

Об оценке экономической целесообразности создания государственных первичных эталонов

П. И. НЕЕЖМАКОВ (вице-президент КООМЕТ), А. В. ПРОКОПОВ

Национальный научный центр «Институт метрологии», Харьков, Украина,
e-mail: pavel.neyezhmakov@metrology.kharkov.ua

Выполнен аналитический обзор работ, посвященных экономическим аспектам метрологической деятельности. Обоснован математический алгоритм для количественной оценки экономической целесообразности создания государственного первичного эталона с учетом затрат на таких стадиях цикла, как создание, хранение (эксплуатация) и участие в международных сличениях.

Ключевые слова: эталон, международные сличения, калибровочные и измерительные возможности, экономическая целесообразность.

An analytical review of studies of metrology economic aspects is carried out. A mathematical algorithm for quantitative estimation of economic feasibility of establishing the state primary standard creation with taking into account the cost of the life cycle stages, such as creation, storage (operation) and participation in international comparisons is justified.

Key words: standard, international comparisons, calibration and measurement capabilities (CMC), economic feasibility.

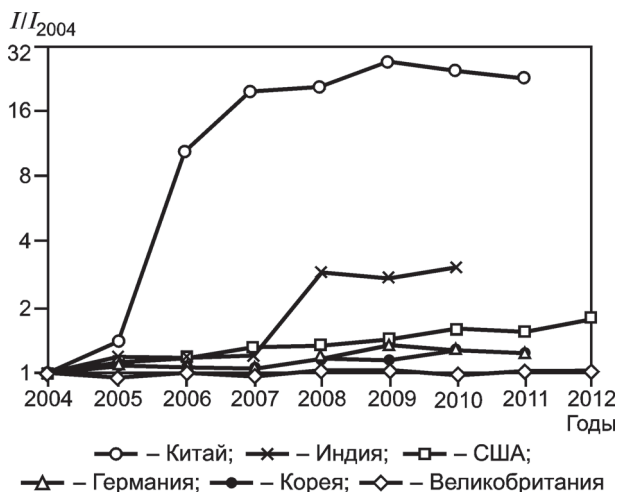
К числу наиболее общих тенденций, определяющих основные направления развития мировой экономики, науки и техники, можно отнести: инновационный характер действующих экономических систем; глобализацию мировых отношений; стремительное развитие информационных технологий. Эти тенденции приводят к ужесточению требований к метрологическим структурам ведущих в технологическом отношении стран мира, поскольку именно уровень развития метрологии определяет состояние и экономики, и науки, и техники. Объемы государственного финансирования метрологии во многих странах неуклонно растут, наиболее значительный рост в последние годы наблюдается в Китае и Индии (рисунок) [1]. В последние годы особую актуальность приобретают вопросы эффективности соответствующих капиталовложений, и в связи с этим наблюдается активизация исследований в сфере экономических проблем метрологии.

Проблемы метрологии всегда привлекали внимание исследователей. Еще в СССР анализировали ее влияние на экономику, а также рассчитывали, как правило в масштабах отдельных предприятий, экономический эффект от метрологических работ [2—4]. В [5] отмечено, что даже небольшое улучшение ситуации в метрологии может принести значительный экономический эффект. В [6—8] подчеркивается, что особое значение для экономики имеют эталоны единиц физических величин.

Среди причин, стимулирующих современные исследования взаимного влияния экономики и метрологии, можно отметить также усиливающуюся конкуренцию на мировых рынках, подписание Соглашения «О взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами» (CIPM MRA) и др. [9]. В настоящее время такие исследования ведутся как на национальных, так и на международном уровнях. Например, в NIST создано специальное подразделение для изучения влияния качества метрологического обеспечения на конкретные производственные отрасли страны. Только за 2000—2011 гг. NIST выполнено

16 исследований в широком тематическом диапазоне: от повышения точности определения холестерина в медицине до повышения компьютерной безопасности в информатике. Оцененное в рамках этих исследований соотношение доходов и расходов на метрологию в конкретной отрасли колебалось от 4 до 249 (в среднем 47) [10]. Подобные исследования выполняют в Германии, Великобритании, Франции, России, Украине, а также в других развитых странах [11—18].

