

КОНЦЕПЦИЯ
развития эталонной базы Республики
Беларусь до 2030 года

Обеспечение единства измерений в Республике Беларусь регулируется Законом Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. № 3848-ХП «Об обеспечении единства измерений» (далее – Закон об обеспечении единства измерений) направленным на определение и проведение единой государственной политики в области обеспечения единства измерений – достижения и поддержания единства измерений в соответствии с требованиями национального законодательства, международных договоров Республики Беларусь, а также права Евразийского экономического союза.

Государственное регулирование в области обеспечения единства измерений в соответствии со статьей 16 Закона об обеспечении единства измерений осуществляется в сфере законодательной метрологии, которая распространяется на измерения, выполняемые в следующих социально-значимых областях:

обеспечении защиты жизни и здоровья человека, оказании медицинской помощи, обеспечении охраны труда;

проведении контрольно-диагностических работ по проверке технического состояния и конструкции транспортных средств при проведении государственного технического осмотра, диагностике технического состояния транспортных средств, обеспечении безопасности движения всех видов транспорта;

обеспечении защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

обеспечении охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, осуществлении гидрометеорологической деятельности;

проведении официальных спортивных соревнований, регистрации рекордов Республики Беларусь, установленных спортсменами в ходе спортивных соревнований;

обеспечении обороны и безопасности государства.

Технической основой системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь в соответствии с Законом об обеспечении единства измерений являются национальные эталоны единиц величин – технические средства (средства измерений, комплексы средств измерений), предназначенные для воспроизведения, хранения и передачи единицы

величины или шкалы величины, а также для использования в качестве основы для приписывания значения величины другим эталонам единиц величин того же рода.

Национальные эталоны единиц величин создаются для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений до единиц величин Международной системы единиц (СИ).

Национальные эталоны единиц величин образуют эталонную базу Республики Беларусь и находятся только в собственности государства.

Национальные эталоны единиц величин способствуют реализации социально-значимых целей обеспечения единства измерений:

защита прав и законных интересов государства, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и иных физических лиц от последствий неточных и неправильно выполненных измерений;

обеспечение доверия к результатам измерений;

повышение конкурентоспособности продукции, работ и услуг, а также обеспечивают достоверность информации об их характеристиках и эффективности.

В связи с вышеизложенным основной целью Концепции развития эталонной базы Республики Беларусь является создание и поддержание системы национальных эталонов единиц величин для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений до единиц Международной системы единиц (СИ), что в свою очередь способствует экономическому развитию и защите интересов общества и государства.

Развитие эталонной базы Республики Беларусь имеет стратегическое значение для экономики страны, обеспечивая высокий уровень точности измерений и способствуя росту промышленного потенциала.

1. Общие положения

1.1 Эталонная база Республики Беларусь

Создание новых и совершенствование существующих национальных эталонов единиц величин является одним из ключевых направлений деятельности по обеспечению единства измерений. Создание и совершенствование национальных эталонов единиц величин играет важную роль для развития реального сектора экономики Республики Беларусь, так как точность измерений является ключевым фактором в производственных процессах.

Эталонная база Республики Беларусь включает в себя систему национальных эталонов единиц величин, которые воспроизводят единицы величин с наивысшей в стране точностью, достижимой при существующих научно-технических возможностях в данной области измерений.

В настоящее время в Республике Беларусь разработано

и эксплуатируется 67 национальных эталонов единиц величин, которые зарегистрированы в Государственном реестре национальных эталонов единиц величин Республики Беларусь.

Организациями-хранителями национальных эталонов единиц величин являются:

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ) – 59 национальных эталонов единиц величин;

Государственное научное учреждение «Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси» (Институт физики НАН Беларуси) – 4 национальных эталона единиц величин;

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси» (ИПФ НАН Беларуси) – 4 национальных эталона единиц величин.

В последние годы потребность в выполнении высокоточных измерений стремительно растет в таких отраслях промышленности как машиностроение, приборостроение, энергетика.

Разработка и модернизация национальных эталонов единиц величин осуществляются в соответствии с государственными научно-техническими программами (ГНТП).

В Республике Беларусь в рамках ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021 – 2025 годы реализуется подпрограмма «Эталоны Беларуси». Подпрограмма «Эталоны Беларуси» является логическим развитием успешно выполненных:

ГНТП «Стандарты», 1996 – 1997 годы и на период до 2000 года;

ГНТП «Эталоны Беларуси», 2001 – 2003 годы;

подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Приборостроение», 2004 – 2005 годы;

подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Эталоны и научные приборы», 2006 – 2010 годы;

подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Эталоны и научные приборы», 2011 – 2015 годы;

подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Эталоны и научные приборы», 2016 – 2020 годы.

В рамках выполнения подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021 – 2025 годы запланирована реализация 22 заданий, из них 21 задание – создание и модернизация эталонов, 1 – задание по научно-техническому сопровождению заданий подпрограммы.

Основными исполнителями работ подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021 – 2025 годы являются БелГИМ, Институт физики НАН Беларуси, ИПФ НАН Беларуси, БГУИР.

Все создаваемые национальные эталоны единиц величин отвечают наилучшим техническим и инновационным решениям в области передачи и хранения единиц величин.

Ожидается, что созданные эталоны успешно пройдут международные сличения и обеспечат прослеживаемость к международным эталонам Международной системы единиц (СИ), создавая условия для повышения качества разрабатываемой в Республике Беларусь продукции.

Финансирование подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021 – 2025 годы осуществляется за счет средств республиканского бюджета (в том числе и республиканского централизованного инновационного фонда) и внебюджетных средств (собственных средств организаций-исполнителей заданий).

На рисунке 1 представлена диаграмма финансирования подпрограммы «Эталоны Беларуси» 2021 – 2025 годы.

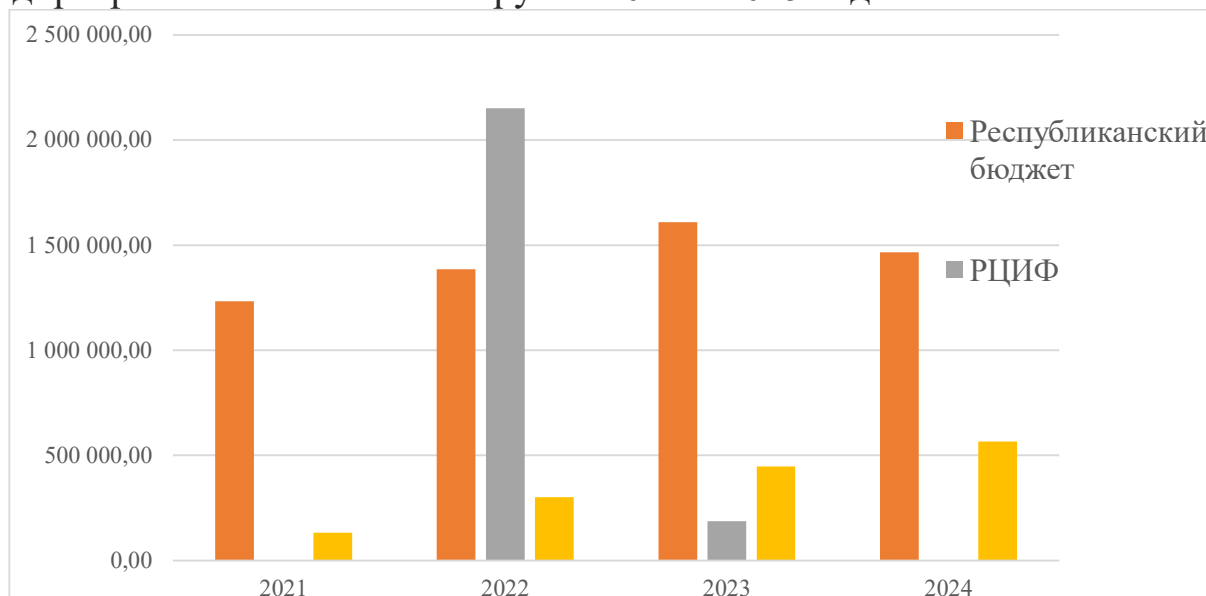


Рисунок 1 – Финансирование подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021 – 2025 годы

1.2 Цели и задачи развития эталонной базы Республики Беларусь

Фундаментом системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь служат эталоны единиц величин, которые утверждаются

Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь (далее – Госстандарт) в качестве национальных эталонов единиц величин и предназначены для использования в качестве основы для приписывания значения величины другим эталонам единиц величин того же рода.

