

тратам на хранение эталонов добавить затраты на проведение международных сличений (в соответствии с вышеупомянутой Программой:  $30,0 \times 7 = 210,0$  тыс. грн каждые 7–10 лет), то все равно ежегодные расходы на калибровку СИТ за рубежом (в предположении отсутствия собственных первичных эталонов) будут значительно превышать затраты на содержание собственной эталонной базы.

Приведенные примеры характеризуют количественные показатели для эталонов основных единиц физических величин. Подобные оценки могут быть проведены для всех государственных первичных эталонов, причем, учитывая существенное различие в расценках на метрологические работы в нашей стране и за рубежом, есть основания полагать, что основные выводы окажутся аналогичными.

Отсюда следует, что экономически целесообразным является создание и поддержание на необходимом уровне национальных эталонов, обеспечивающих прослеживаемость измерений как для законодательно регулируемой сферы, так и при испытаниях продукции на соответствие действующим техническим регламентам.

Если же, в силу каких-либо причин, прослеживаемость измерений будет обеспечиваться с помощью зарубежных эталонов, то это может привести (как это следует из вышеприведенного анализа) к существенному удорожанию метрологических работ, а следовательно, и к удорожанию отечественной продукции и потере ее конкурентоспособности на европейском и мировом рынках.

Достоверность выводов выполненного анализа подтверждается конкретными примерами,

которые можно найти даже среди стран Евросоюза. Те страны ЕС, у которых не развита собственная эталонная база (Греция, Португалия и др.), проигрывают в конкурентной борьбе на европейском и мировом рынках высокотехнологичной продукции тем странам, у которых имеется мощная метрологическая инфраструктура, опирающаяся на собственную эталонную базу (Германия, Франция, Англия и др.).

Авторы благодарны ученым хранителям государственных эталонов, прежде всего В. С. Купко, В. И. Бороху, И. А. Колозинской, Э. А. Корецкому, Е. П. Ивановой, А. Д. Купко, представившим информацию для табл. 1–3.

#### Список литературы

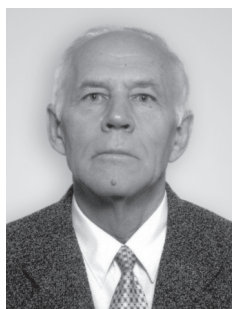
1. Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 15 червня 2004 року № 1765-IV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1765-15>
2. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 5 червня 2014 року № 1314-VII [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.
3. Проект Постанови Кабінету Міністрів “Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&tag=docs\\_project](http://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&tag=docs_project)

УДК 001.4:389.1

## НАЦИОНАЛЬНАЯ ЭТАЛОННАЯ БАЗА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Б.Ф. Марков,**

кандидат технических наук, доцент, директор научного центра ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков



*Проведен анализ состояния национальной эталонной базы и эффективности ее функционирования. Обоснованы направления совершенствования эталонной базы и предложены критерии определения приоритетов при создании эталонов.*

*The analysis of the current state of the National Measurement Standard Base and its operation efficiency is carried out. The directions of future development of the measurement standard base are substantiated and the prioritizing criteria for the establishment of measurement standards are proposed.*

Национальная эталонная база является составляющей государственной метрологической системы (метрологической системы Украины) и обеспечивает воспроизведение единиц измерений и передачу размеров от государственных эталонов с помощью рабочих эталонов рабочим средствам измерительной техники, которые эксплуатируются в производственной и непроизводственной сферах.

Важное значение имеют созданные в ННЦ “Институт метрологии” государственные первичные эталоны основных единиц: метра, килограмма, секунды, кельвина, канделы. Эти эталоны представляют собой сложные высокоточные измерительные комплексы, при создании которых использованы фундаментальные физические константы и новейшие достижения науки и техники.

Для функционирования эталонов создана уникальная инфраструктура, которая обеспечивает заданные условия по параметрам температуры, давления, влажности и, при необходимости, защиту от электромагнитных, механических и других помех.

В частности, государственный первичный эталон времени и частоты используется для формирования и хранения национальной шкалы координированного времени, которая используется для надежного функционирования навигационных систем, систем связи, транспорта, предприятий атомно-энергетического комплекса и др.

Кроме того, результаты измерений времени и частоты с государственного первичного эталона передаются в Международное бюро мер и весов (Париж, Франция), где используются совместно с результатами измерений, полученными от национальных эталонов других стран для формирования международной шкалы времени.