В [11] изложены результаты исследований, проведенных в 2000—2002 гг. при поддержке ЕС и посвященных анализу экономической роли измерений и испытаний в современной Европе. Показано, что затраты на метрологию в объеме 1 % ВВП ЕС (учтены все виды измерений) дают прирост ВВП на 2,7 %. Другими словами, на каждый вложенный в метрологию 1 евро экономика получает прибыль около 3 евро (в СССР оценка данного показателя составляла примерно 1:10).



Относительный рост государственных инвестиций в метрологию ряда стран; I, I_{2004} — инвестиции текущего года и 2004 г., соответственно

Результаты исследований [12], выполненных при поддержке BIPM, а также обзор [13], подготовленный по инициативе МОЗМ, указывают на существенную роль метрологии в снижении технических барьеров в торговле, создании благоприятных условий для производителя. Это достигается, в первую очередь, прослеживаемостью к Международной системе единиц (СИ). Прошедшие международные сличения и согласованные на международном уровне национальные эталоны гарантируют, что измерения, которые прослеживаются к ним, сопоставимы. Эта сопоставимость и согласованность измерений имеет решающее значение в развитии современного мира. Например, существует множество пространственно разнесенных, но тем не менее очень точно синхронизированных атомных часов, создающих основу для Всемирного координированного времени (UTC), обеспечивающего надежную коммуникацию, навигацию и т. д.

В основу методологии цитированных выше работ закладывалось, как правило, использование экспертных оценок, разнообразных статистических данных, результатов опросов, а также общепринятых в экономике расчетных соотношений. Поэтому большинство результатов носит скорее качественный, нежели количественный характер. В этой связи представляет большой интерес попытка разработки количественной теории влияния точностных характеристик эталонов на экономические показатели деятельности производителей и потребителей той или иной продукции [14, 15]. Данные исследования были проведены с сентября 2010 г. по декабрь 2011 г. в BIPM. Основной идеей новой методологии является использование известного в математической статистике и метрологии количественного математического аппарата для оценки ошибок контроля гипотез (качества продукции) 1-го и 2-го рода. В случае испытаний продукции такие ошибки приводят к признанию годного изделия дефектным либо дефектного изделия годным. По сути, это обстоятельство приводит к финансовым потерям производителя или потребителя, которые можно рассчитать, зная функцию распределения контролируемых характеристик продукции и стоимость единицы продукции. Авторы [14, 15] в данной схеме ошибки контроля связывают с различием показаний эталонов, используемых производителем и потребителем. Однако ряд вопросов остается недостаточно проработанным. В частности, откуда берется информация о функции распределения, какие потери понесут потребители второй очереди, получившие продукцию от потребителей первой очереди, использовавших некачественную продукцию исходного производителя, а также как распространить предложенную схему анализа, разработанную для отдельного вида продукции, на совокупность всех видов продукции, производимой в отрасли, государстве и т. д.

Таким образом, анализ имеющихся публикаций показывает, что теоретические аспекты взаимосвязи метрологии и экономики еще недостаточно изучены. Пока не создана общая теория, позволяющая количественно описывать взаимодействие метрологии и экономики, обосновывать наиболее приемлемые, с экономической точки зрения, варианты развития государственной метрологической системы. Сложившуюся ситуацию можно понять, если учесть, что задача совместного рассмотрения такого взаимодействия имеет ярко выраженный системный характер [17], а общая теория системного подхода еще не разработана.

В связи с этим представляет интерес количественный подход, развиваемый в исследованиях ННЦ «Институт мет-

рологии», обзор которых представлен в [18]. В данных работах, а также в цитированных в них публикациях не рассматривались задачи о глобальном влиянии метрологии на экономику, так как проведенный выше анализ показывает, что такие задачи пока еще не имеют исчерпывающего количественного решения и не соответствуют ряду требований практических приложений. Поставлена более узкая задача для целой отрасли, а именно, задача реализации экономических аспектов создания и функционирования высшего звена метрологической системы — эталонной базы страны. В основе предложенного подхода лежит идея сопоставления двух и более вариантов экономического поведения применительно к рассматриваемому звену метрологической системы. В такой постановке — это составная часть обсуждавшейся выше общей задачи. В данном случае сопоставление проводится на основе критерия минимума затрат на реализацию единицы физической величины с необходимой точностью. При этом согласно [19, 20] возможные затраты на создание собственного государственного первичного эталона (ГПЭ) для какого-либо вида измерений (первый вариант) сравнивают с затратами на калибровку исходного средства измерений (СИ) за рубежом, если отсутствует ГПЭ (второй вариант). В обоих вариантах затраты оценивают за время, соответствующее сроку создания и эксплуатации эталона. Точностные требования к процессу передачи единицы физической величины от эталонного звена поверочной схемы на ее нижние уровни для рассматриваемых вариантов считают одинаковыми. Экономически целесообразным является вариант с наименьшими затратами. При реализации данного подхода предполагается, что характеристики разрабатываемых (используемых) эталонов будут соответствовать уже достигнутым мировым показателям. Если же поставить задачу превзойти мировой уровень, то необходимо решить более сложную общую задачу о глобальном влиянии метрологии на экономику страны, т. е. учесть экономический эффект на всех уровнях применения СИ.