Национальные эталоны единиц величин воспроизводят единицы величин, обеспечивают прослеживаемость результатов измерений до единиц измерений Международной системы единиц (СИ) и проходят сличения с международными эталонами единиц величин или национальными эталонами единиц величин других государств для подтверждения метрологических характеристик.

Создание и модернизация эталонов осуществляется в тесной взаимосвязи с потребностями реального сектора экономики Республики Беларусь и является двусторонним процессом. С одной стороны, промышленность диктует требования к точности и качеству измерений, стимулируя развитие эталонной базы. С другой стороны, наличие современной и точной эталонной инфраструктуры позволяет промышленности повышать эффективность производства и улучшать качество продукции.

Создание и развитие эталонной базы Республики Беларусь осуществляется в целях обеспечения доверия к результатам измерений, повышения конкурентоспособности продукции, работ и услуг, а также обеспечения достоверности информации об их функциональном назначении, характеристиках и эффективности.

Основной задачей развития эталонной базы Республики Беларусь является решение задач по обеспечению доверия к результатам измерений, и их сопоставимости на международном уровне для обеспечения внешнеторговой деятельности государства, в том числе и в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и Всемирной торговой организации, а также выполнения международных договоренностей Республики Беларусь.

Развитие эталонной базы Республики Беларусь направлено на решение задач по приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь таких как:

цифровые информационно-коммуникационные
и междисциплинарные технологии, основанные на них производства;

биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства;

энергетика, строительство, экология и рациональное природопользование;

машиностроение, машиностроительные технологии,

приборостроение и инновационные материалы;
агропромышленные и продовольственные технологии;
обеспечение безопасности человека, общества и государства.

Создаваемые и модернизируемые национальные эталоны единиц величин позволяют обеспечить точность измерений, требуемую V и VI технологическими укладами научно-технической продукции.

Решения по основным задачам развития эталонной базы Республики Беларусь достигаются применением в Республике Беларусь единиц величин Международной системы единиц (СИ), принятых Генеральной конференцией мер и весов (ГКМВ, Метрическая конвенция), рекомендованных Международной организацией законодательной метрологии (МОЗМ) и Договором ЕАЭС. Применение единиц величин Международной системы единиц (СИ) возможно путем создания и поддержания соответствующей эталонной базы.

Создание и поддержание на современном уровне национальной эталонной базы Республики Беларусь осуществляется национальным метрологическим институтом в рамках выполнения государственных научно-технических программ.

2. Оценка современного состояния эталонной базы Республики Беларусь

2.1 Нормативная правовая база

Согласно Закону об обеспечении единства измерений одним из основных принципов обеспечения единства измерений является применение национальных эталонов единиц величин, а также приоритетное применение единиц величин Международной системы единиц (СИ).

Национальные эталоны единиц величин разрабатываются, утверждаются, модернизируются в соответствии с постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 16 ноября 2020 г. № 70 «Об утверждении Правил разработки, утверждения, модернизации и содержания национальных эталонов единиц величин».

Кроме того, Республика Беларусь является полноправным членом Метрической Конвенции и участвует в реализации «Договоренности о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами» (CIPM MRA).

Признание технического уровня и эквивалентности эталонов Республики Беларусь на международном уровне подтверждается наличием опубликованных в Международной базе данных ключевых сличений

Международного бюро мер и весов (Kcdb BIPM, <http://kcdb.bipm.org/>) результатов международных сличений эталонов единиц величин и калибровочных и измерительных возможностей. В настоящее время в международной базе данных Kcdb BIPM опубликована 301 позиция данных о калибровочных и измерительных возможностях (СМС-строки) БелГИМ.

2.2 Приоритетные направления фундаментальных и прикладных исследований в области метрологии

Научно-исследовательские работы в области метрологии проводятся по следующим ключевым направлениям:

- фундаментальные и прикладные исследования;
- развитие законодательных основ системы обеспечения единства измерений;
- создание и исследование эталонов единиц величин, национальных эталонов единиц величин;
- проведение международных сличений эталонов единиц величин, национальных эталонов единиц величин.

Фундаментальные исследования в области метрологии заключаются в первую очередь в определении основных и производных единиц Международной системы единиц (СИ), а также единиц вне этой системы. Основными величинами Международной системы единиц (СИ) являются: масса – М, длина – L, время – Т, сила электрического тока – I, термодинамическая температура – θ , количество вещества – N и сила света – J. Основными единицами СИ являются, соответственно: килограмм (кг), метр (м), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль, кандела (кд).

Фундаментальные исследования выполняются Международным бюро мер и весов совместно с ведущими метрологическими институтами мира: PTB (Германия), NIST (США), NIM (Китай), ВНИИМ (Россия). БелГИМ, являясь членом Метрической конвенции и подписывая СІРМ МРА участвует в работе при выполнении таких исследований. Также актуальными остаются проекты в рамках Союзного государства (Республика Беларусь, Российская Федерация) и проекты по линии Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС).

Государственная метрологическая служба (ГМС) в части выполнения прикладных исследований должна ориентироваться на направления развития реального сектора экономики Республики Беларусь. Научно-исследовательский потенциал ГМС может быть использован для решения прикладных измерительных задач с целью создания продукции предприятиями Республики Беларусь.

Организаций ГМС обладают богатым опытом участия специалистов в создании эталонов единиц величин, поверочного оборудования, государственных стандартных образцов, в запуске сложных измерительных систем, проведении сличений результатов измерений, испытаниях измерительной техники, организации работы измерительных, испытательных и поверочных лабораторий.

2.3 Калибровочные и измерительные возможности Национального метрологического института

По состоянию на 01.01.2024 в международной базе данных KCDB ВІРМ опубликовано 301 СМС-строка о калибровочных и измерительных возможностях Национального метрологического института.

Код	Область измерений	Подгруппа	Количество СМС-строк в базе KCDB
AUV	Акустика, ультразвук, вибрация	Звук в воздушной среде (А)	31
AUV	Всего		31
М	Масса и связанные величины	Масса и меры массы	6
		Давление	1
		Крутящий момент, вязкость, твердость и g	9
М	Всего		16
L	Длина	Стабилизированные лазеры	2
		Линейно-угловые измерения	24
L	Всего		26
PR	Фотометрия и радиометрия	Фотометрия	8
		Оптоволокно	2
		Свойства материалов	1
PR	Всего		11
T	Термометрия	Температура	54
T	Всего		54
TF	Время и частота		31
TF	Всего		31
ЕМ	Электричество и магнетизм	Напряжение постоянного тока, сопротивление	14
		Напряжение переменного тока, мощность	13

Код	Область измерений	Подгруппа	Количество СМС-строк в базе KCDB
		Электрический импеданс (электрическая емкость, индуктивность)	11
		Высокое напряжение и ток	6
		Радиочастота	5
		Электрические и магнитные поля	1
ЕМ	Всего		50
RI	Радиация и ионизирующие излучения	Дозиметрия (RI(I)) Керма в воздухе	6
		Дозиметрия (RI(I)) Объемная эквивалентная доза	5
		Дозиметрия (RI(I)) Направленная эквивалентная доза	5
		Дозиметрия (RI(I)) Персональная эквивалентная доза (глубина 10 мм)	5
		Радиоактивность (RI(II)) Активность на ед. массы	14
		Радиоактивность (RI(II)) Активность	14
		Радиоактивность (RI(II)) Поверхностное излучение	2
RI	Всего		51
QM	Химия и биология	Газы	27
		pH и буфер в воде	3
		Электропроводность	1
QM	Всего		31

2.4 Состояние и перспективы развития эталонной базы Республики Беларусь

Состояние и перспективы развития эталонной базы Республики Беларусь представлены в разрезе по видам измерений:

Измерения геометрических величин

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 12-03 Национальный эталон единицы длины-метра в области аттестации источников излучений и средств измерений длин волн длиной 0,63 мкм;

НЭ РБ 6-01 Национальный эталон единицы плоского угла - градуса (0 - 360)°;

НЭ РБ 52-19 Национальный эталон единицы плоского угла в области измерений малых углов 0" - 2000";

НЭ РБ 31-18 Национальный эталон единицы длины-метра в диапазоне (0,1 – 100) мм;

НЭ РБ 48-18 Национальный эталон единицы длины в области измерений шероховатости поверхности;

НЭ РБ 47-18 Национальный эталон единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности;

НЭ РБ 65-22 Национальный эталон единицы длины в нанометровом диапазоне;

НЭ РБ 38-18 Национальный эталон единицы длины для измерений параметров зубчатых колес;

НЭ РБ 45-18 Национальный эталон единицы длины в области измерений параметров отклонений формы и расположения поверхностей вращения;

НЭ РБ 53-19 Национальный эталон единицы длины - метра в области больших длин.

