

180 лет единству и точности измерений в России

К 180-летию первого государственного научного метрологического учреждения страны – Всероссийского научно-исследовательского института имени Д. И. Менделеева

Антон Николаевич Пронин¹, Елена Борисовна Гинак²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, генеральный директор, Санкт-Петербург, Россия, A.N.Pronin@vniim.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, заведующая Метрологическим музеем Росстандарта, Санкт-Петербург, Россия, E.B.Ginak@vniim.ru

One hundred and eighty years of uniformity and accuracy of measurements in Russia

To the 180th anniversary of the first state scientific metrological institution of the country – D. I. Mendeleev Institute for Metrology

Anton N. Pronin¹, Elena B. Ginak²

¹ D. I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), Director General, St. Petersburg, Russia, A.N.Pronin@vniim.ru

² D. I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), Director of the Rosstandart Museum, St. Petersburg, Russia, E.B.Ginak@vniim.ru

16 июня 2022 г. – важная дата в истории развития отечественной метрологии – 180-летие Именного указа – Положения о весах и мерах, данного Сенату императором Николаем I 4(16) июня 1842 г.¹ Именно этим указом создано первое в России и одно из старейших в мире государственное научное метрологическое и поверочное учреждение – Депо образцовых мер и весов, определены задачи учреждения и функции его руководителя.

Указ гласил: «Для надзора за сохранением в надлежащей исправности Российских нормальных мер и весов назначить особого Учёного хранителя..., имеющего специальные в метрологии сведения»².

«Положение о мерах и весах» также устанавливало единую систему единиц, обязательную для применения на всей территории российского государства, утверждало эталоны этой системы, а также принципы организации надзора и поверки мер и весов, порядок их производства и клеймения.

Необходимо отметить, что первая попытка создания научно обоснованной системы государственных эталонов была предпринята в России в ещё 1736 г., но в силу ряда обстоятельств деятельность первой государственной комиссии по мерам и весам не получила законодательного оформления. Решение этой проблемы было отложено почти на 100 лет. В результате первые эталоны созданы трудами

участников следующих двух правительственных комиссий «для приведения в единообразие российских мер и весов» (1827–1842 гг.), разработавших научные основы национальной системы измерений.

Фактическим создателем первых эталонов России и первым учёным хранителем Депо образцовых мер и весов, которое размещалось в самом «сердце» Санкт-Петербурга, на территории Петропавловской крепости, был академик А. Я. Купфер. В 1865 г. учреждение возглавил профессор Института инженеров путей сообщения В. С. Глухов. Именно по его инициативе, в связи с необходимостью улучшения условий хранения эталонов и научной постановки метрологических работ, на Забалканском проспекте (ныне Московский пр., 19) Министерством финансов приобретён участок земли, где в 1879 г. построено новое специально оборудованное здание, в конструкции которого учтены требования к виброустойчивости и термостатированию (наружные стены толщиной более 1 м, развязанный массивный фундамент (свыше 600 т) для размещения хранилищ эталонов, окружённых со всех сторон коридорами для свободной циркуляции воздуха). Здание по сей день служит российским метрологам, являясь главным эталонным корпусом ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, и с 1960 г. имеет охранный статус.

¹ Здесь и далее исторические даты до февраля 1918 г. приведены по старому стилю, в скобках – по новому стилю.

² Полное собрание законов Российской империи (ПСЗ), 2-е собрание законов, 1843 г., т. XVII, ст. 15718.