В данной статье количественные методы оценки экономической целесообразности создания ГПЭ [18—21] обобщены на тот случай, когда учтены затраты на проведение международных сличений эталонов, позволяющих опубликовать калибровочные и измерительные возможности (СМС — Calibration and Measurement Capabilities) в базе данных ключевых сличений Международного бюро мер и весов (МБМВ). Это имеет большое значение для международного признания метрологических возможностей страны, взаимовыгодной международной торговли и равноправного сотрудничества во многих сферах человеческой деятельности.

В соответствии с [18—21] математическая модель, которая является основой методики оценки экономической целесообразности, строится следующим образом. Считается, что каждый вид измерений по действующей поверочной схеме возглавляет либо ГПЭ, прошедший международные сличения и имеющий СМС-строки, либо исходный эталон страны (ИЭ) в тех случаях, когда ГПЭ не создан. В качестве ИЭ для анализируемого вида измерений выбирают наиболее точное (при необходимости прошедшее усовершенствование) СИ, имеющееся в стране. Считается, что такой ИЭ получает единицу физической величины (калибруется) за рубежом (источником прослеживаемости для его СМС-строк служит зарубежный эталон).

При определении ежегодных затрат в эталонном звене учитывают: расходы $B_{\text{хГПЭ}}$, $B_{\text{хИЭ}}$ на хранение (эксплуатацию)

ГПЭ или ИЭ, соответственно; расходы $B_{\text{ИЭ}}$ на калибровку ИЭ за рубежом; расходы $B_{\text{сГПЭ}}$ на создание ГПЭ; доходы $\Pi_{\text{лГПЭ}}$, $\Pi_{\text{лИЭ}}$ от проведения поверок и калибровок с использованием ГПЭ или ИЭ, соответственно. Анализ показывает, что возможные затраты $B_{\text{ИЭ}}$, $B_{\text{сГПЭ}}$ на усовершенствование ИЭ и международные сличения ГПЭ целесообразно не включать в ежегодный баланс, а учесть отдельно.

В рамках рассматриваемой модели состояние высшего звена системы метрологического обеспечения некоторого вида измерений для текущего момента времени сводится к одному из трех возможных состояний, различающихся по структуре затрат:

1) ГПЭ существует и используется в поверочной схеме (баланс затрат определяют величины $B_{\text{лГПЭ}}$, $\Pi_{\text{лГПЭ}}$);

2) ГПЭ отсутствует и не разрабатывается, а в качестве него используется ИЭ (баланс затрат определяют $B_{\text{ИЭ}}$, $B_{\text{сИЭ}}$, $\Pi_{\text{лИЭ}}$);

3) ГПЭ отсутствует, но начаты работы по его созданию и его функции временно продолжает выполнять ИЭ (баланс затрат определяют $B_{\text{ИЭ}}$, $B_{\text{сИЭ}}$, $B_{\text{сГПЭ}}$, $\Pi_{\text{лИЭ}}$).

С учетом указанных состояний текущий (ежегодный) баланс B_i (расходы минус доходы) для i -го вида измерений можно представить в виде

$$B_i = \begin{cases} B_i^3 = B_{\text{лГПЭ}} - \Pi_{\text{лГПЭ}} - \text{состояние 1;} \\ B_i^1 = B_{\text{ИЭ}} + B_{\text{сИЭ}} - \Pi_{\text{лИЭ}} - \text{состояние 2;} \\ B_i^2 = B_{\text{ИЭ}} + B_{\text{сИЭ}} + B_{\text{сГПЭ}} - \Pi_{\text{лИЭ}} - \text{состояние 3.} \end{cases} \quad (1)$$