Национальный эталон НЭ РБ 6-01 успешно прошел модернизацию, завершенную в 2018 году. В ходе модернизации устаревшее оборудование из состава данного национального эталона было полностью заменено современным оборудованием.

На 01.09.2024 национальный эталон НЭ РБ 31-18 проходит модернизацию в рамках подпрограммы «Эталоны Беларуси» государственной научно-технической программы «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021-2025 годы.

Национальный эталон НЭ РБ 12-03 к настоящему времени физически устарел (устарела лазерная установка из состава национального эталона, положенная в основу его работы). В связи с этим в 2026-2030 годах предполагается запланировать модернизацию НЭ РБ 12-03.

Остальные семь национальных эталонов еще не выработали свой ресурс и соответствуют мировому уровню и в модернизации не нуждаются.

Измерения механических величин

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 15-05 Национальный эталон единицы массы в диапазоне 1 мг – 1 кг;

НЭ РБ 34-18 Национальный эталон единицы силы;

НЭ РБ 57-20 Национальный эталон единиц твердости.

Национальный эталон НЭ РБ 15-05 полностью закрывает потребности промышленности республики в части осуществления метрологической оценке высокоточных мер массы (гирь) и весов.

В настоящее время обеспечивается метрологическая прослеживаемость национального эталона НЭ РБ 15-05 к Государственному первичному эталону, хранимому ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (Россия, г. Санкт-Петербург).

Национальные эталоны НЭ РБ 34-18 и НЭ РБ 57-20 еще не выработали свой ресурс и соответствуют мировому уровню и в модернизации не нуждаются.

Измерения физико-химических величин

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 3-00 Национальный эталон единицы координат цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн (0,2-2,5) мкм;

НЭ РБ 8-02 Национальный эталон единиц силы света и освещенности;

НЭ РБ 13-04 Национальный эталон единицы молярной доли компонентов в газовых смесях;

НЭ РБ 16-08 Национальный эталон единицы молярной доли компонентов природного газа в газовых смесях;

НЭ РБ 17-10 Национальный эталон единицы спектральной чувствительности приемников излучения;

НЭ РБ 18-10 Национальный эталон единицы молярной доли атмосферных экологически опасных компонентов SO₂, NO, NO₂, H₂S, CO₂;

НЭ РБ 22-13 Национальный эталон единицы молярной и массовой концентрации компонентов сжиженных углеводородных газов;

НЭ РБ 28-16 Национальный эталон единицы светового потока источников непрерывного излучения;

НЭ РБ 35-18 Национальный эталон единиц белизны;

НЭ РБ 40-18 Национальный эталон единиц влаги в твердых веществах и материалах;

НЭ РБ 58-20 Национальный эталон единиц относительной влажности воздуха и температуры точки росы/иней;

НЭ РБ 61-21 Национальный эталон единицы плотности жидкости.

На 01.09.2024 национальные эталоны НЭ РБ 3-00 и НЭ РБ 8-02 проходят модернизацию в рамках подпрограммы «Эталоны Беларуси» государственной научно-технической программы «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021-2025 годы.

Национальные эталоны НЭ РБ 13-04 и НЭ РБ 16-08 по уровню точности и своим функциональным возможностям полностью закрывают

потребности организаций в определении молярной доли компонентов в газовых смесях.

Модернизировать национальный эталон НЭ РБ 17-10 нецелесообразно ввиду отсутствия достаточно широкого спроса на его применение.

Национальные эталоны НЭ РБ 18-10 и НЭ РБ 22-13 закрывают все текущие потребности отечественных организаций.

Остальные пять национальных эталонов современны и в модернизации не нуждаются.

Активно прорабатывается вопрос о создании в 2026-2030 годах эталонной установки, предназначенной для проведения поверки/калибровки всех эксплуатируемых в Республике Беларусь генераторов спиртосодержащих воздушных смесей с последующим включении данной установки в состав национального эталона одного из эталонов НЭ РБ 13-04 или НЭ РБ 16-08.

Измерения электрических величин

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 5-01 Национальный эталон единицы напряжения переменного тока в диапазоне частот от 10 Гц до 2 ГГц;

НЭ РБ 10-02 Национальный эталон единицы напряжения – вольта;

НЭ РБ 14-04 Национальный эталон единицы электрической мощности;

НЭ РБ 19-10 Национальный эталон единицы электрической емкости;

НЭ РБ 24-15 Национальный эталон единицы индуктивности;

НЭ РБ 29-16 Национальный эталон единицы электрического сопротивления;

НЭ РБ 33-18 Национальный эталон единицы электрического сопротивления (активного);

НЭ РБ 62-21 Национальный эталон единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока;

НЭ РБ 4-00 Национальный эталон единицы магнитной индукции Тесла в диапазоне (0,05-2,0) Тл;

НЭ РБ 21-13 Национальный эталон единицы магнитной индукции слабого постоянного магнитного поля для диапазона от $1 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ Тл;

НЭ РБ 27-15 Национальный эталон единицы магнитной индукции переменного магнитного поля.

По состоянию на 01.04.2024 в международной базе данных KCDB BIPM опубликованы:

Код	Область измерений	Подвид измерений	СМС-строки	Матрица неопределенности
ЕМ	Электричество и магнетизм	Напряжение постоянного тока, сопротивление	14	-
		Напряжение переменного тока	5	5
		Высокое напряжение	6	-
		Электрическая мощность	8	8
		Электрическая емкость	9	-
		Индуктивность	2	-
ИТОГО			44	13

На 01.09.2024 национальные эталоны НЭ РБ 5-01, НЭ РБ 10-02, НЭ РБ 14-04, НЭ РБ 19-10, НЭ РБ 24-15 и НЭ РБ 29-16 полностью закрывают потребности отечественных предприятий по точности передачи единиц, воспроизводимых национальными эталонами единиц величин. Реальная модернизация вышеуказанных национальных эталонов единиц величин крайне затруднительна (либо вообще невозможна) из-за отрицательного действия мировых санкций, не позволяющих закупать оборудование, выпускаемое в единичных экземплярах американскими или европейскими фирмами-монополистами. В связи с этим модернизация шести указанных эталонов на ближайшую пятилетку не запланирована.

Национальные эталоны НЭ РБ 33-18 и НЭ РБ 62-21 в настоящее время в модернизации не нуждаются.

Национальный эталон НЭ РБ 4-00 модернизирован в 2024 году.

Национальные эталоны НЭ РБ 21-13 и НЭ РБ 27-15 технически исправны и удовлетворяют любым запросам отечественных организаций, выпускающих или эксплуатирующих средства измерений магнитной индукции. В связи с этими обстоятельствами модернизация данных национальных эталонов на ближайшие годы не запланирована.

Измерения теплофизических величин

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 2-95 Единицы температуры – кельвин;

НЭ РБ 20-13 Единицы энергии сгорания – Джоуль;

НЭ РБ 23-14 Национальный эталон единицы теплопроводности.

В настоящее время в Республике Беларусь появился большой парк средств измерений с диапазоном измерений температуры, превышающим

измерительные возможности национальных эталонов единиц величин. Внесение таких средств измерений в Государственный реестр средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь осуществляется на основании ПМГ 06-2024 «Порядок признания результатов испытаний и утверждения типа, первичной поверки, метрологической аттестации средств измерений», соответственно проведение работ по метрологической оценке в полном объеме возможно только на территории Российской Федерации. Помимо этого, отечественные производители осваивают производство прецизионных средств измерений с верхним пределом диапазона измерений $1084,62\text{ }^{\circ}\text{C}$, что затрудняет проведение испытаний в целях утверждения типа средств измерений на территории Республики Беларусь.

В целях метрологического обеспечения, способствующего реализации наиболее важных и значимых направлений деятельности Республики Беларусь, осуществляется модернизация национального эталона НЭ РБ 2-95 Единицы температуры – кельвин (начало работ – 4 квартал 2024 г., окончание работ – 4 квартал 2025 г.). Модернизация в части расширения диапазона воспроизведения температуры до $1084,62\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также включение в состав национального эталона НЭ РБ 2-95 новых устройств поддержания и воспроизведения температуры позволит проводить работы по метрологической оценке средств измерений температуры с диапазоном измерений от минус $38,8344\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $1084,62\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Национальный эталон НЭ РБ 20-13 по своим метрологическим возможностям воспроизведения единицы энергии сгорания обеспечивает все текущие потребности отечественных предприятий, еще не выработал свой фактический ресурс и активно участвует в сличениях. Таким образом, модернизация данного эталона в ближайшие годы не предполагается.

