac{\Delta f_2}{f}, \frac{\Delta f_3}{f}, \dots, \frac{\Delta f_n}{f}$ рассчитывают среднеквадратическое относительное отклонение частоты σ по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta f_i}{f} - \frac{\Delta \bar{f}}{f} \right)^2}{n-1}}. \quad (2.3)$$

Среднеквадратическую относительную случайную вариацию частоты за интервал времени выборки τ_b , равную σ , вычисляют по формуле (2.4):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\Delta f_{i+1}}{f} - \frac{\Delta f_i}{f} - \nu \cdot \tau_A \right)^2}{n-2}} \quad (2.4)$$

где n - число измерений, которое должно быть не менее 10;

{ - ν - относительное систематическое изменение частоты за интервал времени выборки I_b (интервал времени выборки I_b и интервал времени наблюдения I_n , должны быть измерены в одних и тех же единицах времени).

В эксплуатационной документации на меру вместо среднеквадратической относительной случайной вариации частоты может быть задано среднеквадратическое относительное двухвыборочное отклонение частоты, равное $\frac{\sigma}{\sqrt{2}}$, где σ - среднеквадратическая относительная случайная вариация частоты, рассчитанная по формуле (2.4).

Ответ: Результаты расчетов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

№ изм	Измеренные значения, МГц	Номинальная частота, МГц	Относительная разность частоты $\Delta f/f$	Стандартная неопределенность	Среднеквадратическое относительное двух выборочное отклонение частоты
1	2,047999999670	2,048	1,61E-10	1,85E-11	2,07E-11
2	2,047999999650		1,71E-10		
3	2,047999999640		1,76E-10		
4	2,047999999632		1,80E-10		
5	2,047999999613		1,89E-10		
6	2,047999999666		1,63E-10		
7	2,047999999669		1,62E-10		
8	2,047999999757		1,19E-10		
9	2,047999999622		1,85E-10		
10	2,047999999639		1,76E-10		
11	2,047999999653		1,69E-10		
Ср. знач	2,047999999656		1,68E-10		

Задача 4. Поверка анализаторов зерна и зернопродуктов.

Объект поверки: анализатор.

Наименование применяемых эталонов и СИ, с помощью которых выполнена поверка: СО состава зерна. Использовать контрольный образец пшеницы с влажностью 10,1% и белок 13,6%.

Методика поверки: KZ.04.02.05644-2011 «Анализаторы инфракрасные INFRAMATIC, производства «Pertten Instruments AB», Швеция. Методика поверки».

Диапазон измерения массовой доли компонентов: влажность в зерне (5-26)%; протеин (7-45)% .

Пределы допускаемой абсолютной погрешности анализатора: $\pm 0,5\%$.

Решение: Включить анализатор, прогреть 20 минут. Засыпать СО зерна.

На анализаторе измерить белок и влажность.

В результате измерений получили на анализаторе пять показаний по влажности и белку (таблица 2.7).

Таблица 2.7

№	Измеренное значение влажности, $W_{изм}, \%$	Среднее значение влажности, $W_{ср}, \%$	Значение влажности CO , $W_3, \%$	Полученная $\Delta, \%$	Допустимая $\Delta, \%$
1	10,2	10,2	10,1	-0,1	$\pm 0,5$
2	10,3				
3	9,9				
4	10,2				
5	10,3				
	Измеренное значение белка изм $\%$	Среднее значение белка ср $\%$	Значение белка в $CO, \%$	Полученная $\Delta, \%$	Допустимая $\Delta, \%$
1	13,8	13,8	13,6	-0,2	$\pm 0,5$
2	13,9				
3	13,8				
4	13,9				
5	13,6				

Результаты измерений анализатора соответствуют требуемым нормам.

Задача 5. Поверка амперметра.

Амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током I_p , числом номинальных делений $\alpha = 100$, имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения, проставленные на каждой пятой части шкалы (стрелки обессточенных амперметров занимают нулевое положение).

Поверка амперметра осуществлялась эталонным амперметром той же системы.

Определить поправки измерений.

Определить приведенную погрешность.

Указать к какому ближайшему стандартному классу точности относится данный прибор.

Исходные данные для выполнения задачи указаны в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Поверяемый параметр	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра
			9
Абсолютная погрешность	А	-	+0,03 +0,06 -0,05 +0,04 -0,02
Номинальный ток I_n	А	1	2,5

Поправка прибора δA – это разность между действительным значением измеряемой величины и показанием прибора, т.е.:

$$\delta A = A - A_1. \quad (2.5)$$

Поправка равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком:

$$\Delta A = - \delta A \quad (2.6)$$

Приведенная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к верхнему пределу измерения прибора.

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_n} \times 100 \%$$

3. В зависимости от степени точности, показывающие и самопишущие электроизмерительные приборы согласно ГОСТ 13600-68 делятся на девять классов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Число, обозначающее класс является наибольшей приведенной погрешностью прибора на всех отметках рабочей части его шкалы.

Результаты решения задачи записаны в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Оцифрованные деления шкалы	Абсолютная погрешность	Поправки измерений $\delta_{\text{и}}$, А	Приведенная погрешность $\gamma_{\text{и}}$, %	Ближайший стандартный класс
0,5	+0,03	-0,03	6	-
1	+0,06	-0,06	6	-

1,5	-0,05	+0,05	3,3	4
2	+0,04	-0,04	2	2,5
2,5	-0,02	+0,02	0,8	1

2.2 Задачи по расчету результатов калибровки средств измерений (по видам измерений)

Задача 1. Калибровка стеклянного жидкостного термометра.

Стеклянный жидкостной термометр (диапазон измерений от 0 °С до 50 С, цена деления 0,1 °С) калибруется электронным термометром ЛТ-300 (диапазон измерений от минус 50 °С до 300 °С, погрешность $\pm 0,05^\circ\text{C}$, цена деления 0,001 °С) в жидкостном термостате (согласно технической документации стабильность поддержания температуры $\pm 0,02^\circ\text{C}$, неоднородность $\pm 0,02^\circ\text{C}$). Калибровка проводится в точке 40 °С. Было снято 5 показаний: показания стеклянного термометра не меняются и составляют 40,1 °С; показания электронного термометра ЛТ-300: 40,046 °С; 40,031 °С; 40,041 °С; 40,025 °С; 40,042 °С. Необходимо рассчитать неопределенность при вероятности 0,95 и $k=2$. Результаты представить с точностью до двух знаков после запятой.

Решение:

Модель измерения:

$$\Delta T_x = \bar{T}_i - \bar{T}_{sm} + \delta \bar{T}_x + \delta T_s + \delta T_i + \delta T_D + \delta T_i + \delta T_T,$$

где $\delta \bar{T}_x$ – стандартного отклонения разницы среднего значения показаний температуры калибруемого термометра и ТС, °С;

δT_s – поправка, обусловленная погрешность электронного термометра ЛТ-300, °С.

δT_i – поправка, обусловленная разрешающей способностью электронного термометра ЛТ-300, °С;

δT_D – поправка, обусловленная нестабильностью воспроизводящего термостата, °С;

δT_i – поправка, обусловленная неоднородностью воспроизводящего термостата, °С;

δT_T – поправка, обусловленная разрешающей способностью калибруемого термометра, °С.

Результаты измерений сведены в таблицу 2.10.

Таблица 2.10

№	Эталонное значение, °С	Измеренное значение, °С	Отклонение ΔT_x , °С
1	40,046	40,1	0,054
2	40,031	40,1	0,069
3	40,041	40,1	0,059
4	40,025	40,1	0,075
5	40,042	40,1	0,058
Ср. зн.	40,037	40,1	0,063

Вклад в стандартную неопределенность $u_A S(\bar{T}_x)$, рассчитываем по типу А, определяется из стандартного отклонения разницы среднего значения показаний температуры калибруемого термометра и эталонного термометра, считанных несколько раз, вычисляется по формуле (2.7):

$$u_A S(\bar{T}_x) = \frac{S(\bar{T}_x)}{n} = \sqrt{\sum_{x=1}^n \frac{(\Delta T_i - \bar{T}_x)^2}{n(n-1)}}, \quad (2.7)$$

где δT_S – поправка, обусловленная погрешность электронного термометра. Диапазон возможных значений $u_A(\delta T_s)$ берется из технического описания на определенный тип термометра.

Стандартная неопределенность $u_A(\delta T_s)$ типа В в предположении прямоугольного закона распределения по формуле (2.8):

$$u_A(\delta T_s) = \frac{\delta T_s}{\sqrt{3}}, \text{ °С}, \quad (2.8)$$

где δT_i – поправка, обусловленная разрешающей способностью электронного термометра, оценивается значением, равным половине наименьшего разряда. Диапазон возможных значений $\pm r(\delta T_i)$ берется из технического описания на определенный тип термометра, где $r(\delta T_i)$ – поло-

вина величины наименьшего разряда.