На эталонную базу опирается также система обеспечения единства измерений и исходные эталоны Вооруженных Сил Украины.

Таким образом, национальная эталонная база выполняет важные общегосударственные функции (создание условий для экономического развития и обеспечение обороноспособности, защита прав граждан на потребление безопасной для их здоро-

вья продукции, контроль состояния окружающей среды и др.), а также является одним из ключевых элементов для решения проблем снятия технических барьеров и создания условий для равноправного международного научно-технического и торгового сотрудничества.

#### Состояние национальной эталонной базы

Основными требованиями к национальной эталонной базе являются:

- стабильность во времени метрологических характеристик эталонов;
- постоянная готовность эталонов к выполнению функций по передаче размера единицы измерений исходным эталонам.

Выполнение этих требований возможно при обеспечении высокой надежности и безотказной работы эталонов на протяжении значительных промежутков времени. Естественно, что эти требования могут быть выполнены только в том случае, если срок службы эталона не превышает установленных нормативных сроков (как правило, 10 лет) и условия эксплуатации соответствуют заданным. И если с заданными условиями, которые обеспечиваются созданной инфраструктурой, проблемы практически отсутствуют, то сроки эксплуатации государственных эталонов значительно превышают нормативные, что

Таблица 1

Возрастная структура государственных первичных эталонов

| Вид измерения  | Кол-во эталонов | До 10 лет |      | От 10 до 15 лет |      | Более 15 лет |      |
|--|-----------------|-----------|------|-----------------|------|--------------|------|
|  |                 | кол-во    | %    | кол-во          | %    | кол-во       | %    |
| 01 Измерения геометрических величин                                  | 5               | 2         | 40   | —               | —    | 3            | 60   |
| 02 Измерения механических величин                                    | 7               | 4         | 57,1 | —               | —    | 3            | 42,9 |
| 03 Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ      | 5               | 2         | 40   | 1               | 20   | 2            | 40   |
| 04 Измерения давления, вакуумные измерения                           | 3               | —         | —    | 1               | 33,3 | 2            | 66,7 |
| 05 Измерения физико-химического состава и свойств веществ            | 4               | 2         | 50   | 2               | 50   | —            | —    |
| 06 Температурные и теплофизические измерения                         | 6               | —         | —    | 1               | 16,7 | 5            | 83,3 |
| 07 Измерения времени и частоты                                       | 1               | —         | —    | —               | —    | 1            | 100  |
| 08 Измерения электрических и магнитных величин                       | 9               | 1         | 11,1 | 3               | 33,3 | 5            | 55,6 |
| 09 Радиотехнические и радио-электронные измерения                    | 7               | 2         | 28,6 | 1               | 14,3 | 4            | 57,1 |
| 10 Измерения акустических величин                                    | 1               | 1         | 100  | —               | —    | —            | —    |
| 11 Оптико-физические измерения                                       | 11              | 8         | 72,7 | 1               | 9,1  | 2            | 18,2 |
| 12 Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант | 10              | 4         | 40   | 5               | 50   | 1            | 10   |
| Итого  | 69              | 26        | 37,7 | 15              | 21,7 | 28           | 40,6 |

Возрастная структура вторичных эталонов

| Вид измерения  | Кол-во эталонов | До 10 лет |      | От 10 до 15 лет |      | Более 15 лет |      |
|--|-----------------|-----------|------|-----------------|------|--------------|------|
|  |                 | кол-во    | %    | кол-во          | %    | кол-во       | %    |
| 01 Измерения геометрических величин                                  | 11              | 2         | 18,2 | 1               | 9,1  | 8            | 72,7 |
| 02 Измерения механических величин                                    | 6               | —         | —    | 1               | 16,7 | 5            | 83,3 |
| 03 Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ      | 5               | 5         | 100  | —               | —    | —            | —    |
| 04 Измерения давления, вакуумные измерения                           | 7               | —         | —    | 5               | 71,4 | 2            | 28,6 |
| 05 Измерения физико-химического состава и свойств веществ            | 6               | 5         | 83,3 | 1               | 16,7 | —            | —    |
| 06 Температурные и теплофизические измерения                         | 6               | —         | —    | —               | —    | 6            | 100  |
| 07 Измерения времени и частоты                                       | 2               | 2         | 100  | —               | —    | —            | —    |
| 08 Измерения электрических и магнитных величин                       | 18              | 10        | 55,5 | 3               | 16,7 | 5            | 27,8 |
| 09 Радиотехнические и радиоэлектронные измерения                     | —               | —         | —    | —               | —    | —            | —    |
| 10 Измерения акустических величин                                    | 2               | 1         | 50   | 1               | 50   | —            | —    |
| 11 Оптико-физические измерения                                       | 3               | 1         | 33,3 | —               | —    | 2            | 66,7 |
| 12 Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант | 3               | —         | —    | —               | —    | 3            | 100  |
| Итого  | 69              | 26        | 37,7 | 12              | 17,4 | 31           | 44,9 |