Активно прорабатывается вопрос о включении модернизации национального эталона НЭ РБ 23-14 в задания подпрограммы «Эталоны Беларуси» на 2026-2030 годы.

Измерения ионизирующих величин

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 37-17 Единицы активности радионуклидов;

НЭ РБ 7-01 Единиц кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе;

НЭ РБ 41-18 Единицы объемной активности радона в воздухе;

НЭ РБ 55-19 Единиц индивидуального и амбиентного эквивалента мощности дозы бета-излучения.

В 2022 году начаты работы по модернизации национального эталона единицы активности радионуклидов НЭ РБ 37-17 в соответствии с заданием 2.8 подпрограммы «Эталоны Беларуси» государственной научно-

технической программы «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование», 2021-2025 годы.

Целью модернизации национального эталона НЭ РБ 37-17 является внесение изменений в конструкцию национального эталона и документацию для улучшения его метрологических характеристик, и расширения функциональных возможностей.

В 2023 году начаты работы по созданию Национального эталона единиц плотности потока нейтронов, мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения в соответствии с заданием 2.14 подпрограммы «Эталон Беларуси» государственной научно-технической программы «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование», 2021-2025 годы.

Ввод в эксплуатацию БелАЭС и предполагаемое строительство пункта захоронения радиоактивных отходов, которые являются неотъемлемой частью ее функционирования, приводит к расширению перечня используемых средств измерений нейтронного излучения.

Характеристики нейтронных потоков являются одним из основных параметров, используемых при управлении ядерными реакторами и установками, дозиметрические характеристики нейтронных полей применяют при конструировании систем защиты и безопасности. Поэтому необходимо иметь эталонное оборудование для создания и измерения таких параметров нейтронных полей, как плотность потока и энергия нейтронов, мощность поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения.

Имеющиеся эталоны (эталонная установка типа УКПН с плутоний-бериллиевыми источниками нейтронов, позволяющая получать поля быстрых и тепловых нейтронов, аттестованная по плотности потока и мощности эквивалентной дозы) не могут обеспечить решение задач, возникающих при эксплуатации БелАЭС.

Создание эталона единиц плотности потока нейтронов, мощности поглощённой и эквивалентной доз нейтронного излучения обеспечит повышение точности и надежности измерений плотности потока нейтронов, мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения и возможность проведения калибровки, поверки и испытаний средств измерений плотности потока нейтронов, мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения.

В 2023 году начаты работы по модернизации национального эталона единиц кермы в воздухе и мощности кермы в воздухе НЭ РБ 7-01 в соответствии с заданием 2.13 подпрограммы «Эталон Беларуси» государственной научно-технической программы «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование», 2021-2025 годы.

Также тенденции развития приборостроения в области дозиметрии такова, что в настоящее время широкое применение получают новые материалы для изготовления детекторов и регистрирующих устройств, это позволяет изготовителям производить высокоточное оборудование для измерения в полях гамма-излучения с более широким диапазоном измерений. Возникает необходимость создания полей фотонного излучения высоких интенсивностей и, как следствие, использование источников на основе изотопов ^{137}Cs , ^{60}Co и ^{241}Am высоких активностей.

Для решения вышеуказанной задачи необходимо провести работы по модернизации национального эталона единицы кермы и мощности кермы в воздухе, в части создания гамма-полей с широким диапазоном интенсивностей. Для этого потребуется замена эталонных гамма облучателей, которые не могут в полном объеме обеспечить воспроизведение и передачу необходимых характеристик и, в свою очередь, позволит расширить диапазон воспроизводимых мощностей доз гамма-излучения.

Национальный эталон единиц индивидуального и амбиентного эквивалента мощности дозы бета-излучения НЭ РБ 55-19 и Национальный эталон единицы объемной активности радона в воздухе НЭ РБ 41-18 полностью удовлетворяют современные запросы белорусских потребителей и их модернизация на ближайшие года не запланирована.

Измерения времени и частоты

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 1-95 Единиц: времени – секунды, частоты – герца и шкалы времени.

Национальный эталон времени и частоты участвует в программах международного сотрудничества (участие в формировании международной координированной шкалы времени UTC), а также в совершенствовании систем связи, радионавигации и радиолокации (синхронизация шкал времени и стабилизация частот передающих станций), спутниковых навигационных системах АВИА и наземном транспорте, радиовещании и телевидении (централизованная синхронизация, передача эталонного сигнала посредством цифрового телевидения), обороне (синхронизация шкал времени сложных технических систем вооружения), энергетике (синхронизация каналов автоматизированных систем).

Национальный эталон НЭ РБ 1-95 единиц: времени – секунды, частоты – герца и шкалы времени Республики Беларусь на данный момент воспроизводит размер единицы частоты (и времени) с точностью $5 \cdot 10^{-13}$ на годовом интервале. Для удовлетворения потребителей на ближайшие

годы необходимо достичь уровня точности воспроизведения единицы частоты (и времени), не превышающей $1 \cdot 10^{-14}$ на годовом интервале.

В перспективе планируется модернизация Национального эталона НЭ РБ 1-95 единиц: времени – секунды, частоты – герца и шкалы времени с целью обновления и поддержания работоспособности оборудования.

Измерения радиоэлектронные

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 26-15 Национальный эталон единицы плотности потока энергии электромагнитного поля;

НЭ РБ 36-18 Национальный эталон единицы коэффициента гармоник;

НЭ РБ 39-18 Национальный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний;

НЭ РБ 42-18 Национальный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции высокочастотных колебаний;

НЭ РБ 43-18 Национальный эталон единицы девиации частоты;

НЭ РБ 44-18 Национальный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний;

НЭ РБ 49-18 Национальный эталон единицы напряженности электрического поля;

НЭ РБ 50-18 Национальный эталон единиц измерения объемов передаваемой цифровой информации по каналам Интернет и телефонии;

НЭ РБ 56-19 Национальный эталон единиц средней мощности и энергии лазерного излучения;

НЭ РБ 59-20 Национальный эталон единицы напряженности магнитного поля (НМП);

НЭ РБ 67-24 Национальный эталон единицы импульсного электрического напряжения;

В настоящее время осуществляется модернизация национальных эталонов НЭ РБ 49-18, НЭ РБ 59-20.

Национальные эталоны НЭ РБ 26-15, НЭ РБ 36-18, НЭ РБ 39-18, НЭ РБ 42-18, НЭ РБ 43-18, НЭ РБ 44-18, НЭ РБ 50-18 и НЭ РБ 56-19 сохраняют современный технический уровень и соответствуют основным требованиям, предъявляемым к ним со стороны отечественных потребителей. В связи с этим в настоящее время модернизация восьми указанных национальных эталонов не требуется.

Национальный эталон НЭ РБ 67-24 создан и введен в эксплуатацию в 2024 году, поэтому в модернизации не нуждается.

В рамках подпрограммы «Эталонные Беларусь» на 2026-2030 годы планируются следующие работы:

модернизировать Национальный эталон единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации (ВОСП) (НЭ РБ 25-15);

создание национального эталона единицы хроматической дисперсии в оптическом волокне;

разработка и создание национального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в оптическом волокне.

Измерения давления и расхода

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 30-18 Национальный эталон единицы скорости воздушного потока;

НЭ РБ 32-18 Национальный эталон единицы давления для области избыточных давлений;

НЭ РБ 46-18 Национальный эталон единиц массового и объемного расхода жидкости (воды);

НЭ РБ 60-20 Национальный эталон единицы объемного расхода газа (воздуха);

НЭ РБ 63-21 Национальный эталон единицы давления для разности давлений;

НЭ РБ 64-21 Национальный эталон единицы давления паскаль в области абсолютного давления;

НЭ РБ 66-24 Национальный эталон единицы давления в области измерения вакуума.

Существует ряд проблемных вопросов в области измерения расхода жидких сред, измерения расхода газо-воздушных сред:

отсутствует эталонное оборудование, обеспечивающее проведение метрологической оценки промышленных средств измерений расхода жидких сред методом непосредственного сличения при значениях массового (объемного) расхода более 1000 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$) и рабочей среде «вода»;

отсутствует эталонное оборудование, обеспечивающее проведение метрологической оценки промышленных счетчиков газа на высоком давлении и рабочей среде «природный газ».

Ранее планировалось создание подобной лаборатории в ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», на 01.09.2024 проект создания лаборатории приостановлен.

В 2025-2027 годах для реализации государственной поверочной схемы для средств измерений массового расхода (массы) и объемного расхода (объема) воды и обеспечения прослеживаемости измерений при проведении метрологической оценки средств измерений расхода

до национального эталона НЭ РБ 46-18 единиц массового и объемного расхода жидкости (воды) планируется создание переносного эталона сравнения.

Измерения в области акустики, вибрации и неразрушающего контроля

Имеющаяся эталонная база:

НЭ РБ 11-03 Национальный эталон единицы звукового давления в воздушной среде в диапазоне частот 20 Гц – 20 кГц.

В ближайшей перспективе планируется создание нового рабочего места и оснащение его калибровочными образцами с плоскодонными отражателями и калибровочными образцами с цилиндрическими отражателями для возможности проведения в Республике Беларусь калибровки контрольных образцов.

Стандартные образцы

Учитывая опыт стран с более развитой экономикой, метрологические институты и службы неизбежно включают в свои составы лаборатории по изготовлению стандартных образцов.

В перспективе планируется расширение номенклатуры выпускаемых государственных стандартных образцов, освоение динамических методов приготовления калибровочных газовых смесей в соответствии с международными стандартами. Для этого потребуются модернизация национального эталона НЭ РБ 18-10 единицы молярной доли атмосферных экологически опасных компонентов в части воспроизведения единицы молярной доли аммиака (NH_3) в азоте/воздухе, что позволит расширить нижний диапазон содержания анализируемого компонента.

Также требуется модернизация национального эталона НЭ РБ 13-04 единицы молярной доли компонентов в газовых смесях с целью замены морально и физически устаревшего оборудования и увеличения номенклатуры определяемых компонентов.

2.5 Анализ потребностей отраслей промышленности в национальных эталонах единиц величин

Государственная политика Республики Беларусь в области обеспечения единства измерений является составной частью государственной научно-технической политики, которая призвана обеспечить соответствие развития науки и техники в условиях рыночной экономики задачам международного научно-технического сотрудничества, при этом должно обеспечиваться участие фундаментальной и прикладной метрологии в мировых интеграционных процессах в области науки и технологии, повышение ее роли в решении актуальных проблем современности (экология, энергетика, климатические изменения и другие),

а также реализации проектов и программ глобальной системы безопасности.

Анализ структуры реального сектора экономики Республики Беларусь и ее научного потенциала приводит к выводу о возрастающем использовании средств и результатов измерений различных физических величин.

Построение и поддержание всей системы измерений Республики Беларусь невозможно без создания соответствующей эталонной базы. Эталонная база должна соответствовать как имеющимся общественным потребностям, так и располагать определенным резервом в номенклатуре, диапазонах и уровнях точности воспроизведения единиц величин. Это позволит развивать соответствующие виды деятельности в реальном секторе экономики Республики Беларусь (например, приборостроительной, машиностроительной и других отраслей экономики) и обеспечивать конкурентоспособность разрабатываемой продукции.

В целях выявления потребностей промышленных предприятий в национальных эталонах единиц величин был проведен опрос организаций государственных метрологических служб, юридических и физических лиц, крупных организаций Республики Беларусь, использованы данные из государственного информационного фонда по обеспечению единства измерений, проанализирована «Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года», а также стратегические документы международных организаций, таких как ГКМВ, Международное бюро мер и весов, МОЗМ.

2.6 Подготовка кадров

С целью решения проблемы кадрового обеспечения системы обеспечения единства измерений необходимо создание комплексной системы, в рамках которой будет предусмотрено в качестве краткосрочной цели - постоянное повышение квалификации специалистов, стимулирование их развития, а в качестве долгосрочной цели - интеграция более высококвалифицированных специалистов в профессиональный состав метрологических организаций, а также на регулярной основе повышение квалификации специалистов.

2.7 Развитие международного сотрудничества

Расширение сотрудничества Республики Беларусь с международными организациями направлено на обеспечение соответствия программ и направлений сотрудничества с международными организациями интересам политического, экономического и социального развития Республики Беларусь, защиту интересов белорусских субъектов

хозяйствования на внешних рынках, а также гармонизация действующего национального законодательства.

Продолжается активное сотрудничество в рамках СНГ, приоритетный характер будет иметь углубление сотрудничества с национальными метрологическими институтами Российской Федерации и Китайской Народной Республики в рамках совместных научных исследований в области метрологии (организация совместных сличений, совместное развитие и совершенствование национальных эталонов единиц величин, обмен опытом по обслуживанию и хранению эталонов единиц величин и другие).

БелГИМ, являясь национальным метрологическим институтом, продолжит участвовать в деятельности организации Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений КООМЕТ во всех технических комитетах и проектах в рамках технических комитетов в следующих областях:

- акустика, ультразвук, вибрация;
- электричество и магнетизм;
- расходомерия;
- ионизирующие излучения и радиоактивность;
- длина и угол;
- масса и связанные с ней величины;
- фотометрия и радиометрия;
- физикохимия;
- термометрия и теплофизика;
- время и частота;
- стандартные образцы;
- общие вопросы измерений (общая метрология);
- законодательная метрология;
- системы качества,
- информация и информационные технологии;
- обучение и повышение квалификации;
- перспективные направления исследований.

Самая значимая часть работ, выполняемых БелГИМ в рамках КООМЕТ направлена на реализацию Договоренности CIPM MRA (в части участия в сличениях национальных эталонов единиц величин) и последующей публикацией от имени Республики Беларусь СМС-строк в международной базе данных KCDB BIPM.

2.8 Финансовое обеспечение

В соответствии с подпунктом 2.2. пункта 2 статьи 36 Закона об обеспечении единства измерений финансирование разработки

и модернизации национальных эталонов единиц величин в рамках государственных научно-технических программ осуществляется за счет средств республиканского бюджета. Также финансирование разработки и модернизации национальных эталонов единиц величин осуществляется за счет собственных средств организаций-хранителей национальных эталонов единиц величин.

3. Проблемные вопросы развития и поддержания эталонной базы Республики Беларусь

В настоящее время можно выделить следующие основные проблемные вопросы:

- недостаточное финансирование работ по созданию и модернизации национальных эталонов единиц величин;

- необходимость создания специальных условий для размещения и функционирования национальных эталонов единицы величины;

- поддержание метрологических характеристик национальных эталонов единиц величин на должном уровне после достижения ими среднего срока эксплуатации и проведение на регулярной основе работ по модернизации;

- подготовка высококвалифицированных специалистов и повышение квалификации имеющихся кадров в области обеспечения единства измерений.

4. Задачи развития эталонной базы Республики Беларусь

4.1 Приоритеты и критерии развития эталонной базы Республики Беларусь

Приоритетным направлением развития эталонной базы Республики Беларусь является разработка и реализация мер, направленных на решение вопросов повышения конкурентоспособности отечественной продукции за счет повышения точности (развитие инфраструктуры для создания эталонной базы, проведение фундаментальных и прикладных научных исследований).

Критерии развития эталонной базы Республики Беларусь должны соответствовать вектору развития национальной экономики, определенному в Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года (одобрено протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10).

4.2 Создание механизма прогнозирования потребностей промышленности Республики Беларусь в эталонах

Для организации правильного развития системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры необходимо

прогнозировать потребности Республики Беларусь и общества в национальных эталонах единиц величин. Требования к национальной эталонной базе Республики Беларусь в количественном и качественном составе должны определяться исходя из конкретных требований к созданию и развитию национальной инновационной системы.

Основу национальной эталонной базы Республики Беларусь должны составлять национальные эталоны единиц величин, обеспечивающие научно-технические заделы развития национальной эталонной базы Республики Беларусь в целом. К таким национальным эталонам единиц величин относятся национальные эталоны единиц величин, реализующие воспроизведение единиц физических величин на основе фундаментальных физических констант и природных констант.

С помощью мониторинга и анализа трендов развития приоритетных областей экономики Республики Беларусь, следует осуществлять сбор данных о методах и объектах измерений, а также о требуемых точных характеристиках.

4.3 Развитие эталонной базы Республики Беларусь

По состоянию на 1 декабря 2024 года эталонная база Республики Беларусь состоит из 67 национальных эталонов единиц величин.

Учитывая текущее техническое состояние национальных эталонов единиц величин, можно обозначить следующую существующую статистику по:

среднему сроку эксплуатации национальных эталонов единиц величин, начиная с года ввода в эксплуатацию, который составляет 12 лет;

среднему сроку модернизации национальных эталонов единиц величин, начиная с года последней модернизации, который составляет 6 лет.

В настоящее время в Республике Беларусь существует два национальных эталона единиц величин со сроком эксплуатации 29 лет - НЭ РБ 1-95 и НЭ РБ 2-95. Модернизация данных национальных эталонов единиц величин запланирована на 2025-2030 гг.

В первую очередь нуждаются в модернизации национальные эталоны единиц величин, эксплуатируемые от 20 до 24 лет (начиная с года ввода их в эксплуатацию).

Всего в Республике Беларусь девять таких национальных эталонов единиц величин:

НЭ РБ 3-00, НЭ РБ 4-00 (срок эксплуатации 24 года);

НЭ РБ 5-01, НЭ РБ 7-01 (срок эксплуатации 23 года);

НЭ РБ 8-02, НЭ РБ 63-21 (срок эксплуатации 22 года);

НЭ РБ 11-03, НЭ РБ 12-03 (срок эксплуатации 21 год);

НЭ РБ 13-04 (срок эксплуатации 20 лет).

Из них модернизированы три национальных эталона единиц величин:
НЭ РБ 13-04 (модернизация завершена в 2013 году);
НЭ РБ 63-21 (завершена в 2021 году);
НЭ РБ 4-00 (завершена в апреле 2024 года).

В 2026 году будут модернизированы три национальных эталона единиц величин:

НЭ РБ 5-01;
НЭ РБ 7-01;
НЭ РБ 8-02.

Исходя из срока эксплуатации в модернизации нуждаются два национальных эталона единиц величин: НЭ РБ 11-03 и НЭ РБ 12-03. Однако в целом необходимо учитывать и другие важные факторы, влияющие на принятие решения о модернизации (например, реальную и прогнозируемую в будущем востребованность национальных эталонов единиц величин предприятиями Республики Беларусь).

При планировании развития эталонной базы необходимо учитывать не только приоритетные потребности в совершенствовании системы обеспечения единства измерений в Республике Беларусь, но и стратегические направления, разработанные Консультативным комитетом и рабочими группами Международного комитета по мерам и весам на основе анализа тенденций и прогнозов мировых потребностей в метрологической продукции и услугах.

Основными тенденциями развития эталонной базы республики являются:

создание новых национальных эталонов. Это необходимо для обеспечения точности измерений в различных отраслях экономики, таких как энергетика, машиностроение, медицина и другие.

повышение уровня метрологического обеспечения. Это включает в себя разработку новых методов и средств измерений, а также повышение квалификации персонала, работающего с эталонным оборудованием.

улучшение качества эталонного оборудования. Это достигается путем проведения регулярных проверок и калибровок, а также внедрения современных технологий производства.

расширение международного сотрудничества. Республик Беларусь принимает участие в международных проектах по созданию единых стандартов измерений, что позволяет повысить конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке.

4.4 Состояние и перспективы воспроизведения основных единиц СИ

В современной Международной системе единиц (СИ) существует семь основных единиц величин:

единица времени;
единица длины;
единица массы;
единица электрического тока;
единица термодинамической температуры;
единица количества вещества;
единица силы света.

Ниже приведены физические принципы воспроизведения основных единиц СИ, а также используемые в мире методы и способы их воспроизведения, положенные в основу зарубежных национальных эталонов. Кроме того, указаны существующие национальные эталоны Республики Беларусь, используемые для воспроизведения основных единиц СИ и изложены имеющиеся перспективы их воспроизведения и возможные направления модернизации национальных эталонов.

Единица времени (секунда)

В Международной системе единиц (СИ) время выражено в секундах (с).

Первоначально секунда была определена как 86 400-я часть продолжительности среднего солнечного дня. Однако уже с 1967 года секунду выражают через частоту электромагнитного излучения магнитно-дипольного перехода в сверхтонком расщеплении основного состояния изотопа цезия ^{133}Cs .

В Республике Беларусь с 1995 года введен в эксплуатацию национальный эталон единиц: времени – секунды, частоты – герца и шкалы времени НЭ РБ 1-95. Работа эталона основана на принципе работы активных водородных стандартов времени и частоты (водородных мазеров), заключающемся в излучении энергии атомами водорода. Другими словами, для точного измерения частоты колебаний (или для генерирования колебаний с достаточно стабильной частотой) в эталоне используются квантовые переходы атомов водорода из одного энергетического состояния в другое. В активных водородных мазерах квантовые переходы атомов и молекул непосредственно приводят к излучению электромагнитных волн, частота которых служит стандартом (или опорной частотой). Эталон воспроизводит единицу времени и единицу частоты (секунду и герц) с относительной погрешностью не более $5 \cdot 10^{-13}$.

К настоящему времени оборудование из состава эталона НЭ РБ 1-95 физически и морально устарело и назрела необходимость повышения точности воспроизведения единиц времени и частоты (относительная погрешность должна быть не более $1 \cdot 10^{-14}$).

Для решения этих проблем на ближайшие годы запланирована модернизация эталона НЭ РБ 1-95.

Единица длины (метр)

В Международной системе единиц (СИ) длина выражена в метрах (м).

Один метр (1 м) – это длина пути, пройденного светом в вакууме за интервал времени, равный $1/299\,792\,458$ секунды.

Классическое фундаментальное уравнение, положенное в основу определения метра, выражает непосредственную взаимосвязь между длиной l , интервалом времени Δt и скоростью света в вакууме c (константой, имеющей строго фиксированное значение $c = 299\,792\,458 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$).

Для определения расстояний в нанометровом или более меньшем диапазоне используют косвенные методы. Косвенный метод (или метод оптической интерферометрии) основан на реализации метра через длину плоской электромагнитной волны λ , распространяющейся в вакууме и имеющей частоту ν . Для реализации метода используют лазер. Частота и длина волны лазера должны быть известны через частоту сверхтонкого перехода стабильного изотопа цезия ^{133}Cs , определяющую секунду.

Однако в нанометровом диапазоне измерений возможность применения косвенного метода ограничена сложностью разделения интерференционных полос и периодическими нелинейностями. В таком случае в разных странах мира применяют вторичные методы, основанные на постоянстве межплоскостного расстояния кристаллической решетки кремния (это расстояние, измеренное со стандартной относительной неопределенностью $1,67 \cdot 10^{-8}$ при температуре $+22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ в условиях вакуума и равное $192,015\,571\,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}$).

В настоящее время Республика Беларусь располагает восемью национальными эталонами единицы длины: НЭ РБ 12-03, НЭ РБ 31-18, НЭ РБ 38-18, НЭ РБ 45-18, НЭ РБ 47-18, НЭ РБ 48-18, НЭ РБ 53-19 и НЭ РБ 65-22.

Национальный эталон НЭ РБ 31-18, воспроизводящий диапазон от 0,1 до 100 мм, в настоящее время проходит модернизацию.

Чтобы сразу на несколько порядков повысить точность воспроизведения единицы длины вышеуказанными эталонами, есть возможность оснастить их установками, реализующими так называемую «оптическую гребенку», разработанную Джоном Холлом и Теодором Хэншем, за которую они в 2005 году получили Нобелевскую премию.

В настоящее время метр во всем мире воспроизводят с помощью лазера с известной длиной волны λ или частотой ν с относительной неопределенностью порядка 10^{-11} . При условии реализации «оптической гребенки» неопределенность можно сразу же снизить до 10^{-13} (или даже до 10^{-14}).

Единица массы (килограмм)

В Международной системе единиц (СИ) масса выражена в килограммах (кг).

В 1889 году килограмм был определен мировым метрологическим сообществом как масса международного прототипа в виде цилиндра, изготовленного из платиново-иридиевого сплава (она равна массе кубического дециметра чистой воды при ее температуре около 4 °С). Однако необратимые изменения массы прототипа со временем вынудили переопределить единицу массы. В настоящее время килограмм выражают через постоянную Планка $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ Дж·с ($\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$), частоту и скорость света в вакууме $c = 299\,792\,458 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Сегодня в мире существуют два независимых первичных метода, позволяющих реализовать определение килограмма:

метод определения неизвестного значения массы с помощью специально разработанных для данной цели электромеханических весов (теперь их называют весами Киббла);

эксперимент по определению плотности кристалла по данным рентгеноструктурного анализа, проводимый с целью определения числа Авогадро («эксперимент Авогадро»).

Международное распространение килограмма все еще возможно с помощью «набора исходных эталонов единицы массы» и рабочих эталонов Международного бюро мер и весов.

В Республике Беларусь имеется национальный эталон единицы массы в диапазоне от 1 мг до 1 кг НЭ РБ 15-05, воспроизводящий килограмм с помощью его национального прототипа, при этом суммарная стандартная неопределенность эталонной гири и гири класса точности E1 не превышает 25 мкг, а метрологическая прослеживаемость обеспечена до Государственного первичного эталона единицы массы ГЭТ 3-2020 (Российская Федерация, г. С.-Петербург). Такой точности воспроизведения килограмма, достаточно для удовлетворения всех потребностей отечественных предприятий. В связи с этим в модернизации национального эталона НЭ РБ 15-05 нет необходимости.

Единица электрического тока (ампер)

В Международной системе единиц (СИ) электрический ток выражен в амперах (А).

Один ампер (1 А) – это сила электрического тока, создаваемая потоком $1,60217663 \cdot 10^{19}$ элементарных зарядов в секунду.

В средствах измерений ампер может быть напрямую воспроизведен с помощью квантованных источников тока или измерителей тока, связывающих генерируемый ток. Косвенную реализацию ампера обеспечивают с использованием закона Ома и с помощью воспроизведения единицы напряжения (вольта) на основе эффекта Джозефсона и единицы электрического сопротивления (Ом) на основе квантового эффекта Холла.

В Республике Беларусь отсутствует национальный эталон единицы постоянного электрического тока – ампера. Вместо данного эталона существуют два национальных эталона единицы величины, воспроизводящих следующие единицы:

напряжение – вольт (НЭ РБ 10-02);

электрическое сопротивление (НЭ РБ 29-16).

Ампер воспроизводят с использованием закона Ома путем передачи единиц вольта и Ома от эталонов НЭ РБ 10-02 и НЭ РБ 29-16, при этом относительная неопределенность воспроизведения ампера составляет порядка 10^{-7} . Такой уровень точности воспроизведения ампера до сих пор соответствует мировому уровню. Таким образом, национальные эталоны НЭ РБ 10-02 и НЭ РБ 29-16 в модернизации не нуждаются.

Единица термодинамической температуры (кельвин)

В Международной системе единиц (СИ) термодинамическую температуру выражают в кельвинах (К).

Один кельвин (1 К) – это такое изменение термодинамической температуры, при котором изменение тепловой энергии равно $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ Дж.

До 2018 года во всем мире кельвин выражали через тройную точку воды (точнее, как $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды). В настоящее время кельвин определен через производную единицу Международной системы единиц (СИ) – Джоуль.

Новое всемирно признанное определение единицы Кельвин берет свое начало из статистической механики, где термодинамическая температура – это мера средней тепловой энергии, приходящейся на степень свободы в системе.

В настоящее время все используемые в мире первичные термометры позволяют реализовать Кельвин при любой температуре T , основываясь на постоянной Больцмана $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ кг·м²·с⁻²·К⁻¹ и физической теории. Однако такие термометры сложны в эксплуатации, поэтому по решению ГКМВ в 1990 году была принята практическая международная температурная шкала (МТШ-90), которая все еще используется. МТШ-90 представлена несколькими реперными точками и процедурами измерений, позволяющими производить интерполяцию между точками. МТШ-90 охватывает диапазон от 0,65 К до самой высокой температуры, которую можно достичь с помощью термометрии излучения, применяя закон Планка. Для диапазона от 0,902 мК до 1 К во всем мире применяют временную низкотемпературную шкалу (ВНТШ-2000), основанную на кривой давления при плавлении изотопа гелия ³He.

Реализация единицы Кельвин через тройную точку воды возможна с относительной погрешностью порядка 10^{-7} . При реализации через

постоянную Больцмана k погрешность составляет порядка 10^{-6} , при этом единица Кельвин уже не зависит от конкретной температуры, что позволяет реализовать его при крайне низких или очень высоких температурах.

В Республике Беларусь существует национальный эталон единицы температуры – кельвина НЭ РБ 2-95, предназначенный для реализации МТШ-90 в диапазоне от минус 38,8344 °С до плюс 961,78 °С. Кельвин реализован специальными методами фазовых переходов реперных точек в термостатирующих устройствах, стабилизации термометров сопротивления в данных реперных точках и измерения отношения сопротивлений высокопрецизионным мостом переменного тока. Национальный эталон НЭ РБ 2-95 содержит ампулы следующих реперных точек:

- тройной точки ртути (–38,8344 °С);
- тройной точки воды (+0,01 °С);
- точки плавления галлия (+29,7646 °С);
- точки затвердевания индия (+156,596 °С);
- точки затвердевания олова (+231,928 °С);
- точки затвердевания цинка (+419,527 °С);
- точки затвердевания алюминия (+660,323 °С);
- точки затвердевания серебра (+961,78 °С).

Во всех реперных точках, а также во всем вышеуказанном диапазоне абсолютная стандартная неопределенность варьируется в зависимости от температуры в диапазоне от 0,05 до $1,28 \cdot 10^{-3}$ К.

В настоящее время национальный эталон НЭ РБ 2-95 проходит модернизацию, которая должна завершиться в 2025 году.

Единица количества вещества (моль)

В Международной системе единиц (СИ) единицу количества вещества выражают в молях (моль).

Количество вещества (моль) – это величина, используемая для определения количества элементов или химических соединений, участвующих в химической реакции.

С 1971 года единица моль – это количество вещества системы, содержащее столько ее структурных элементов, сколько несвязанных атомов содержится в 12 граммах углерода.

С 2019 года один моль (1 моль) – это количество вещества системы, содержащей $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ структурных элементов определенного типа.

Указанное число является строго фиксированным и называется постоянной Авогадро N_A .

Наиболее распространенными в мире и приспособленными для регулярного применения способами реализации единицы моль являются:

гравиметрический метод;
метод, основанный на решении уравнения состояния газов;
метод электролиза.

Наибольшее распространение в странах мира получил гравиметрический метод (поскольку измерение массы образца представляет собой относительно простой и точный процесс). Если взвешиваемый образец изготовлен из вещества, приписанная массовая доля которого (традиционно называемая «чистотой» вещества) известна с достаточно малой неопределенностью, то относительная стандартная неопределенность измерения может быть даже меньше $1 \cdot 10^{-6}$. Однако в большинстве случаев для чистых органических или неорганических веществ эта неопределенность будет не менее $1 \cdot 10^{-4}$, так как неопределенность приписанных значений массовой доли оказывается довольно большой.

В настоящее время в Республике Беларусь существуют национальные эталоны единиц величин:

единицы молярной доли компонентов в газовых смесях НЭ РБ 13-04;

единицы молярной доли компонентов природного газа в газовых смесях НЭ РБ 16-08;

единицы молярной доли атмосферных экологически опасных компонентов SO_2 , NO , NO_2 , H_2S , CO_2 (эталон НЭ РБ 18-10);

единиц молярной и массовой концентрации компонентов сжиженных углеводородных газов НЭ РБ 22-13.

Национальный эталон НЭ РБ 13-04 обеспечивает определение молярной доли основного вещества в чистых исходных газах (H_2 , CO , CH_4 , O_2 , N_2 и других) с относительной расширенной неопределенностью в среднем $5 \cdot 10^{-4}$ (при $k = 2$ и $P = 0,95$).

Национальный эталон НЭ РБ 16-08 позволяет определять молярную долю компонентов в метане, этане, изобутане, пропане, азоте и других газах с относительной расширенной неопределенностью в диапазоне от $3 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-1}$ (при $k = 3$ и $P = 0,99$).

Национальный эталон НЭ РБ 18-10 обеспечивает определение молярной доли опасных компонентов с относительной расширенной неопределенностью в среднем $1 \cdot 10^{-2}$ (при $k = 3$ и $P = 0,99$).

Национальный эталон НЭ РБ 22-13 позволяет определять молярную долю компонентов сжиженных углеводородных газов (C_2H_6 , C_3H_8 и некоторых других) в эталонных газовых смесях с относительной расширенной неопределенностью в среднем около $1,2 \cdot 10^{-2}$ (при $k = 2$ и $P = 0,95$).

Сегодня в Республике Беларусь полностью отсутствует потребность в модернизации существующих национальных эталонов при установлении молярной доли веществ или компонентов в газах и газовых смесях.