Стандартная неопределенность $u_a(\delta T_i)$ типа В в предположении прямоугольного закона распределения определяется по формуле (2.9):

$$u_a(\delta T_i) = \frac{r(\delta T_i)}{\sqrt{3}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.9)$$

где δT_D – поправка обусловленная стабильностью воспроизводящего термостата, $^\circ\text{C}$. Поправка оценивается значением нуль, а границы возможных значений поправки определяются как $\pm r(\delta T_D)$, где r – предел допускаемой границы стабильности воспроизводящего термостата. Предполагаемый закон распределения величины – прямоугольный.

Пример расчета неопределенности измерений сопротивления изоляции.

Исходные данные:

Объект измерений – кабель силовой;

Измеряемая величина – сопротивления изоляции;

Единицы измерений – МОм.

Измерение сопротивления изоляции выполняется методом непосредственной оценки с помощью мегаомметра Е6-24.

Измерения проведены в диапазоне измерений мегаомметра Е6-24 от 100 до 999 МОм при температуре окружающего воздуха 22°C и относительной влажности воздуха 65 %.

Составление функции измерений.

Сопротивление изоляции определяется в соответствии со следующей функцией измерений:

$$R = R_{ind} + F_\Delta + F_c, \quad (2.24)$$

где R – сопротивление изоляции, МОм;

R_{ind} – среднее арифметическое повторных измерений сопротивления изоляции, МОм;

F_Δ – поправка, учитывающая допускаемую основную погрешность измерения сопротивления мегаомметра Е6-24, МОм;

F_c – поправка, учитывающая единицу младшего разряда, выдаваемых мегаомметром Е6-24 показаний сопротивления, МОм.

Примечание: В функции измерений не учитываются поправки $F_{\Delta t}$ и $F_{\Delta \phi}$ на дополнительные погрешности измерения сопротивления мегаомметра Е6-24, вызванные отклонением соответственно температуры и влажности окружающей среды от нормальных условий в рабочем диапазоне. Поправки будут вводиться только в случае, если измеренные значения температуры и/или относительной влажности окружающей среды находятся в рабочем диапазоне, но выходят за диапазон нормальных условий эксплуатации мегаомметра Е6-24 (значения нормальных и рабочих условий эксплуатации указаны в руководстве по эксплуатации мегаомметра Е6-24).

Анализ входных величин.

1) Среднее арифметическое повторных измерений сопротивления изоляции $R_{ind'}$ МОм.

При проведении измерений сопротивления изоляции кабеля силового получены следующие результаты повторных измерений: $R_1 = 124 \text{ МОм}$; $R_2 = 131 \text{ МОм}$; $R_3 = 137 \text{ МОм}$.

Значение оценки величины R_{ind} определяется по формуле

$$R_{ind} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{124+131+137}{3} = 130,67, \quad (2.25)$$

где R_i – результат i -го повторного измерения сопротивления изоляции, определяемый как показание, снимаемое с дисплея мегаомметра Е6-24, МОм;

n – количество повторных измерений, $n = 3$.

Стандартная неопределенность измерений величины $R_{ind'}$ МОм, рассчитывается в предположении нормального распределения вероятностей по формуле:

$$u(R_{ind}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_{ind})^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (R_i - 130,67)^2}{3 \cdot (3-1)}} \approx 3,756. \quad (2.26)$$

2) Поправка, учитывающая допускаемую основную погрешность измерения сопротивления мегаомметра Е6-24, F_{Δ} .

Значение оценки величины F_{Δ} принимается равным 0,0 МОм.

Стандартная неопределенность $u(F_{\Delta})$, МОм, оценивается на основании информации о пределах допускаемой основной абсолютной погрешности измерения сопротивления мегаомметра $E6-24 \pm \Delta$, МОм. В предположении прямоугольного распределения вероятностей значений погрешности в границах $\pm \Delta$ определяется по формуле

$$u(F_{\Delta}) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0,03 \cdot R_{md} + 3 \cdot c}{\sqrt{3}} = \frac{0,03 \cdot 130,67 + 3}{\sqrt{3}} \approx 3,995. \quad (2.27)$$

Примечание: согласно [15] пределы допускаемой основной погрешности измерения сопротивления приведены в виде $\pm (\% + \text{е.м.р.})$ т. е. для получения пределов абсолютной погрешности измерения Δ нужно воспользоваться формулой:

$$\Delta = \frac{\delta''}{100} \cdot R_{md} + m \cdot c, \quad (2.28)$$

где δ'' – допускаемая относительная погрешность измерения сопротивления, которая принимается равной первому числу, стоящему в [15] в записи пределов допускаемой основной погрешности измерения сопротивления, %;

100 – коэффициент перехода от долей к процентам, %;

m – второе число стоящее в [15] в записи пределов допускаемой основной погрешности измерения сопротивления, определяющее количество единиц младшего разряда;

c – единица младшего разряда выдаваемого мегаомметром E6-24 показания сопротивления, МОм.

3) Поправка, учитывающая единицу младшего разряда выдаваемых мегаомметром E6-24 показаний сопротивления, F_c .

Значение оценки величины F_c принимается равным 0,0 МОм.

Стандартная неопределенность $u(F_c)$, МОм, определяется на основании информации о единице младшего разряда выдаваемого мегаомметром E6-24 показания сопротивления $c = 1$ МОм (для диа-

пазона измерений мегаомметра Е6-24 от 100 до 999 МОм). В предположении прямоугольного распределения вероятностей значений величины с в границах $\pm c/2$ определяется по формуле:

$$u(F_c) = \frac{c}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{3}} \approx 0,289. \quad (2.29)$$

Анализ корреляций.

Все величины, входящие в функцию измерений (2.24), рассматриваются как некоррелированные.

Оценка измеряемой величины.

Значение оценки величины R , МОм, «сопротивление изоляции» рассчитывается по формуле:

$$R = R_{\text{изм}} + F_{\Delta} + F_{\epsilon} = 130,67 + 0,0 + 0,0 = 130,67 \approx 130,7 \quad (2.30)$$

Значение сопротивления изоляции (МОм) округляют до одного знака после запятой.

Стандартная неопределенность $u_a(\delta T_D)$ типа В в предположении прямоугольного закона распределения определяется по формуле (2.10):

$$u_a(\delta T_D) = \frac{r(\delta T_D)}{\sqrt{3}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.10)$$

где δT_i – поправка обусловленная неоднородностью воспроизводящего термостата, $^\circ\text{C}$. Поправка оценивается значением нуль, а границы возможных значений поправки определяются как $\pm r(\delta T_i)$, где r – предел допускаемой границы неоднородности воспроизводящего термостата. Предполагаемый закон распределения величины – прямоугольный.

Стандартная неопределенность $u_a(\delta T_i)$ типа В в предпо-

ложении прямоугольного закона распределения рассчитывается по формуле (2.11):

$$u_{\hat{a}}(\delta T_i) = \frac{r(\delta T_i)}{\sqrt{3}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.11)$$

где $\delta T_{\hat{o}}$ – поправка, обусловленная разрешающей способностью калибруемого термометра оценивается значением, равным половине наименьшего разряда. Диапазон возможных значений $\pm r(\delta T_{\hat{o}})$ берется из технического описания на определенный тип термометра, где $r(\delta T_{\hat{o}})$ – половина величины наименьшего разряда.

Стандартная неопределенность $u_{\hat{a}}(\delta T_{\hat{o}})$ типа В в предположении прямоугольного закона распределения определяется по формуле (2.12):

$$u_{\hat{a}}(\delta T_{\hat{o}}) = \frac{r(\delta T_{\hat{o}})}{\sqrt{3}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.12)$$

Бюджет неопределенности приведен в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Величина	Значение	Стандартная неопр..и (x_i)	Распределение	Коеф. чувст. C_i	Вклад $u_i(y)$ $C_i \cdot u(x_i)$
1	2	3	4	5	6
$\delta \bar{T}_x$	0,063	0,004	нормальное	1	0,004
δT_s	0,05	0,029	прямоуг.	1	0,029
δT_i	0,001	0,0003	прямоуг.	1	0,0003
$\delta T_{\hat{o}}$	0,02	0,012	прямоуг.	1	0,012
δT_i	0,02	0,012	прямоуг.	1	0,012
δT_T	0,1	0,029	прямоуг.	1	0,029
T_x					0,044

$$U=2\cdot0,044=0,088\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Ответ: $0,06\pm0,09\text{ }^{\circ}\text{C}.$

Задача 2. Калибровка кондуктометра.