19 ноября 1892 г. Депо образцовых мер и весов возглавил всемирно известный учёный-энциклопедист Д. И. Менделеев. Его приход в метрологию стал логическим продолжением творческого пути. Это обусловлено, с одной стороны, отношением учёного к процессу измерения как одному из основных методов познания окружающего мира (вспомним его знаменитую фразу: «наука начинается с тех пор, как начинают измерять»), с другой стороны – стремлением «дать плодотворное – промышленно-реальное дело своей стране». В этот период метрологическая деятельность находилась в ведении Министерства финансов, осуществлявшего управление всей промышленностью страны. Министры финансов И. А. Вышнеградский (1887–1892 гг.), а затем С. Ю. Витте (1892–1903 гг.), высоко оценивая деятельность Д. И. Менделеева как учёного с большим практическим опытом, именно к нему обращались за помощью при решении многих проблем общегосударственного значения: разработка таможенного тарифа; открытие новых учебных заведений; подготовка научной высокоширотной экспедиции ледокола «Ермак»; исследование состояния нефтяной и горнозаводской промышленности, в том числе с целью вывода их из кризиса и др.

Один из сотрудников Д. И. Менделеева отмечал в воспоминаниях, что при С. Ю. Витте без заключения Дмитрия Ивановича не осуществлялось ни одно сколько-нибудь важное мероприятие, касавшееся торговли и промышленности, а в современных трудах Д. И. Менделеева по праву называют «экономический советник российского правительства».

Активно развивающейся в конце XIX в. российской промышленности, внешней и внутренней торговле была необходима эффективно действующая государственная метрологическая система, обеспечивающая «единообразие, верность и взаимное соответствие мер и весов», по современной терминологии – единство измерений. Решение и этой важнейшей государственной задачи Министерство финансов доверило Д. И. Менделееву. «Поручили мне дело упорядочения мер и весов в России, чем я занят с тех пор с увлечением, так как тут чистая наука тесно переплеталась с практической» – писал учёный.

Стараниями Д. И. Менделеева 8 июня 1893 г. Депо образцовых мер и весов было преобразовано в Главную палату мер и весов, а сам Дмитрий Иванович стал её первым управляющим.

Под руководством Д. И. Менделеева в Главной палате была проведена работа по созданию усовершенствованной системы государственных эталонов, соответствующих мировому уровню развития науки и техники. Работы начались с возобновления прототипов единиц основных величин – длины и массы, и установления точных соотношений между российскими и метрическими эталонами. Это дало возможность подготовить страну к постепенному переходу на международную систему единиц.

К началу XX в. в Главной палате мер и весов под руководством Д. И. Менделеева созданы первоклассно оснащённые научные отделения: весовое, компараторное (измерения длины), термометрическое, манометрическое, астрономическое, электрическое, фотометрическое, газомерное, водомерное, химическая лаборатория. Начаты работы по измерению

радиоактивности, абсолютного значения «напряжения» (ускорения) силы тяжести, определению точного времени по вращению Земли, физико-химические исследования и др. Впервые стали проводить испытания и поверку широкой номенклатуры контрольно-измерительных приборов, применяемых в промышленности, торговле, быту: термометров, манометров, динамометров, калибров, колориметров, пурок (хлебных весов), электроводогазосчётчиков и др.

Д. И. Менделеев сформулировал обширную программу работ в области фундаментальной физики, включающую определение ускорения (напряжения) силы тяжести, изучение влияния формы и компактности тел на их вес, проверку закона сохранения материи и др. В конце XIX в. учёный очень верно определил приоритетную задачу метрологической деятельности: «точное объединение мер, применяемых в торговле и промышленности, и укрепление во всём мире доверия к постановке метрологических задач в России».

И эта цель была достигнута. Заслуги Д. И. Менделеева в области метрологии были признаны не только в России, но и в международном метрологическом сообществе. В 1895 г. он избран членом, а с 1901 г. – почётным членом Международного комитета мер и весов, организации, куда входят самые авторитетные метрологи разных стран мира.

После смерти Д. И. Менделеева в 1907 г. управляющим Главной палаты мер и весов стал профессор Н. Г. Егоров. По его инициативе в 1909–1913 гг. изготовлены национальные эталоны единиц электрических величин и заложены основы радиотелеграфной, оптической, радиологической и магнитной лабораторий.