Пусть на создание ГПЭ необходимо N_c лет. Созданный эталон участвует в международных сличениях и эксплуатируется N_z лет до тех пор, пока не выработает свой ресурс, и наступит время для его замены новым эталоном. Расходы на поддержание эталонного звена рассматриваемого вида измерений на протяжении $N_c + N_z$ лет могут быть представлены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} & B_i^3 N_c + B_i^1 N_z + B_{\text{ИЭ}}^1 + B_{\text{сГПЭ}} - \text{состояние 1;} \\ & B_i^1 (N_c + N_z) + B_{\text{ИЭ}}^2 - \text{состояние 2,} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $B_{\text{ИЭ}}^1$, $B_{\text{ИЭ}}^2$ — общие затраты на усовершенствование ИЭ для вариантов 1 и 2, соответственно.

Создание ГПЭ, с экономической точки зрения, имеет смысл лишь в том случае, когда затраты на протяжении $N_c + N_z$ лет на поддержание высшего звена при условии создания ГПЭ будут меньше, чем затраты, которые соответствуют ситуации, когда ГПЭ не создавался. Это условие с помощью (2) может быть представлено в виде

$$B_i^3 N_c + B_i^1 N_z + B_{\text{сГПЭ}} + B_{\text{ИЭ}}^1 < B_i^1 (N_c + N_z) + B_{\text{ИЭ}}^2. \quad (3)$$

Чем более выражено неравенство (3), тем больше экономическая целесообразность в создании ГПЭ. Время окупаемости затрат на создание эталона найдем после перехода к равенству в (3), заменив N_z на t и решив полученное уравнение:

$$t = \frac{(B_i^3 - B_i^1) N_c + B_{\text{сГПЭ}} + B_{\text{ИЭ}}^1 - B_{\text{ИЭ}}^2}{B_i^1 - B_i^3}. \quad (4)$$

Начиная с момента времени t , определяемого по (4), становится справедливым неравенство (3). В последующие моменты времени это неравенство усиливается, отражая увеличение экономии средств на содержание высшего (эталонного) звена для рассматриваемого вида измерений. Очевидно, что экономия, полученная за $N_c + N_z$ лет, определяется разницей между правой и левой частями неравенства (3).

Приведенный алгоритм позволяет осуществить сравнительный анализ эффективности вложения средств в эталонное звено для конкретного вида измерений. При таком анализе расчеты по (1)–(4) выполняют отдельно для каждого вида измерений. При сопоставлении результатов расчетов учитывают, что, с экономической точки зрения, наиболее эффективным является вложение средств в создание ГПЭ для того вида измерений, в котором время t (см. (4)) будет минимальным, а экономия средств на поддержание эталонного звена за одинаковый промежуток времени — максимальной.

Предложенная методика может быть использована также для обоснования экономической целесообразности совершенствования ГПЭ, если во время его эксплуатации возникает потребность в повышении точности передачи единицы физической величины от эталонного звена до низших звеньев поверочной схемы. Действовавший до возникновения такой потребности ГПЭ в новой ситуации уже не сможет соответствовать предъявляемым требованиям, поэтому сложившуюся ситуацию можно рассматривать как сигнал для нового выбора оптимального варианта в условиях, когда ГПЭ отсутствует. Таким образом, необходимо решить вопрос о том, что же в этой ситуации целесообразно: усовершенствовать существующий ГПЭ или создать (приобрести) новый ИЭ с требуемыми метрологическими характеристиками. Приведенный выше алгоритм можно использовать в данной ситуации, обусловленной более высокими точностными требованиями, однако следует заменить слово «создание» на «усовершенствование», а расходы и доходы в (1)–(4) выбрать с учетом повышенной стоимости комплектующих и всех работ. Поскольку при усовершенствовании могут быть применены отдельные элементы заменяемого ГПЭ, то это необходимо учитывать при определении общих затрат.

Заключение. Представленный в статье метод, требующий информации о расходах и доходах, предназначен для оценки экономической целесообразности создания ГПЭ, обеспечивающего необходимую точность измерений в условиях, когда возможен выбор из двух вариантов. Первый — создать собственный ГПЭ, второй — собственный эталон не создавать, а единицу физической величины с необходимой неопределенностью получить от зарубежного эталона. При этом точностные характеристики системы передачи единицы физической величины, а также стоимость реализации, на лежащих ниже уровнях должны быть для обоих вариантов одинаковыми. Если отсутствует альтернатива, т. е. за рубежом нет эталона, способного обеспечить необходимую неопределенность получения единицы измерения, то предложенный метод неприменим. В таком случае задача оценки экономической целесообразности создания собственного эталона должна решаться на основе анализа затрат и прибыли от метрологических работ по всей цепочке — от первичного эталона до рабочих СИ в конкретных отраслях экономики. Такая задача требует отдельного рассмотрения, выходящего за рамки настоящей статьи.