Национальные эталоны НЭ РБ 13-04, НЭ РБ 16-08, НЭ РБ 18-10 и НЭ РБ 22-13 работоспособны, постоянно поддерживаются в исправном состоянии и еще не выработали свой фактический ресурс и модернизация указанных эталонов не запланирована.

В настоящее время прорабатывается вопрос о создании в срок до 2030 года эталонной установки, необходимой для поверки/калибровки всех эксплуатируемых в Республике Беларусь генераторов спиртосодержащих воздушных смесей, используемых для поверки алкотестеров. Теоретически возможно включение установки в состав эталона НЭ РБ 13-04 или НЭ РБ 16-08 и в случае принятия такого решения один из этих национальных эталонов будет модернизирован до 2030 года.

Единица силы света (кандела)

В Международной системе единиц (СИ) силу света в заданном направлении выражают в канделах (кд).

Одна кандела (1 кд) – это сила света источника в заданном направлении, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц и имеющего силу, составляющую в том же направлении $1/683$ Вт/ср.

Практическая реализация фотометрических единиц (силы света, яркости, освещенности и др.) в разных странах мира основана на реализации радиометрической единицы, а также на использовании функции спектральной световой эффективности (т. е. спектрального взвешивания) и определяющей константы K_{cd} на частоте излучения $540 \cdot 10^{12}$ Гц. В настоящее время наименьшая неопределенность реализации фотометрических единиц достигается при использовании детекторного метода. В будущем наиболее точным может стать метод, основанный на абсолютном излучателе (или на подсчете фотонов).

Наиболее распространенный в мире детекторный метод основан на измерении светового потока стандартного источника света при определенной геометрической конфигурации на первичном фотометре, весовая функция которого приближена к функции световой эффективности.

Наиболее распространенный в мире метод реализации канделы (кд) – использование стандартной лампы, конструкция которой адаптирована для оптимального излучения в определенном направлении. Источник света (нить накала) располагают на таком расстоянии относительно апертуры детектора, чтобы источник можно было считать точечным. В случае стандартной лампы с вольфрамовой нитью (наиболее часто используемый тип стандартной лампы), как правило, задают такие значения электрических параметров эксплуатации лампы, при которых ее излучение

близко к излучению стандартизованного источника типа А, то есть излучение имеет такое же относительное спектральное распределение энергии, как и излучение абсолютно черного тела при температуре приблизительно 2856 К.

В подавляющем большинстве случаев в мировой практике канделу реализуют одним из двух методов:

методом, основанным на полихроматическом излучателе достаточно малых размеров, у которого поле излучения в определенном направлении близко к изотропному;

методом на основе эталонного измерителя освещенности, перед апертурой которого установлен фильтр, приводящий спектральную чувствительность детектора в соответствие со стандартной функцией спектральной световой эффективности.

В первом методе обычно используют лампу накаливания, которая по относительному спектральному распределению мощности близка к стандартному источнику излучения типа А. Для реализации канделы требуется измерить спектральную энергетическую силу света источника в заданном направлении. Измерение выполняют при достаточно большом расстоянии, используя средства одного из двух видов:

набор фильтров-радиометров, откалиброванных по энергетической освещенности на нескольких дискретных длинах волн в диапазоне видимого света от 360 до 830 нм;

спектрорадиометр с подходящим диспергирующим элементом, откалиброванный по энергетической освещенности абсолютным методом.

Во втором методе для измерителя освещенности требуется калибровка по освещенности относительно абсолютного радиометра. Методика калибровки в большинстве случаев включает измерение абсолютной спектральной чувствительности к энергетической освещенности на дискретных длинах волн методом сравнения с абсолютным радиометром, а также с другими эталонными детекторами (кремниевый трап-детектор, фотодиоды с расчетной квантовой эффективностью).

В Республике Беларусь существует национальный эталон единицы силы света и освещенности НЭ РБ 8-02, предназначенный для воспроизведения единиц силы света, освещенности, яркости, координат цветности и коррелированной цветовой температуры. Относительная расширенная неопределенность реализации силы света составляет $8 \cdot 10^{-3}$. В настоящее время проводится модернизация эталона НЭ РБ 8-02.

4.5 Решение кадровых проблем системы обеспечения единства измерений

Для решения данной задачи необходима разработка комплексной системы, обеспечивающей в краткосрочной перспективе постоянное повышение квалификации молодых кадров, а в долгосрочной перспективе - интегрирование молодых кадров высшей квалификации в метрологические службы организации. Кроме того, целесообразно комплектование государственной метрологической службы специалистами с высшим образованием в области физики, приборостроения, радиоэлектроники, ядерной физики, микроэлектроники, химии. Актуальным также является сотрудничество с институтами Национальной академии наук Республики Беларусь в разработке и модернизации национальных эталонов единиц величин.

4.6 Сохранение устойчивого положения на международном уровне в области метрологии

В области международной деятельности приоритетом является повышение конкурентоспособности белорусской продукции на мировом рынке. В связи с этим целесообразным является активное развитие международных связей в области метрологии.

Для сохранения устойчивого положения на международном уровне в области метрологии необходимо придерживаться следующих положений:

- постоянное обновление и модернизация национальной эталонной базы Республики Беларусь позволит поддерживать высокий уровень точности измерений для соответствия международных стандартов;

- проведение сличений национальных эталонов единиц величин с другими странами, что позволит оценить точность и надежность национальной эталонной базы Республики Беларусь и выявить возможные проблемы в обеспечении единства измерений;

- развитие работ по направлению научных исследований в области метрологии, что позволит разработать новые методы и технологии проведения измерений или улучшить существующие;

- участие в деятельности международных метрологических организаций, что позволит обмениваться опытом и знаниями с другими странами, а также обеспечит признание и доверие к национальной метрологической системе;

- подготовка высококвалифицированных специалистов в области метрологии, что обеспечит стабильность и качество работы национальной метрологической системы.

5. Мероприятия по реализации Концепции развития эталонной базы Республики Беларусь

Развитие эталонной базы Республики Беларусь тесно связано с потребностями реального сектора экономики Республики Беларусь, поскольку именно промышленные предприятия являются основными пользователями эталонов единиц величин. Основными целями развития эталонной базы Республики Беларусь, направленными на поддержку и развитие реального сектора экономики Республики Беларусь, являются:

- повышение точности и стабильности национальных эталонов единиц величин для обеспечения высокого качества промышленной продукции;

- разработка новых национальных эталонов единиц величин для поддержки инновационных технологий и создания новых видов продукции;

- обеспечение соответствия национальных эталонов единиц величин международным стандартам, чтобы облегчить экспорт продукции и интеграцию в мировой рынок;

- подготовка квалифицированных кадров и проведение научных исследований для решения актуальных проблем промышленности;

- внедрение цифровых технологий для автоматизации и оптимизации производственных процессов.

В рамках следующей подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» на 2026-2030 годы планируется провести:

- Модернизацию следующих национальных эталонов единиц величин:

- НЭ РБ 1-95 Национальный эталон единиц: времени – секунды, частоты – герца и шкалы времени;

- НЭ РБ 13-04 Национальный эталон единицы молярной доли компонентов в газовых смесях;

- НЭ РБ 18-10 Национальный эталон единицы молярной доли атмосферных экологически опасных компонентов SO_2 , NO , NO_2 , H_2S , CO_2 в части воспроизведения единицы молярной доли аммиака (NH_3) в азоте/воздухе;

- НЭ РБ 23-14 Национальный эталон единицы теплопроводности;

- НЭ РБ 25-15 Национальный эталон единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконнооптических систем связи и передачи информации (ВОСП).

- Создание следующих национальных эталонов единиц величин:

- Национального эталона единицы хроматической дисперсии в оптическом волокне;

- Национального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в оптическом волокне.

- Также рассматривается вопрос создания эталонной установки/

национального эталона единиц величин, предназначенного для проведения поверки/калибровки генераторов спиртосодержащих воздушных смесей, используемых для поверки приборов для измерения концентрации паров алкоголя в выдыхаемом воздухе.

По итогам завершения заданий, выполняемых в рамках подпрограммы «Эталоны Беларуси» 2021-2025 и 2026-2030 годы, планируется увеличить количество национальных эталонов единиц величин до 70-73 единиц.

Мероприятия по реализации Концепции, сроки и этапы их выполнения, устанавливаются в Плане мероприятий по реализации Концепции развития эталонной базы Республики Беларусь.