Эталон	Стандартный образец удельной электрической проводимости жидкости $\chi_{ref}=0,008418\text{Cm/м}$ $U_{\text{эт}}=\pm0,000021\text{ Cm/м}$
Объект калибровки	Кондуктометр ΔD (цена наименьшего деления)= $0,00001\text{ Cm/м}$

$\chi_i^{cal} = \{0,00826\text{ }0,00827\text{ }0,00829\text{ }0,00829\text{ }0,00829\text{ }0,00828\text{ }0,00829\text{ }0,00829\text{ }0,00829\text{ }0\text{ Cm/м}$

Отклонение показаний кондуктометра от эталонного значения определяется по формуле (2.13):

$$\Delta = \chi^{cal} - \chi_{ref} \tag{2.13}$$

Анализ неопределенностей входных величин.

В результате анализа метода измерений установлены влияющие величины, неопределенности которых рассчитываются поэтапно для каждой входной величины, входящей в формулу (2.2.7). Неопределенности всех случайных влияющих величин оцениваются по типу А и В. Предполагается, что входные величины не коррелированы.

Оценка неопределенности входных величин приведена в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Оценка неопределенности входных величин

Параметры	Методы расчета
Входная величина: аттестованное значение контрольного раствора УЭП $X_{\text{эт}}$	Неопределенность: не оценивается. Значение оценки: значение $X_{\text{эт}}$ берется из сертификата (паспорта) ГСО УЭП.

Входная величина: среднее показание калибруемого кондуктометра $\bar{\chi}$	Тип оценивания неопределенности: А. Вид распределения: нормальное. Значение оценки: $\bar{\chi}^{cal} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i^{cal}}{n}$ Стандартная неопределенность (СКО): $u_A^{cal} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum (\chi_i^{cal} - \bar{\chi}^{cal})^2}$ где $\chi_i^{cal pH_{min}}$- значения УЭП, полученные при десяти измерениях.
Входная величина: цена наименьшего деления кондуктометра ΔD	Тип оценивания неопределенности: В. Вид распределения: прямоугольное. Стандартная неопределенность: $u_B^{cal} = \frac{\Delta D}{2\sqrt{3}}$

Бюджет неопределенности

По результатам расчетов составляется бюджет неопределенности в соответствии с таблицей 2.13.

Таблица 2.13 – Бюджет неопределенности

Входная величина, χ_i	Значение входной величины, χ_i	Единица измерения	Распределение вероятности	Тип неопределенности	Стандартная неопределенность, $u(\chi)$	Коэффициент чувствительности, c_i	Вклад неопределенности, $u(y) = c_i u(\chi)$
$X_{эм}$	0,008418	См/м	прямоугольное	В	0,0000105	1	0,0000105
$\bar{\chi}$	0,008283	См/м	нормальное	А	0,0000033	1	0,0000033
ΔD	0,00001	См/м	прямоугольное	В	0,0000029	1	0,0000029

Суммарная стандартная неопределенность результата калибровки рассчитывают по формуле (2.14):

$$u_{\Sigma} = \sqrt{u_B^{ref^2} + u_A^{cal^2} + u_B^{cal^2}} = 0,000011 \text{ См/м} \quad (2.14)$$

Расширенную неопределенность рассчитывают для нор-

мального закона распределения (при коэффициенте охвата 2, вероятности $P = 95 \%$) по формуле (2.15):

$$U(x) = k \times u_{\Sigma} = 0,000022 \text{ См/м, где } k=2, P=0,95 \% \quad (2.15)$$

Задача 3. Калибровка термогигрометра Testo 625 по каналу относительной влажности

Согласно заявки заказчика необходимо провести калибровку в точках 35 % и 70 %. Калибровка проводится в генераторе влажного газа с расширенной неопределенностью $\pm 0,4\%$.

Термогигрометр Testo 625 является погружным типом гигрометра и погружная часть вставляется в одну из ячеек камеры генератора. В генераторе задаем относительную влажность 35% , ждем стабилизацию и записываем пять повторных значений генератора и термогигрометра. Для 70% отн. влажности повторяем предыдущие действия.

Результаты измерения приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14

В точке 35%		В точке 70%	
Эталонное значение, %	Измеренное значение, %	Эталонное значение, %	Измеренное значение, %
35,0	36,2	70,0	71,8
35,0	36,2	70,0	71,8
35,0	36,2	70,0	71,8
35,0	36,2	70,0	71,8
35,0	36,2	70,0	71,8

Рассчитать неопределенность калибровки.

Решение:

При проведении многократных измерений результаты не меняются. Поэтому стандартная неопределенность равняется к нулю.

Источником неопределенности калибруемого термогигрометра является цена деления 0,1%.

Бюджет неопределенности приведен в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Величина	Значение	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Распреде- ление	Коэф. чувст. C_i	Вклад u_i (y) $C_i \cdot u(x_i)$
1	2	3	4	5	6
δRH_d	0,1	0,03	прямоуг.	1	0,03
δRH_s	0,4	0,2	нормальное	1	0,2
T_x					0,2

$$U=2 \cdot 0,2=0,4 \text{ \%}.$$

Ответ: $\pm 0,4\%$.

2.3 Примеры расчета неопределенности измерений (по видам измерений)

Пример калибровки генераторов сигналов по частоте в диапазоне 0 – 200 МГц.

Цель: Объяснение этапов калибровки погрешности и нестабильности частоты.

Область применения: калибровка охватывает диапазон частот 0...200 MHz.

АББРЕВИАТУРЫ:

TIC	Счетчик интервала времени (Time Interval Counter) или счетчик частоты
DUT	Устройство для тестирования (Device Under Test)
TFS	Стандарт частоты и времени (Time & Frequency Standart)
PC	Компьютер (Personal Computer)

Ссылки на документы:

Инструкция по эксплуатации PM6680	Руководство пользователя счетчика частоты
EA 4/02	Руководство по вычислению неопределенности
Введение в частотные калибровки	http://tf.nist.gov/service/pdf/calibrations.pdf

Описание процедуры калибровки.

Калибровка выполняется путем сравнения значения частоты знака, генерируемого стандартом частоты, с эталон-

ным стандартом времени и частоты с использованием TIC и РС. Знак, полученный от DUT, применяется к каналу В TIC, а знак 1PPS, полученный от TFS, применяется к каналу А TIC. Полученные измерения временного интервала хранятся с помощью программы сбора данных, работающей на ПК с помощью GPIB.

Объект калибровки: Погрешность и нестабильность частоты.

Диапазон измерений: 0 ... 200 МГц.

Процедура калибровки.

Схема калибровки погрешности и стабильности показана на рисунке 2.1.

Средства калибровки приведены в таблице 2.16.

Рисунок 2.1 – Схема калибровки погрешности и стабильности



Таблица 2.16

Название устройства	Марка	Модель	Серийный номер	Прослеживаемость (последний сертификат калибровки/место)
TIC	PHILIPS	PM 6680	944606680656	НМИ
TFS	HP	5071A	252	Circular T

Пояснение к процессу калибровки.

Включить DUT по крайней мере за 24 часа до начала калибровки.

Собрать схему из рисунка 2.1.

TIC поставить в режим измерения интервала времени TIME A-B.

Сделайте время измерения ТИС одиночным (single). Установите уровень триггера каналов на авто триггер. В режиме это половина значения V_p -р. Вы можете использовать это значение для запуска ТИС.

Убедитесь, что значения, прочитанные на экране ТИС, имеют смысл и что они стабильные.

Запишите данные в течение как минимум 1 часа после появления стабильных значений частоты на DUT. Используя полученные данные, вычислите f (смещение) $= \Delta T / T$ или вычислите наклон из графика $f(\Delta T, t)$. На предыдущих сертификатах калибровки должны быть указаны смещение частоты или значение погрешности частоты до калибровки.

Определите место настройки частоты DUT. Это место может находиться вне устройства, а также внутри устройства. Если устройство находится внутри, свяжитесь с соответствующей компанией по включению устройства.

Используя схему из рисунка 2.1, установите частоту DUT так, чтобы значение DUT f (смещение) $= \Delta T / T$ было нулевым или минимальным. Получите 1 час данных и вычислите f (смещение) $= \Delta T / T$. Чтобы сбросить это значение, выполните эту операцию еще несколько раз и сохраните наименьшее последнее значение, чтобы указать его в сертификате.

Получите данные в течение как минимум 24 часов (86400 с) через ТИС без изменения настройки частоты.

Вычислите значение f (смещение) $= \Delta T / T$ для использования в сертификате, используя около 24 часов (86400 с) данных, полученных с ПК. Это значение может отличаться от одночасового значения, хотя настройка частоты DUT не изменяется.

Примените статистику дисперсии Аллана или используйте программу AlaVar, адаптировав около 86400 с данных, полученных с ПК, к следующей формуле девиации Аллана:

$$y_{j+1} = x_{j+1} - x_j, \quad (2.16)$$

где x_j - показание ТИС в интервале времени в 1 секунду.
Девиация Аллана (нестабильность):

$$\sigma(y, \tau) = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{j=1}^{n-1} (y_{j+1} - y_j)^2} \quad (2.17)$$

где τ – среднее значение интервала времени.