После революции Главная палата мер и весов перешла в подчинение Народному комиссариату торговли и промышленности. С 1922 по 1929 гг. президентом Главной палаты был ученик и преемник Д. И. Менделеева академик Д. П. Коновалов – выдающийся учёный в области физической химии. Он значительно расширил сферу деятельности вверенного ему учреждения, изменил структуру, создав Метрологический и Поверочный институты для обеспечения единства измерений и улучшения поверочной деятельности на местах. Под его руководством в Главной палате были разработаны эталоны единиц световых и электрических величин, платиновые термометры сопротивления и платинородиевые термодатчики, эталонная пурка, первая эталонная калориметрическая установка. В химической лаборатории начато изготовление и проведены испытания первых отечественных стандартных образцов бензойной кислоты, один из которых принят в качестве эталона СССР.

В 1931 г. Главная палата, президентом которой в то время был член-корреспондент АН СССР профессор М. А. Шателен, переименована во Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии и стандартизации (ВИМС). В 1934 г. ВИМС преобразован во Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ).

В годы Великой Отечественной войны ВНИИМ ни на один день не прекращал деятельность и не утратил научный потенциал: часть эталонов института эвакуировали вглубь страны для обслуживания оборонной промышленности, оставшиеся

в осаждённом Ленинграде сотрудники сохранили ценное оборудование, оказывали метрологическую помощь фронту и городу и даже защищали диссертации.

10 января 1945 г. ВНИИМ присвоено имя основоположника научной метрологии Д. И. Менделеева. В послевоенные годы институт возглавляли такие видные учёные, как П. М. Тиходеев, М. Ф. Юдин, Б. М. Яновский, А. К. Колосов.

Почти двадцать лет начиная с 1956 г. директором института был лауреат Государственной премии доктор технических наук В. О. Арутюнов. В этот период традиционные направления работ существенно расширены и дополнены принципиально новыми для метрологии направлениями: измерения физических констант, характеристик тепловых процессов, параметров физических полей, гидрофизические измерения. По инициативе В. О. Арутюнова во ВНИИМ начаты работы по созданию новой системы эталонов единиц электрических величин, опирающейся на физические константы и использование стабильных физических эффектов. Эти работы завершены его учениками и последователями к началу 1990 г. под руководством доктора технических наук профессора Ю. В. Тарбеева, который возглавлял ВНИИМ с 1975 по 1997 гг.

Важной вехой в истории института стало создание в 1977 г. на его базе научно-производственного объединения (НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»). В 1994 г. объединение реорганизовано в Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева». Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 июля 1994 г. институту присвоен статус Государственного научного центра Российской Федерации. Этот статус ВНИИМ успешно подтверждает и в настоящее время.

С середины 1990-х гг. на развитие отечественной метрологии, в том числе исследований во ВНИИМ, существенное влияние оказали переход нашей страны к рыночной экономике и решение о создании единой международной системы сопоставимости результатов измерений, необходимой для развития торговли в условиях глобализации мировой экономики. Руководил институтом в период 1997–2015 гг. кандидат экономических наук Н. И. Ханов.

В 1999 г. подписано важное международное соглашение «Договорённость о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами». Договорённость рассматривается как необходимый этап на пути к снижению барьеров в торговле, а также обеспечению достоверной информацией об изменении климата, уровня мирового океана, безопасности новых материалов. В настоящее время к ней присоединились более 50 стран.

По количеству позиций, включённых в базу данных Международного Бюро мер и весов и характеризующих признанные всеми участниками Договорённости измерительные и калибровочные возможности (СМС), Россия по состоянию на 1 июня 2022 г. занимает второе место в мире (1803 строк), незначительно уступая лишь Китаю (1835 строк) и уверенно

обгоняя Германию (1470 строк) и США (1462 строки). При этом более 73 % измерительных и калибровочных возможностей России (1320 строк) обеспечивают государственные первичные эталоны ВНИИМ.