Литература

1. **Communication** from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Brussels, 06.05.2013 [Электрон. ресурс] <http://eur-lex.europa.eu> (дата обращения 01.12.2013 г.).

2. **Бесфамильная Л. В. и др.** Экономика стандартизации, метрологии и качества продукции. М.: Изд-во стандартов, 1988.

3. **МИ 412—86.** ГСИ. Методы определения экономической эффективности метрологических НИОКР. Основные положения.

4. **Семенко Н. И., Сафина Г. А.** Опыт оценки экономической эффективности метрологических работ // Измерительная техника. 1974. № 10. С. 88—89; **Semenko N. I., Safina G. A.** The experience of the economic efficiency of the metrological works // Measurements Techniques. 1974. N. 10. P. 88—89.

5. **Асташенков А. И., Вишенков А. С.** О влиянии метрологии на национальную экономику и международную торговлю // Законодательная и прикладная метрология. 1999. № 4. С. 34—37.

6. **Брянский Л. Н.** Рентабельны ли эталоны? // Законодательная и прикладная метрология. 2003. № 5. С. 45—46.

7. **Дойников А. С., Брянский Л. Н.** Сколько стоят эталоны? // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 2. С. 52—53.

8. **Чуйко В. Г.** Цена точности калибровок на исходном эталоне // Законодательная и прикладная метрология. 2006. № 3. С. 53—56.

9. **Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by National Metrology Institutes.** BIPM, October, 1999. [Электрон. версия] <http://www.belgim.by/uploaded/img/CIPM%20MRA.pdf> (дата обращения 20.01.2014 г.).

10. **Summary of NIST Laboratory Economic Impact Studies** [Электрон. ресурс]. <http://www.nist.gov/director/planning/summary-studies.cfm> (дата обращения 20.01.2014 г.).

11. **Williams G.** The assessment of the economic role of measurement and testing in modern society // Europ. Measurement Project Report, July 2002. [Электрон. ресурс]. http://www.bis.gov.uk/assets/bispartners/nmo/docs/nms/economics_of_measurements_july2002.pdf (дата обращения 20.01.2014 г.).

12. **MacDonald M. e. a.** Potential Economic Impact of the CIPM Mutual Recognition Arrangement // KPMG Report submitted BIPM, 2002. [Электрон. ресурс]. <http://www.bipm.org/utis/en/pdf/KPMGreport.pdf> (дата обращения 20.01.2014 г.).

13. **Birch J.** Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society // CIML Report, 2003. [Электрон. ресурс] <http://www.oiml.org/publication/E/birch/E002-e03.pdf> (дата обращения 20.01.2014 г.).

14. **Usuda T.** Study on economic impact of equivalence of measurement standards // BIPM KCDB Newsletter. 2011. N. 16. P. 1—2.

15. **Usuda T., Henson A.** Economic Impact of Equivalence of Measurement Standards // NCSLI Measure. 2012. V. 7. N. 1. P. 62—70.

16. **Чирков А. П.** О становлении и развитии экономики метрологии в России // Законодательная и прикладная метрология. 2010. № 1. С. 1—6.

17. **Окрепилов В. В., Крутиков В. Н., Элькин Г. И.** Экономическая составляющая в обеспечении единства измерений // Измерительная техника. 2014. № 2. С. 3—8.

18. **Дудолад А. С. и др.** Методы количественной оценки экономической целесообразности финансирования метрологической деятельности // Украинский метрологический журнал. 2011. № 3. С. 3—6.

19. **МИ 13.001—2000.** Методика сравнительного анализа экономической эффективности расходов на создание государственных первичных эталонов для отдельных видов измерений.

20. **РМУ 13-056—2005.** Методика сравнительного анализа экономической эффективности расходов на создание государственных первичных эталонов для отдельных видов измерений.

21. **Красоха Л. Н., Прокопов А. В.** Об обосновании экономической целесообразности создания государственных эталонов // Украинский метрологический журнал. 2007. № 4. С. 7—10.

Дата принятия 07.03.2014 г.