Значения девиации Аллана в интервалах времени 1, 3, 10, 30, 100, 300, 1000, 3000, 10000 для указания в сертификате.

Для расчета неопределенности измерений выполните следующее.

Неопределенность измерения калибровки.

Определение функции модели.

Погрешность частоты:

$$f(\text{offset}) = \left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{\text{offset}} = \left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{\text{UTC(KZ)} - \text{DUT}} + \left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{\text{UTC} - \text{UTC(KZ)}} \quad (2.18)$$

где $\left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{\text{UTC(KZ)} - \text{DUT}}$ – разница в смещении частоты между DUT и TFS. Измеренное значение погрешности, полученное из анализа данных, полученных с помощью счетчика;

$\left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{\text{UTC} - \text{UTC(KZ)}}$ – погрешность или значение смещения частоты в соответствии с UTC эталонного стандарта частоты времени (TFS). Публикуется в BIPM как ежемесячный Circular T XXX.

Стабильность частоты:

$$\sigma_X(\tau) = \sqrt{\sigma_{\text{TFS}}^2(\tau) + \sigma_{\text{DUT}}^2(\tau)}, \quad (2.19)$$

где $\sigma_X(\tau)$ – вычисленное значение;

$\sigma_{\text{DUT}}(\tau)$ – нестабильность DUT;

$\sigma_{\text{TFS}}(\tau)$ – нестабильность TFS. Это достигается путем тройного сравнения трех атомных часов с использованием счетчика частоты. Эти значения указаны в таблице 17.

Таблица 2.17 – Значения нестабильности TFS

Интервал времени (τ)	$\sigma_{TFS}(\tau)$
1 s	$2,8 \times 10^{-11}$
3 s	$6,5 \times 10^{-12}$
10 s	$2,7 \times 10^{-12}$
30 s	$1,2 \times 10^{-12}$
100 s	$6,6 \times 10^{-13}$
300 s	$3,6 \times 10^{-13}$
1000 s	$1,8 \times 10^{-13}$
3000 s	$1,1 \times 10^{-13}$
10000 s	$6,7 \times 10^{-14}$

Составляющие неопределенности по погрешности:

$\left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{UTC(KZ)-DUT}$: значение неопределенности погрешности DUT от UTC(KZ) в соответствующем временном интервале ($\sigma_{DUT}(\tau)$);

$\left. \frac{\Delta f}{f} \right|_{UTC-UTC(KZ)}$: значение неопределенности TFS по погрешности или смещению частоты от UTC. Публикуется в BIPM как ежемесячный Circular T XXX.

Составляющие неопределенности по нестабильности:

$\sigma_{TFS}(\tau)$: неопределенность нестабильности стандарта частоты и времени в определенном интервале времени;

$\sigma_{DUT}(\tau)$: неопределенность нестабильности частоты DUT.
В сертификате на DUT в результатах измерений указываются значения нестабильности частоты (таблица 2.18).

Таблица 2.18

Интервал времени (τ)	Нестабильность	Неопределенность
1 s	$\sigma_{DUT}(1)$	$\sigma_{ZFS}(1)$
3 s	$\sigma_{DUT}(3)$	$\sigma_{ZFS}(3)$
10 s	$\sigma_{DUT}(10)$	$\sigma_{ZFS}(10)$
30 s	$\sigma_{DUT}(30)$	$\sigma_{ZFS}(30)$

100 s	$\sigma_{DUT}(100)$	$\sigma_{ZFS}(100)$
300 s	$\sigma_{DUT}(300)$	$\sigma_{ZFS}(300)$
1000 s	$\sigma_{DUT}(1000)$	$\sigma_{ZFS}(1000)$
3000 s	$\sigma_{DUT}(3000)$	$\sigma_{ZFS}(3000)$
10000 s	$\sigma_{DUT}(10000)$	$\sigma_{ZFS}(10000)$

Бюджет неопределенности приведен на рисунке 2.2.

Список неопределенности, охватывающий межкалибровочные интервалы (область применения) приведен в таблице 2.19.

Таблица 2.19

Объект измерений и средства калибровки/ Calibration Scope and Calibrated Instruments	Диапазон измерений / Measurement Range	Наилучшие значения измерений (выражается в виде расширенной неопределенности (k=2))/ Best Measurements Capability (Expressed as an Expanded Uncertainty (k=2))	Примечание/ Remarks
Погрешность частоты, нестабильность частоты Атомный стандарт частоты и времени Кварцевый стандарт частоты Осцилляторы	0 – 200 МГц	4×10^{-14} , $6,7 \times 10^{-14}$	Атомные часы KZ, Сличения

Рисунок 2.2 – Бюджет неопределенности

ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАПАЗОН ФУНКЦИЯ МОДЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ				Поправки частоты 0 - 100 МГц		$f(\omega) = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta f}{f} \left(\frac{1}{\omega} \right) \approx \frac{\Delta f}{f}$	
---	--	--	--	---------------------------------	--	--	--

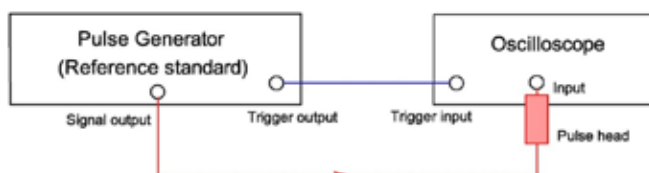
ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЙ				Стабильность частоты									
ДИАПАЗОН				0 - 100 МГц									
ФУНКЦИЯ МОДЕЛИ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ								$\sigma_F(t) = \sigma_{2\pi F}(t) + \sigma_{\Delta F}(t)$					
Исходная неопределенность				Стандартная погрешность				Коэффициенты чувствительности					
Описание	Ссылка	Заголовок	Единица измерения	Ссылка	Заголовок	Единица измерения	Распределение	Коэффициент	Ссылка	Заголовок	Единица измерения	Частота дискретизации	
Стабильность СЧД	Δf(5.701824207)	6.700E-14	Hz	Δf(5.701824207)	0	Δf(5.701824207)	Нормальное	0.5	Δf(5.701824207)	1	1.000E-05	Δf(Hz)	
Стабильность частоты ΔUT	Δf(5.701824207)	6.700E-14	Hz	Δf(5.701824207)	6.700E-14	Hz	Нормальное	1	Δf(5.701824207)	1	1.000E-05	Δf(Hz)	
								ОБЩАЯ ДИСКРЕТСИЯ					$\sigma_F^2 = 1.000E-10$
								Стандартная погрешность					$\sigma_F = 1.000E-05$
								Расширенная погрешность (k=2, 95%)					$\Delta f_{95} = 2.000E-05$

Пример калибровки времени нарастания осциллографа с частотой 20 ГГц [14].

Процедура калибровки.

В этом примере осциллограф с полосой пропускания 20 ГГц калибруется с помощью генератора импульсов (стандарт импульсов) с известным временем нарастания. Выходной сигнал стандарта импульсов подается на вход осциллографа, и время нарастания осциллографа вычисляется по показанию сигнала на дисплее осциллографа.

Рисунок 2.3 – Настройка для калибровки времени нарастания



Измерительная установка в основном состоит из трех компонентов:

- 1) генератор импульсов (PSPL 41016);
- 2) импульсная головка;
- 3) осциллограф (DUT).

При непосредственном подключении внешней импульсной головки к осциллографу устраняются потенциальные искажения, вызванные соединительной линией. Чтобы обеспечить четкое отображение нарастающего или спадающего фронта, сигнал запуска генератора импульсов опережает импульс на 50 нс.

Модель оценки.

Время нарастания осциллографа определяется по формуле:

$$t_{r\text{ DUT}} = \sqrt{t_{r\text{ meas}}^2 - t_{r\text{ standard}}^2} + \delta t_{\text{method}}, \quad (2.20)$$

здесь:

$$t_{r\text{ meas}} = t_{90} - t_{10} + \delta t_{\text{timebase}} + \delta t_{\text{toplevel}} + \delta t_{\text{reflevel}}, \quad (2.21)$$

где $t_{r\text{ DUT}}$ - время нарастания калибруемого осциллографа (результат измерения);

t_{r_meas} - измеренное время нарастания, отображаемое осциллографом;

$t_{r_standard}$ - время нарастания эталонного импульса (указано в сертификате калибровки);

δt_{method} - коррекция из-за ошибки геометрического вычитания;

t_{10} - измеренное время на осциллографе при уровне 10% от полного импульсного напряжения;

t_{90} - измеренное время на осциллографе при уровне 90% от полного импульсного напряжения;

$\delta t_{timebase}$ - коррекция из-за временной базы осциллографа;

$\delta t_{toplevel}$ - коррекция из-за верхнего уровня отображаемого напряжения;

$\delta t_{reflevel}$ - коррекция за счет 10% и 90% уровня полного импульсного напряжения.

Расчет погрешностей измерений.

Метод калибровки основан на прямом измерении. Модельное уравнение также является фундаментальным уравнением для анализа неопределенности. Для расчета неопределенности измерений принимаются во внимание следующие данные и вклады в неопределенность:

а) для импульсного генератора PSPL 4016 время нарастания $t_{r_standard} = 6,0 \text{ пс} \pm 1,9 \text{ пс}$;

б) для измерения времени нарастания осциллографа t_{r_meas} .

Вклады неопределенности и неизвестные поправки, соответственно, являются результатом определения базового значения (0% напряжения), верхнего значения (100% напряжения), точек напряжения 10% и 90% и несовершенства временной базы (точность временной базы $\delta t_{timebase}$).

Иногда может потребоваться определить время нарастания между уровнями напряжения от 20% до 80% на переднем или падающем фронте. Для гауссовских нижних частот может быть применено следующее преобразование:

$$t_r = t_{r10-90} = 1.5227 \cdot t_{r20-80} . \quad (2.22)$$

Вклад неопределенности:

$t_{r_standard}$	В качестве стандарта импульсов используется генератор импульсов типа PSPL 4016 (Лаборатории пикосекундных импульсов). Он генерирует импульсы напряжения с резким падением и амплитудой около -5В. Чтобы избежать повреждения головки выборки осциллографов из-за высокой амплитуды импульсов, между импульсной головкой и входом осциллографа вставлен аттенюатор на 20 дБ. В этой конфигурации сам стандарт импульса был откалиброван. Время нарастания $t_{r_standard} = 6,0 \text{ пс} \pm 1,9 \text{ пс}$ (коэффициент покрытия $k = 2$ от расширенной неопределенности) указано в соответствующем сертификате. Импульсный генератор PSPL 4016 не следует использовать для калибровки осциллографов с частотой более 30 ГГц, поскольку погрешность измерения значительно возрастет, поскольку время нарастания осциллографа короче по сравнению со временем нарастания стандарта.
t_{r_meas}	Время нарастания t_{r_meas} определяется по показаниям дисплея осциллографа. Он задается как $t_{r_meas} = t_{90} - t_{10}$. Сначала определяется 100%-ный уровень импульсного напряжения V_{100} при включенном режиме усреднения. Далее, на уровнях $0,9 \cdot V_{100}$ и $0,1 \cdot V_{100}$, среднее значение повторных измерений t_{90} и t_{10} определяется в окне 4 мВ. Разница между двумя средними значениями дает время нарастания t_{r_meas}.
t_{90}	Измеренное время при уровне напряжения осциллографа $0,9 \cdot V_{100}$. Стандартная неопределенность t_{90} определяется методом «Типа А». Для $t_{90} = 29 \text{ пс}$ мы получаем: $u(t_{90}) = 0,2 \text{ пс}$.
t_{10}	Измеренное время при уровне напряжения осциллографа $0,1 \cdot V_{100}$. Стандартная неопределенность t_{10} определяется методом «Типа А». Для $t_{10} = 10,8 \text{ пс}$ мы получаем: $u(t_{10}) = 0,2 \text{ пс}$.
$\delta t_{timebase}$	Неизвестная коррекция из-за дискретизации временной базы. Оценочное значение временной базы $\delta t_{timebase}$ равно временной базе $\delta t_{timebase} = 0 \text{ пс}$. Из калибровки временной базы известны только нижний и верхний пределы: -0,4 пс и +0,4 пс соответственно. Следовательно, неопределенность временной базы $\delta t_{timebase}$ определяется оценкой стандартной неопределенности "Типа В", предполагающей прямоугольное распределение.
$\delta t_{toplevel}$	Неизвестная коррекция из-за измерения импульсного напряжения верхнего уровня (100%). Поскольку вершина импульса не является идеально ровной, напряжение верхнего уровня V_{100} определяется с относительным отклонением не более 2%. Таким образом, измеренное время нарастания t_{r_meas} имеет такое же относительное отклонение в 2%. При значении $t_{r_meas} = 9,2 \text{ пс}$ абсолютное отклонение, обусловленное измерением верхнего уровня, составляет $\delta t_{toplevel} = 0,18 \text{ пс}$. Оценочное значение $\delta t_{toplevel}$ верхнего уровня равно $E[\delta t_{toplevel}] = 0 \text{ пс}$. Только нижний и верхний пределы -0,18 пс и +0,18 пс, соответственно, известны. Таким образом, неопределенность верхнего уровня $\delta t_{toplevel}$ определяется методом "Типа В", предполагающим прямоугольное распределение.

$\delta t_{\text{reflevel}}$	Неизвестная коррекция из-за отклонений уровня напряжения 90% и 10%. Определение точек t_{90} и $t_{10'}$, соответствующих уровням напряжения V_{90} и $V_{10'}$, связано с неопределенностью, которая оценивается в 0,5% от V_{100}. Поскольку наклон характеристики $v-t$ задается $\Delta u/\Delta t = 0,8 \cdot 0,5B/9,2$ пс, отклонения δt_{90} и δt_{10} от измеренных времен t_{90} и t_{10} приводят к 0,06 пс каждое. Поскольку эти отклонения некоррелированы, общее отклонение составляет $\delta t_{\text{reflevel}} = 0,08$ пс. Оценочное значение $\delta t_{\text{reflevel}}$ равно $E[\delta t_{\text{reflevel}}] = 0$ пс с максимальным отклонением +0,08 пс и -0,08 пс соответственно. Поскольку известны только пределы отклонения, неопределенность, вызванная уровнем $\delta t_{\text{reflevel}}$ определяется методом "Типа В", предполагающим прямоугольное распределение.
δt_{method}	Неизвестная коррекция из-за упрощенного геометрического вычитания измеренного времени нарастания и времени нарастания эталона импульса. Оценочное значение δt_{method} равно $E[\delta t_{\text{reflevel}}] = 0$ пс с максимальным отклонением $\pm 0,37$ пс (2 % от 18,5 пс). Поскольку известны только пределы отклонения, неопределенность, вызванная методом δt, определяется методом "Типа В", предполагающим прямоугольное распределение.

Поскольку измерение проводилось в режиме статистики, дрожание не оказывает никакого влияния на результат измерения (режим статистики - это режим отображения без усреднения, но суперпозиция нескольких графиков в одном всеобъемлющем представлении, по толщине результирующего графика можно определить интенсивность дрожания). Влияние джиттера на измерение времени нарастания обсуждается в W.Maichen Digital Timing Measurements Frontiers in Electronic Testing, Springer 2006.

Бюджет неопределенности (время нарастания $t_{r,DUT}$ осциллографа с частотой 50 ГГц) приведен в таблице 2.20

Таблица 2.20

Символ X_i	Оценка x_i	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Вероятность распределение	Коэффициент чувствительности* c_i	Неопределенность вклада** $u_i(y)$
1	2	3	4	5	6
t_{standard}	6,00 пс	0,95 пс	Нормальное	0,86	0,82 пс
t_{90}	29,30 пс	0,20 пс	Прямоугольное	1,3	0,26 пс

t_{10}	10,80 пс	0,20 пс	Прямоугольное	1,3	0,26 пс
1	2	3	4	5	6
δt_{method}	0,0 пс	0,21 пс	Прямоугольное	1	0,21 пс
$\delta t_{\text{timebase}}$	0,0 пс	0,23 пс	Прямоугольное	1,3	0,30 пс
$\delta t_{\text{toplevel}}$	0,0 пс	0,09 пс	Прямоугольное	1,3	0,12 пс
$\delta t_{\text{reflevel}}$	0,0 пс	0,05 пс	Прямоугольное	1,3	0,07 пс
t_{r_DUT}	17,5 пс				0,98 пс

* Коэффициенты чувствительности c_i определяются как частные производные модели оценки по отношению к входной величине x_i .

** Предполагается, что вклады неопределенности некоррелированы.

Расширенная неопределенность.

Расширенная неопределенность, связанная с измерением времени нарастания t_{r_DUT} осциллографа, равна:

$$U(t_{r_DUT}) = k \cdot u(t_{r_DUT}) = 2 \cdot 0.96 \text{ ps} = 1.9 \text{ ps} . \quad (2.23)$$

Оформление результатов.

Осциллограф с частотой 20 ГГц имеет время нарастания $t_{r_DUT} = 17,5 \text{ пс} \pm 2,0 \text{ пс}$.

Сообщаемая расширенная неопределенность времени нарастания указывается как стандартная неопределенность измерения, умноженная на коэффициент покрытия $k=2$, что для нормального распределения соответствует вероятности покрытия приблизительно 95%.

Пример расчета неопределенности мембранного вакуумметра.

Эталон: Мембранный вакуумметр с цифровой индикацией 5,5-разрядный.

Диапазон измерения: 0,001 до 100 мбар.

Объект калибровки (KG): Мембранный вакуумметр с цифровой индикацией 4,5-разрядный.

Диапазон измерения: 0,01 до 100 мбар.

Калибровочное давление (номинальное): 5 мбар.

Показание эталона: 5,078 мбар.

Воздействия, обусловленные процедурой калибровки:

Разность высотных отметок подключения эталона и объекта калибровки: $15 \text{ см} \pm 1 \text{ см}$.

Температура комнаты и оборудования: $23,0^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Вклад в неопределённость $u_{N'}$ вносимый эталоном:

$u_{\text{Anz}'N}$ - в качестве опции рабочий прибор позволяет также образовать среднее значение измерений давления. Вследствие этого стабилизируется индикация давления и уменьшается рассеяние измеренных значений. Неопределённость оценивается как $\pm 1 \oplus 10^{-4}$ мбар.

$u(2a) = 2 \oplus 10^{-4}$ мбар.

$u_{\text{offS},N}$ - неопределённость значений смещения (нулевой отметки), может быть рассчитана для нулевой отметки через температурный коэффициент.

Температурный коэффициент/

нулевая отметка = 0,0004 % от конечного значения/ $^\circ\text{C}$;

= $0,000004 \cdot 100 \text{ мбар}/^\circ\text{C}$;

= $4 \cdot 10^{-4} \text{ мбар}/^\circ\text{C}$;

= коэффициент чувствительности c_j ;

(Колебание температуры составляет $\pm 1^\circ\text{C}$).

$u_{D,N}$ - неопределённость измерения эталона вследствие дрейфа нуля с момента его установки. Данная неопределённость измерений выводится из обнаруженных нулевых флуктуаций. $u(2a) = 6 \oplus 10^{-4}$ мбар.

$u_{\text{cal},N}$ - составляющая неопределённости, обусловленная эталоном согласно сертификату калибровки:

$u(2\sigma) = 0,15\%$ от измеренного значения = 0,0015 5 мбар
= $7,3 \cdot \oplus 10^{-3}$ мбар.

$u_{I,n}$ - составляющая неопределённости, учитывающая долговременную нестабильность. Эмпирические значения РТВ: 0,1 % от измеренного значения $u = 0,001 \cdot 5 \text{ мбар} = 0,005 \text{ мбар}$.

$u_{t,n}$ - составляющая неопределённости, обусловленная влиянием температуры в условиях калибровочной лаборатории.

Температурный коэффициент/

усиление = 0,001 % от измеренного значения /°C

$$= 0,00001 \cdot 5 \text{ мбар/}^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,00005 \text{ мбар/}^{\circ}\text{C}$$

= коэффициент чувствительности c_i

(Колебание температуры составляет $\pm 1^{\circ}\text{C}$)

$u_{s,n}$ - составляющая неопределённости, обусловленная особыми условиями в калибровочной лаборатории. Дальнейшие факторы влияния на неопределённость измерения неизвестны, поэтому данный вклад в неопределённость равен нулю.

Вклад в неопределённость $u_{kg'}$, вносимый объектом калибровки:

$u_{Anz,KG}$ - составляющая неопределённости, обусловленная недостаточной повторяемостью. Данные согласно производителю: 0,08 % от измеренного значения. $u(2\sigma) = 0,0008 \oplus 5 \text{ мбар} = 0,004 \text{ мбар}$ $u_{offS,KG}$ Составляющая неопределённости, обусловленная смещением на момент измерения смещения. Данная неопределённость обусловлена главным образом цифровой разрешающей способностью: $u(2\sigma) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ мбар}$.

$u_{d,kg}$ - неопределённость смещения на момент калибровки вследствие дрейфа смещения. Неопределённость значений смещения (нулевой отметки), может быть рассчитана для нулевой отметки через температурный коэффициент.

Температурный коэффициент/

нулевая отметка = 0,002 % от конечного значения /°C

$$= 0,00002 \cdot 100 \text{ мбар/}^{\circ}\text{C}$$

$$= 2 \cdot 10^{-3} \text{ мбар/}^{\circ}\text{C}$$

= коэффициент чувствительности c_i

(Колебание температуры составляет $\pm 1^{\circ}\text{C}$)

$u_{t,kg}$ - составляющая неопределённости, обусловленная влиянием температуры.

Температурный коэффициент /

интервал = 0,01 % от измеренного значения/°C

$$= 0,0001 \cdot 5 \text{ мбар/}^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,0005 \text{ мбар/}^{\circ}\text{C}$$

$$= \text{коэффициент чувствительности } c_i$$

(Колебание температуры составляет $\pm 1^{\circ}\text{C}$)

Вклад в неопределённость, вносимый процедурой калибровки:

$u_{t,v}$ - составляющая неопределённости, обусловленная отклонениями давлений на соединительных фланцах вследствие разных температур. Максимальная разность температур газа на соединительных фланцах оценивается как 0,02 °C (обусловленная потоком воздуха). Так как объем остаётся постоянным, результирующая разность давлений может быть рассчитана с помощью закона Гей-Люссака.

$$p/p_0 = T/T_0 = 296,17 \text{ К}/296,15 \text{ К} = 1,000068,$$

т.е. 0,0068 % $p/\text{К} = 0,00034 \text{ мбар/К}$ = коэффициент чувствительности c_p .

Примечание: Данная составляющая неопределённости не имеет поправочного компонента, но вносит вклад в неопределённость измерений.

$u_{k,v}$ - составляющая неопределённости, обусловленная разностью гидростатических давлений при различной высоте соединительных фланцев:

Δp	$= p \cdot g \cdot h$	Единица
$= 1,27 \cdot 10^{-3}$	$(p / \text{мбар}) \cdot 9,81 \cdot (h / \text{м})$	$\text{кг/м}^3 \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{м}$
$= 1,2 \cdot 10^{-2}$	$(p / \text{мбар}) \cdot (h / \text{м})$	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{м}^{-2}$
$= 1,2 \cdot 10^{-2}$	$(p / \text{мбар}) \cdot (h / \text{м})$	$\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$
$= 1,2 \cdot 10^{-4}$	$(p / \text{мбар}) \cdot (h / \text{м})$	$\text{Па} \cdot 0,01 \text{ мбар} / \text{Па}$
$= 1,2 \cdot 10^{-4}$	$(p / \text{мбар}) \cdot (h / \text{м})$	мбар

где $\rho = \rho_0 \cdot p/p_0 = 1,2929 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot p / 1013 \text{ мбар} = 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot (p / \text{мбар}) \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, где $\rho_0 = 1,2929 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ (273,15 К; 1013,25 мбар).

Примечание: При расчёте Δp давление p должно быть задано в мбар и высота h в м. Результирующее числовое значение для Δp указывается тогда в мбар.

Отклонение при 5 мбар и разности высот 0,15 м составляет:

$$\Delta p = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (5 \text{ мбар} / \text{мбар}) \cdot (0,15 \text{ м} / \text{м}) = 0,00009 \text{ мбар}.$$

Коэффициент чувствительности $c_i = \rho \cdot g = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\rho / \text{мбар}) \text{ мбар м}^{-1}$. При измеряемом давлении 5 мбар коэффициент чувствительности $c_i = 0,0006 \text{ мбар} / \text{м}$. Неопределённость разности высот составляет $\pm 0,01 \text{ м}$.

$u_{m,v}$ - составляющая неопределённости, обусловленная отклонениями, связанными с методикой измерений. При величине утечки, равной $5 \cdot 10^{-6} \text{ мбар л/с}$ давление в котле (20 л) увеличивается за 20 с на $5 \cdot 10^{-6} \text{ мбар}$. Данное изменение давления не берётся в качестве поправки, но вносит вклад в неопределённость измерений.

Бюджет неопределённости измерений для мембранного вакуумметра при калибровочном давлении 5 мбар приведен в таблице 2.21.

Таблица 2.21

Величина	Оценка	Ширина Распределения	Распределение*)	Делитель	Неопределённость	Коэффициент чувствительности	Вклад в неопределённость	Индекс
X,	X,	2a			$u(x)$	Ci	$ui(y)$	
	мбар						мбар	%
$P_{Anz,N}$	5,078	2,00E-04 мбар	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-05 мбар	1,0	5,77E-05	0,0
$P_{Offs,N}$	0	2 °C	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-01 °C	4,0E-04 мбар/°C	2,31 E-04	0,2
$\delta p_{D,N}$	0	6,00E-04 мбар	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	1,73E-04 мбар	1,0	1,73E-04	0,1
$\delta p_{Cal,N}$	-0,003	7,30E-03 мбар	Н	2	3,65E-03 мбар	1,0	3,65E-03	48,5
$\delta p_{L,N}$	0	1,00E-02 мбар	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	2,89E-03 мбар	1,0	2,89E-03	30,3
$\delta p_{j,N}$	0	2 °C	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-01 °C	5,0E-05 мбар/°C	2,89E-05	0,0
$\delta p_{s,N}$	0	0				1,0	0	0,0
p_N	5,075						0,0047	79,1
p_{AnzKG}	5,140	0,004 мбар	Н	2	2,00E-03 мбар	1,0	2,00E-03	14,5

$p_{\text{Offs,KG}}$	0	2,00E-03 мбар	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-04 мбар	1,0	5,77E-04	1,2
$\delta p_{\text{D,KG}}$	0	2 °C	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-01 °C	2,0E-03 мбар/°C	1,15E-03	4,8
$\delta p_{\text{T,KG}}$	0	2 °C	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-01 °C	5,0E-04 мбар/°C	2,89E-04	0,3
p_{KG}	5,140						0,0024	20,9
$\delta_{\text{T,V}}$	0	0,02 °C	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-03 °C	3,4E-04 мбар/°C	1,96E-06	0,0
$\delta p_{\text{K,V}}$	-9,0E-05	0,02 м	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	5,77E-03 м	6,0E-04 мбар/м	3,46E-06	0,0
$\delta p_{\text{M,V}}$	0	5,00E-06 мбар	П	$2 \cdot \sqrt{3}$	1,44E-06 мбар	1,0	1,44E-06	0,0
δp_{V}	-9,0E-05						0,00000	0,0
Δp	0,0649	Расширенная неопределённость измерения $U = \kappa \cdot u$ ($\kappa = 2$):					0,0106	100,0

* П - прямоугольное распределение;
Н - нормальное распределение.

Результат:

Погрешность измерений объекта калибровки составляет таким образом:

$$\Delta p = 0,0649 \text{ мбар} \pm 0,0106 \text{ мбар.}$$

Примечание: Значения, указанные в колонке «Индекс» выражают процентную долю частичных неопределенностей измерений в суммарной неопределённости измерений и наглядно показывает сравнительную оценку отдельных влияющих величин. Их расчёт не является предписанием, тем не менее он показывает, каким путём целесообразно пойти для уменьшения неопределённости измерения.

Суммарная стандартная неопределенность.

Суммарная стандартная неопределенность измерений сопротивления изоляции силового кабеля $u(R)$, МОм, определяется по формуле:

$$u(R) = \sqrt{u^2(R_{ind}) + u^2(F_\Delta) + u^2(F_c)} = \sqrt{3,756^2 + 3,995^2 + 0,289^2} \approx 5,491. \quad (2.31)$$

Процентные вклады неопределенностей влияющих величин в суммарную стандартную неопределенность $u(R)$ определяются по формулам:

$$\delta_{R_{ind}} = \frac{u^2(R_{ind})}{u^2(R)} \cdot 100 \% = \frac{(3,756)^2}{(5,491)^2} \cdot 100 \% \approx 46,8 \%. \quad (2.32)$$

$$\delta_{F_\Delta} = \frac{u^2(F_\Delta)}{u^2(R)} \cdot 100 \% = \frac{(3,995)^2}{(5,491)^2} \cdot 100 \% \approx 52,9 \%, \quad (2.33)$$

$$\delta_{F_c} = \frac{u^2(F_c)}{u^2(R)} \cdot 100 \% = \frac{(0,289)^2}{(5,491)^2} \cdot 100 \% \approx 0,3 \%. \quad (2.34)$$

Бюджет неопределенности.

Бюджет неопределенности измерений сопротивления изоляции силового кабеля представлен в таблице 2.22.

Таблица 2.22 – Бюджет неопределенности измерений сопротивления изоляции силового кабеля

Величина	Единица измерения	Значение оценки	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность	Процентный вклад, %
R_{ind}	МОм	130,67	Нормальное	3,756	46,8
F_Δ		0,0	Прямоугольное	3,995	52,9
F_c		0,0	Прямоугольное	0,289	0,3
R		130,67	Стьюдента	5,491	100

Расширенная неопределенность.

Расширенная неопределенность измерений сопротивления изоляции силового кабеля $U(R)$, МОм, определяется для вероятности 95 % в предположении распределения Стьюдента по формуле

$$U(R) = k \cdot u(R) = 2,26 \cdot 5,491 = 12,410 \approx 12,5, \quad (2.35)$$

где коэффициент охвата $k = 2,26$, выбирается в зависимости от числа эффективных степеней свободы ν_{eff} которое рассчитывается по формуле:

$$v_{eff} = \frac{u^4(R) \cdot (n-1)}{u^4(R_{ind})} = \frac{(5,491)^4 \cdot (3-1)}{(3,756)^4} \approx 9,14, \quad (2.36)$$

Результат измерения.

Сопротивление изоляции силового кабеля составило:

$(130,7 \pm 12,5) \text{ МОм}$ ($k = 2,26$, $v_{eff} = 9,14$, $P = 95 \%$).

Пример расчета неопределенности при калибровке гири.

$m_c = 500 \text{ г}$ с допустимым отклонением $0,500 \text{ г}$.

Применяемые рабочие эталоны:

набор гирь эталонных ГО-II 1110-II разряд №1;

компаратор весы ВЛО – 1 кг – цена деления $0,005 \text{ мг}$;

номинальная масса эталонной гири: $m_s = 499,997600 \text{ кг}$;

расширенная неопределенность $U(m_s) = 0,00010 \text{ г}$ для вероятности $p = 0,95$.

Модельное уравнение:

$$\otimes = m_c - (m_s + \otimes m_D) + (m_0 + \otimes B + \otimes m_0),$$

где m_c – масса калибруемой гири;

m_s – масса эталонной гири;

$\otimes m_D$ – изменение массы эталонной гири со времени последней калибровки ($\pm 0,0000001 \text{ г}$);

m_0 – показания компаратора;

$\otimes B$ – нелинейность компаратора ($0,0000005 \text{ г}$);

$\otimes m_0$ – погрешность квантования компаратора ($1/2$ цены деления $\pm 0,00000025 \text{ г}$);

$u(m_0)$ – оценка по типу А на основе результатов многократных измерений массы гири.

Результаты измерения приведены в таблице 2.23.

Таблица 2.23 – Результаты измерения

Номер измерения	1	2	3	4
$m_0, \text{ г}$	-0,152600	-0,150000	-0,150650	-0,1510833

Расчет стандартной неопределенности $u(m_0)$ по типу А:

$$u_A(m_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_{0i} - \bar{m}_0)^2}{n(n-1)}} = 0,00078113 \text{ } \tilde{a}$$

Расчет стандартных неопределенностей по типу В:

$$u_B(m_s) = \frac{U(m_s)}{2} = 0,00005 \text{ } \tilde{a}, \quad u_B(\Delta m_D) = \frac{\Delta m_D}{\sqrt{3}} = 0,00000006 \text{ } \tilde{a},$$

$$u_B(\Delta m_D) = \frac{\Delta B}{\sqrt{3}} = 0,00000029 \text{ } \tilde{a}, \quad u_B(\Delta m_0) = \frac{\Delta m_0}{\sqrt{3}} = 0,00000014 \text{ } \tilde{a}$$

Оценка выходной величины

$$\Delta = m_c - m_s + m_0 = 500 - 499,9976 - 0,15101833 = -0,1486833.$$

Бюджет неопределенности калибровки приведен в таблице 2.24.

$$u_c = \sqrt{\sum_i c_i^2 u_i^2} = \sqrt{u^2(m_s) + u^2(\Delta m_D) + u^2(\bar{m}_0) + u^2(\Delta m_c) + u^2(\Delta B)}.$$

Таблица 2.24

Входная величина, г	Значение входной величины, г	Тип распределения	Закон распределения	Неопределенность входной величины, $u(x_i)$, г	Коэфф. чувств c_i	$c_i^2 u^2(x_i)$
m_c	500	-	-	-	-	-
m_s	499,9976	В	Прямоуг.	0,00005	1	25×10^{-10}
$\otimes m_D$	0	В	Прямоуг.	0,00000006	1	36×10^{-16}
	-0,1510833	А	Нормальн.	0,00078113	1	$61,016408 \times 10^{-8}$
$\otimes m_c$	0	В	Прямоуг.	0,00000014	1	$1,96 \times 10^{-14}$
$\otimes B$	0	В	Прямоуг.	0,00000029	1	$8,41 \times 10^{-14}$
Выходная величина, г	Значение выходной величины, г				Суммарная стандартная неопределенность выходной величины u_c	
$\otimes$	-0,1486833				0,000782729	

Расчет расширенной неопределенности производится по формуле:

$$U = k u_c.$$

Для нормального закона распределения коэффициент охвата $k = 1,96$.

$$U = 1,96 \times 0,000782729 = 0,00153414884 \approx 0,0015 \text{ г.}$$

В нашем случае самый большой вклад в суммарную неопределенность дает неопределенность измерений массы гири, которая проведена с недостаточной статистикой, поэтому целесообразно в качестве коэффициента охвата взять коэффициент Стьюдента для

$$= n - 1 = 2 \quad t_{0,95} = 4,30.$$

С учетом этого $U = 4,30 \times 0,000782729 = 0,0033657347 \approx 0,003 \text{ г.}$

$$U = 0,003 \text{ г}$$

Представление результата измерений:

$$\otimes = (-0,149 \pm 0,003) \text{ г}$$

Расширенная неопределенность эталонной гири
 $U(m_s) = 0,00010 \text{ г}$

Пример расчета неопределенности измерений УЭП.

Измерительная задача: измерение УЭП раствора хлористого калия.

Схема или план измерения:

измеряемый раствор - термостатирование - измерение на кондуктометре;

используемое оборудование:

кондуктометр Seven S70K 2 разряда, диапазон измерения УЭП от 1×10^{-6} до 100 См/м, относительная погрешность $\pm 0,5 \%$;

термостат жидкостный ТЖ-ТС-01Н, от 0 до 100 °С, предел допускаемой погрешности поддержания температуры $\pm 0,02$ °С;

условия измерения:

температура окружающего воздуха, °C 20,2;

относительная влажность, % 75;

атмосферное давление, кПа 96,5;

напряжение питания, В 220;

частота питающего напряжения, Гц 50.

Измеряемый раствор хлористого калия находится в термостате при определенной температуре, поэтому условия окружающей среды не учитываются. Измерения проводятся при заданной температуре раствора 25 °C.

А.1 Получено 10 независимых измерений величины УЭП калия хлористого в одинаковых условиях:

9,10; 9,10; 9,10; 9,10; 9,10; 9,10; 9,10; 9,10; 9,10; 9,10
См/м.

Оценкой величины X_i будет среднее арифметическое значение или среднее значение $\bar{X}$ из n наблюдений X_i ($i=1, 2, \dots, 10$):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 9,10 \text{ См/м.}$$

Результаты вносим в графу 4 таблицы 2.25.

Стандартная неопределенность величины X_i рассчитывается по формуле:

$$u(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{\delta})^2} = 0. \quad (2.37)$$

Результат вносим в графу 7 таблицы 2.25.

А.2 Отклонением оценки величины δX_a будет погрешность кондуктометра равная 0,5%.

Погрешность кондуктометра выразим в См/м, для чего относительную погрешность кондуктометра умножим на по-

лученные показания кондуктометра X_i и разделим на 100%.

$$\frac{0,5 \cdot 9,10}{100} = 0,0455 \text{ См / м.}$$

Тогда стандартная неопределенность равна:

$$u(\delta X_a) = 0,0455 / \sqrt{3} = 0,0263 \text{ См / м.}$$

Значение вычисленной стандартной неопределенности вносим в графу 7 таблицы 2.25.

А.3 Отклонением оценки величины $\delta X_{\hat{a}}$ будет погрешность поддержания температуры термостатом. Погрешность поддержания температуры термостатом $\delta X_{\hat{a}}$ берется из сертификата о поверке и равна 0,02 °С.

Переведем значение погрешности поддержания температуры термостатом в единицы УЭП, для чего погрешность умножим на полученные показания X_i и разделим на 25°С.

$$\frac{0,02 \cdot 9,10}{25} = 0,00728 \text{ См / м.}$$

Определяется стандартная неопределенность:

$$u(\delta X_b) = 0,00728 / \sqrt{3} = 0,0042 \text{ См / м.}$$

Полученное значение вносим в графу 7 таблицы 2.25.

А.4 Отклонением оценки величины $\delta X_{\hat{n}}$ будет разрешение цифрового табло кондуктометра, которое для поддиапазона, в котором проводятся настоящие измерения равно 0,01См/м.

Тогда стандартная неопределенность $u(\delta X_c)$ равна:

$$u(\delta X_c) = \frac{\delta X_c}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29 \delta X_c = 0,29 \cdot 0,01 = 0,0029 \text{ См / м.}$$

Полученное значение вносим в графу 7 таблицы 2.25.

А.5 Перемножением граф 7 и 8 соответственно получим значения вкладов выходных величин и внесем их в графу 9 таблицы 2.25.

А.6 Рассчитывают суммарную стандартную неопределенность для выходной величины:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2(X_i) + u^2(\delta X_a) + u^2(\delta X_{\hat{a}}) + u^2(\delta X_{\hat{n}})} = \\ = \sqrt{0,0^2 + 0,026^2 + 0,004^2 + 0,003^2} =$$

$$= \sqrt{0,0 + 0,000676 + 0,000016 + 0,000009} = \sqrt{0,000701} = 0,02648 = 0,03 \text{ См / м.}$$

Полученное значение вносим в графу 7 таблицы 2.25.

А.7 Рассчитываем процентный вклад в неопределенность выходной величины каждой входной величины и заполняем графу 10 таблицы 2.25.

Таблица 2.25 – Бюджет неопределенности измерений

Величина X_i	Единица измерения	Оценка X_i	Максимально возможные отклонения	Тип неопределенности	Распределение вероятности	Стандартная неопределенность $u(\delta)$	Коэффициент чувствительности C_i	Вклад $u_c(y) = C_i \cdot u(X_i)$	Процентный вклад
X_i	См/м	0	9,10	А		0	1	0	0
$\delta X_{\hat{a}}$	См/м	0	0,0455	В	Прямоугольное	0,026	1	0,026	96,4
$\delta X_{\hat{a}}$	См/м	0	0,00728	В	Прямоугольное	0,004	1	0,004	2,3
$\delta X_{\hat{n}}$	См/м	0	0,01	В	Прямоугольное	0,003	1	0,003	1,3
Y	См/м	y	y		Нормальное	0,03			

А.7 Рассчитываем расширенную неопределенность:

$$U = k \cdot u_c(y) = 2 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ См / м.}$$

А.8 Полный результат измерений представляют в виде:

$$Y = (9,10 \pm 0,06) \text{ См / м.}$$

Измеренное значение УЭП раствора калия хлористого составляет $(9,10 \pm 0,06)$ См/м. Указанная расширенная неопределенность получена умножением стандартной неопределенности измерения на коэффициент охвата $k=2$. Она соответствует нормальному распределению с вероятностью охвата приблизительно 95 %.

Рекомендуемая литература

Tassey, Gregory (2017). "The Roles and Impacts of Technical Standards on Economic Growth and Implications for Innovation Policy," *Annals of Science and Technology Policy*, 1: 215–316.

US National Institute of Standards and Technology, viewed 3 September 2013, <http://www.nist.gov/director/planning/summary-studies.cfm>.

R. Schwartz, M. Borys, F. Scholz, Guide to Mass Determination with High Accuracy, HND-MA-80e, Braunschweig, March 2007.

OIML R 111–1:2004 Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3 . Part 1: Metrological and technical requirements.

KOOMETR/GM/11:2008 Положение о сличениях эталонов национальных метрологических институтов KOOMET.

Шишмарёв, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 377 с.

СТ КазСтандарт 48. Меры наружных и внутренних диаметров методика калибровки.

Herrmann K. Hardness testing. Principles and application – 1-е изд. - USA: ASM International, 2011. - 247 с.

СТ РК 2.118 ГСИ РК. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах.

СТ РК 2.349 ГСИ РК. Газоанализаторы. Методика поверки.

Математическая обработка результатов измерений в лаборатории физического практикума: Учебно-методическая разработка. – Свердловск: изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1987. – 29с.

Камке Д. Физические основы единиц измерения / Д. Камке, К. Кремер; пер. с нем. под ред. А.Н. Матвеева. — М.: Мир, 1980. — 208 с.

Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб, пособие для вузов/В. Е. Гмурман. — 9-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2003. — 479 с.: ил.

Calibration of measuring devices for electrical quantities calibration of oscilloscopes. Calibration Guide. EURAMET cg-7. Version 1.0 (06/2011).

РЛПА 411218.001 РЭ Руководство по эксплуатации. Мегаомметры Е6-24, Е6-24/1 и Е6-24/2.

МЕТРОЛОГИЯ

~~Авторы-составители~~

Г. Мухамбетов, В. Михалченко,
М. Конканов

~~Рецензенты~~

О.В. Стукач, А.Ю. Кузин,
Р.К. Ниязбекова

Верстка: Шияпов О.С.
Корректор: Бакирова А.М.

Формат Ах100 1/16.

Печать офсетная. **Бумага** офсетная. **Усл. печ. л.** 17,23.

Заказ №384 **Тираж** 500.

Отпечатано в ТОО «Надежда 2050»
г. Кокшетау, ул. Баймуханова, 3