Естественно, что главными задачами в начале XXI в. для ВНИИМ были и остаются и по сей день фундаментальные и прикладные исследования по метрологии с целью создания новых и дальнейшего совершенствования существующих государственных первичных эталонов, а также обеспечение признания калибровочных и измерительных возможностей Российской Федерации международным метрологическим сообществом.

Для реализации этих задач ВНИИМ располагает современным метрологическим и испытательным оборудованием, уникальными защищёнными от помех зданиями и сооружениями (наземные и подземная лаборатории, криогенный и немагнитный комплексы, большой гидрофизический бассейн со свободной затопленной струей и специальные фундаменты для статических и динамических измерений в механике). В институте трудятся высокопрофессиональные учёные и специалисты (в том числе 19 докторов и 79 кандидатов наук). Система менеджмента качества соответствует международным стандартам. Всё это позволяет сотрудникам ВНИИМ принимать активное участие в формировании современной идеологии развития эталонной базы страны и разработке законодательных документов в области метрологии и стандартизации.

В последнее десятилетие развитие института проходило по различным направлениям, среди которых можно выделить научно-техническое и организационное.

Основное направление научно-технического развития в последние годы задано проведённым преобразованием Международной системы единиц (СИ), которая всегда была динамичной, ориентированной на практику и постоянно развивавшейся на основе новейших научно-технических достижений.

Научные достижения в атомной физике и квантовой метрологии, а также прогресс в измерительной технике, позволили по-новому подойти к формулированию определений единиц величин в целом и семи основных единиц в частности, для которых установлены числовые значения семи «определяющих» констант. Среди них фундаментальные физические константы, такие как постоянная Планка и скорость света, заряд электрона и др. Переопределение единиц представляет собой исторический и значимый шаг вперёд и основано на нашем современном понимании законов физики. Это позволяет при воспроизведении единиц величин реализовать преимущества атомных и квантовых явлений, исключив обусловленные определениями ограничения по точности, которая в этом случае будет определяться только техническими возможностями.

Новые определения единиц в России законодательно закреплены Постановлением Правительства Российской Федерации³. ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» – это государственный научный центр и головная организация в России по фундаментальным исследованиям в области

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 09.03.2022 г. № 323 «О внесении изменений в приложение № 1 к Положению о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации».

метрологии и развития государственной эталонной базы. Институт является лидером среди российских институтов по количеству закреплённых за ним видов измерений, первичных эталонов и подтверждённых измерительных возможностей в базе данных Международного бюро мер и весов. Во ВНИИМ находится большая часть российских первичных эталонов основных единиц системы СИ, и в свете её переопределения по ним проводятся исследования: в рамках постоянных метрологических работ, тем по совершенствованию эталонов, а также отдельных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Первичные эталоны ВНИИМ единиц электрических величин находятся на уровне эталонов ведущих мировых метрологических центров. Для воспроизведения единиц напряжения и сопротивления используются квантовые эффекты, постоянно ведутся работы по техническому совершенствованию эталонных установок для обеспечения хранения единиц и их передачи. В части единицы электрического тока выполняются исследовательские работы по выбору практической реализации эталона единицы ампера в соответствии с новым определением.

ВНИИМ – хранитель Государственного первичного эталона единицы температуры больше 0 °С. В 2020 г. по результатам проведённого совершенствования эталон переутверждён в диапазоне 0–3200 °С. Эталон состоит из двух частей: в области контактных методов измерений температуры (0–961,78 °С) реализована Международная температурная шкала МТШ-90, которая продолжает действовать наравне с новым определением кельвина; в области радиационных методов измерений температуры (961,78–3200 °С) реализован метод первичной термометрии как этап перехода российской метрологии на новые определения основных единиц СИ, основанные на фундаментальных физических константах.