приводит к их физическому и моральному износу. Информация о возрастной структуре государственных первичных эталонов по видам измерений приведена в табл. 1, а вторичных эталонов — в табл. 2.

Анализ возрастной структуры эталонов показывает, что около 40 % государственных первичных эталонов и 45 % вторичных эталонов функционируют более 15 лет, а 20 % государственных первичных и 17 % вторичных эталонов — более 10 лет, то есть срок эксплуатации 60 % эталонов, входящих в национальную эталонную базу, превышает нормативный, что является причиной их физического и морального износа. Коэффициент износа для этих эталонов составляет 70–80 %, что может привести к внезапным отказам в системе передачи размера единицы измерения и требует дополнительно значительных финансовых затрат для поддержания национальной эталонной базы в работоспособном состоянии. Поэтому актуальным является интенсификация работ по совершенствованию национальной эталонной базы.

#### Эффективность функционирования национальной эталонной базы

Основным требованием к функционированию национальной эталонной базы является эффективность, интегральный показатель которой можно выразить следующим образом:

$$Kэф_{НЭБ} = N_{НЭБ} / N\Sigma,$$

где  $Kэф_{НЭБ}$  — коэффициент эффективности национальной эталонной базы;  $N_{НЭБ}$  — количество исходных эталонов, которые получают размер единицы от национальной эталонной базы;  $N\Sigma$  — общее количество исходных эталонов, которые функционируют в системе обеспечения единства измерений.

Этот показатель можно считать объективным, так как чем меньше количество исходных эталонов, которые получают размер единицы за рубежом, тем с большей эффективностью функционирует национальная эталонная база. Аналогичный показатель можно применить для оценки эффективности функционирования каждого эталона, который входит в национальную эталонную базу, то есть

$$Kэф_i = N_i / N\Sigma_i,$$

где  $Kэф_i$  — коэффициент эффективности  $i$ -го эталона;  $N_i$  — количество исходных эталонов, которые получают размер единицы от  $i$ -го эталона;  $N\Sigma_i$  — общее количество исходных эталонов, которые функционируют в системе передачи размера единицы, возглавляемой  $i$ -м эталоном.

При этом несложно заметить, что

$$N_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i + N_3/p,$$

где  $n$  – количество эталонов, которые входят в состав национальной эталонной базы;  $Nз/p$  – количество исходных эталонов, которые получают размер единиц от национальных эталонов других стран (за рубежом).

Гипотетически следует считать, что национальная эталонная база имеет максимальную эффективность ( $Kэф = 1$ ), когда все исходные эталоны, которые эксплуатируются в стране, получают размер единицы от национальной эталонной базы, то есть система обеспечения единства измерений является независимой от эталонов других стран. Однако даже в развитых странах, как правило, незначительная номенклатура исходных эталонов получает размер единицы за рубежом, то есть  $Kэф < 1$ .

В Украине количество исходных эталонов, которые получают размер единицы измерений за рубежом, в настоящее время находится в пределах 1–1,2 % от общего количества исходных эталонов, которые эксплуатируются в стране [1]. При этом отсутствуют исходные эталоны, которые получают размер единицы за рубежом, в следующих видах измерений:

- измерения геометрических величин;
- измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ;
- температурные и теплофизические измерения;
- измерения времени и частоты;
- измерения акустических величин;
- измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант.

То есть в 6-ти видах измерений из 12-ти исходных эталонов получают размер единицы от государственных первичных эталонов, которые входят в состав национальной эталонной базы. Это является подтверждением того, что национальная эталонная база выполняет функции по обеспечению единства измерений в стране практически в полном объеме, то есть функционирует с высокой эффективностью. Проведенный анализ показал, что для национальной эталонной базы  $Kэф = 0,90$ , что соответствует уровню эффективности национальной эталонной базы в развитых странах. Это позволит обосновать выбор стратегического направления развития национальной эталонной базы на ближайший 5-летний период. Это направление состоит не в количественном увеличении эталонной базы, а в ее качественном совершенствовании, то есть в серьезной модернизации существующих государственных первичных эталонов с учетом рекомендаций Резолюции по переопределению основных единиц, принятой на 24-й Генеральной конференции по мерам и весам (CGPM) [2].

#### Основные направления совершенствования национальной эталонной базы

Учитывая, что в условиях ограниченного бюджетного финансирования 60 % эталонов, входящих в национальную эталонную базу, требуют совершенствования, весьма важным является выбор приоритетов, то есть определение очередности, в со-

ответствии с которой будет проводиться совершенствование государственных первичных эталонов.

Анализ ситуации с выбором и обоснованием номенклатуры государственных первичных эталонов для совершенствования при разработке “Государственной программы развития эталонной базы на 2011–2015 годы” делает возможным сформулировать следующие критерии определения приоритетности:

- воспроизведение, хранение и передача основной или производной единицы измерения;
- сфера использования эталона (сфера законодательно регулируемой метрологии, обеспечение единства измерений доказательной базы технического регламента и др.);
- степень (коэффициент) износа данного эталона;
- результаты участия в международных сличениях и количество СМС-строк в базе данных Международного бюро мер и весов (KCDV BIPM);
- срок службы с момента введения в эксплуатацию более 15 лет;
- степень загрузки эталона, то есть количество исходных эталонов, которые получают размер единицы от данного эталона в соответствии с действующей поверочной схемой.

Использование приведенных выше критериев позволяет обосновать приоритеты при совершенствовании эталонной базы, то есть последовательность первичных и вторичных эталонов, подлежащих совершенствованию.

Стратегическим направлением совершенствования национальной эталонной базы является использование квантовых эффектов, фундаментальных физических констант и новых технологий. При совершенствовании национальных первичных эталонов основных единиц следует учитывать положения Резолюции № 1 24-й CGPM “О переопределении единиц системы SI” [2]. 24-я CGPM подтвердила неизменность своей позиции по необходимости переопределения единиц килограмма, ампера, кельвина и моля. При этом новое определение килограмма будет привязано к постоянной Планка, а остальные три единицы будут определены через константы. В Резолюции № 1 24-й CGPM не определена конкретная дата введения новых определений единиц, так как это будет зависеть от обеспечения необходимых условий. Также в Резолюции № 1 содержится обращение к организациям и научным учреждениям, работающим в области метрологии, интенсифицировать усилия по ускорению внедрения новых определений основных единиц и создания новой системы единиц, названной New SI.

Следует отметить, что альтернативы совершенствованию национальной эталонной базы с использованием определений единиц New SI не существует. Поэтому следует провести объективный анализ уровня научного и технического потенциалов, который имеют государственные научные

метрологические центры Минэкономразвития и научно-исследовательские институты НАН Украины, а также оценить имеющийся научный задел для решения этой проблемы. С учетом результатов проведенного анализа и имеющихся научных заделов необходимо подготовить государственную научно-техническую программу “Совершенствование национальной эталонной базы на 2016–2020 годы” (далее – Программа). При этом приоритетность эталонов при включении их в Программу следует определять в соответствии с предложенными критериями и учетом имеющихся научных, технических и финансовых возможностей.

#### **Выводы**

1. Национальная эталонная база в основном выполняет функции по обеспечению единства измерений в стране.

2. Значительный физический и моральный износ более 60 % состава национальной эталонной базы требует принятия со стороны государства срочных мер по ее совершенствованию.

3. Совершенствование эталонов основных единиц следует проводить с использованием новых определений единиц, рекомендованных CGPM.

4. Актуальным является подготовка государственной программы “Совершенствование национальной эталонной базы на 2016–2020 годы”.

#### **Список литературы**

1. *Марков Б. Ф.* О состоянии исходных эталонов территориальных органов / Б. Ф. Марков // Украинський метрологічний журнал. – 2014. – № 3. – С. 3–5.
2. Резолюция № 1 24-й Генеральной конференции по мерам и весам. – Париж, 2011.