Наиболее сложной при внедрении новых определений единиц является практическая реализация единицы массы – килограмма. Международный прототип килограмма и его копии оставались последними эталонами, основанными на артефактах, и это стало одной из важнейших причин переопределения системы СИ.

В соответствии с международной рекомендацией для принятого нового определения при практической реализации единицы массы могут быть использованы два метода: метод сравнения электрической и механической мощности (ватт-весы или Киббл-весы); рентгенокристаллический метод измерения плотности при определении массы чистого вещества через число элементарных объектов.

Оба метода предусматривают воспроизведение и передачу единицы в условиях вакуума. Для работ в этом направлении ВНИИМ им. Д. И. Менделеева в рамках совершенствования оснастил государственный первичный эталон вакуумным компаратором массы CCL 1007 с вакуумной транспортной системой и провёл исследование, в рамках которого освоены вакуумные измерительные технологии, подтвердившее значительное повышение точности.

В рамках реализации во ВНИИМ нового определения единицы массы выбран вариант разработки отечественных

ватт-весов, для которого институт имеет научный потенциал, опыт работ по отдельным видам измерений и определённые заделы. Кроме первичного эталона единицы массы здесь можно упомянуть находящиеся во ВНИИМ первичные эталоны единиц таких величин, как напряжение, сопротивление, длина, магнитные величины, ускорение для гравиметрии.

Начальным этапом создания отечественных ватт-весов стала выполненная в 2020–2021 гг. по заданию Росстандарта НИР «БАЛАНС», в рамках которой разработаны узлы и прототипы макета будущей эталонной установки: механическая и электромагнитная системы. Также разработаны и опробованы алгоритмы измерений и обработки информации и варианты управляющих систем.

В рамках начатой в 2021 г. НИР «ПРОГРЕСС» планируется продолжение исследований по отработке конструкции и совершенствованию измерительных технологий с целью перехода в 2023 г. к опытно-конструкторской работе по созданию ватт-весов.

Второй важнейший аспект, определяющий научно-техническую стратегию института в последние годы, – приоритетные направления развития отечественной промышленности и социальной сферы. Это в полной мере сказалось на услугах, выполняемых институтом в рамках метрологических работ по испытаниям в целях утверждения типа средств измерений и стандартных образцов, поверке, калибровке, аттестации испытательного оборудования и др. Значительно увеличились объёмы работ, выполняемые в интересах топливно-энергетического комплекса, химико-перерабатывающей и атомной промышленности. Институт является исполнителем масштабных опытно-конструкторских работ в областях измерений, обеспечивающих развитие отечественного судостроения, а также учёт углеводородного сырья и продуктов его переработки. Актуальные задачи современности нашли отражение в составе первичных эталонов института как совершенствуемых, так и вновь разрабатываемых. С развитием промышленности и топливно-энергетического комплекса связаны работы по совершенствованию государственных первичных эталонов в области измерения плотности (ГЭТ 18-2014), а также теплофизических (ГЭТ 67-2013), магнитных (ГЭТ 198-2017, ГЭТ 12-2021) и абсорбционных свойств материалов (ГЭТ 210-2019). Современные технологические процессы и развитие транспорта стали стимулом для совершенствования государственных первичных эталонов в области абсолютного давления (ГЭТ 101-2011) и температуры пульсаций водной среды (ГЭТ 116-78). Обеспечение безопасности работ с ионизирующим излучением – обоснование для совершенствования Государственного первичного эталона единиц параметров импульсного рентгеновского излучения (ГЭТ 134-82).

Отдельно следует выделить работы института по созданию государственного первичного эталона единицы числа копий последовательности ДНК. Актуальность работы обусловлена широким внедрением метода полимеразной цепной реакции (ПЦР), обеспечивающего возможность выполнения измерений числа копий последовательности ДНК. При этом масштабное применение новых технологий

диагностики в лабораторной медицине, обусловленное условиями пандемии SARS-CoV-2, потребовало разработки, создания, совершенствования и средств обеспечения единства и требуемой точности измерений, а также разработки необходимых правил и методик выполнения измерений. Кроме этого, необходимость обеспечения единства измерений и требуемой точности в этом виде измерений обусловлена широким применением технологий, связанных с манипуляциями с ДНК в самых разных отраслях экономики Российской Федерации, в том числе – в биотехнологиях, лабораторной и судебной медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве и животноводстве, при санитарном контроле и в других сферах хозяйственной деятельности.

К организационному направлению развития института можно отнести проведённое Росстандартом в соответствии с Указом Президента Российской Федерации крупнейшее за последние годы преобразование структуры государственных научно-исследовательских метрологических институтов (ГНИИ) – к Всероссийскому научно-исследовательскому институту метрологии им. Д. И. Менделеева в форме филиалов присоединены Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии (ВНИИР) в Казани и Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ) в Екатеринбурге. Процесс реорганизации трёх метрологических институтов завершён в январе 2020 г.

Объединение научной и технологической базы подведомственных Росстандарту метрологических институтов позволило оптимизировать решение задач отечественной метрологии, обеспечить поддержание её высокого уровня и международного признания. Как показал прошедший период, реорганизация стала фактором экономического роста ВНИИМ, содействовала развитию отечественного приборостроения и обеспечению высокого качества метрологических услуг.

Единый центр концентрации технического потенциала специалистов и ответственности позволяет решать масштабные государственные задачи. В частности, в настоящее время специалисты ВНИИМ и ВНИИР совместно работают над созданием эталонных установок для метрологического обеспечения расходомерии в области сжиженных газов при криогенных температурах и природного газа высокого давления. Значимые для Российской Федерации работы по добыче и переработке, в том числе на экспорт, а также использованию углеводородного сырья имеют государственное

значение и требуют максимального научного потенциала метрологических институтов.

Задача обеспечения единства измерений в Российской Федерации получила дополнительный потенциал развития при тесном сотрудничестве в единой структуре специалистов ВНИИМ и УНИИМ – ведущих предприятий в области разработки, испытаний и производства стандартных образцов для различных видов измерений. Росстандартом функции научно-методического центра Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (НМЦ ГССО) возложены на ВНИИМ им. Д. И. Менделеева⁴, а внутренним приказом ВНИИМ им. Д. И. Менделеева работы по обеспечению деятельности центра поручены УНИИМ – филиалу ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

Среди новых подразделений института, создание которых стало актуальным на современном этапе, необходимо отметить Центр обеспечения надёжности, призванный выработать оптимальный подход при решении задач установления и подтверждения метрологических характеристик средств измерений, в том числе межповерочного и межкалибровочного интервалов, а также Центр экологической безопасности, решающий вопросы разработки и внедрения на отечественных промышленных предприятиях соответствующих норм, а также методов и средств их контроля.

Подводя итоги обзора истории становления, 180-летнего пути развития и перспективных планов деятельности старейшего метрологического учреждения России, можно констатировать, что работы по обеспечению единства и точности измерений в нашей стране всегда были в фокусе внимания государственной власти и находились в надёжных руках учёных-метрологов, в том числе последнее столетие – отечественных метрологов «менделеевской школы». А неуклонное следование традициям и приверженность «менделеевскому духу» вкупе с современной базой государственных эталонов, уникальным комплексом исследовательского и испытательного оборудования, специальными зданиями и сооружениями на пяти площадках на территории России, сплочённым коллективом профессионалов высокого класса позволяют ВНИИМ им. Д. И. Менделеева уверенно смотреть в будущее, гарантируя высочайший уровень метрологического обеспечения важнейших отраслей национальной экономики, здравоохранения и социальной сферы, и развитие отечественной науки.

⁴ Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 марта 2020 г. № 599 «Об организации работ по обеспечению деятельности Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов».