

Критерии и алгоритм интегральной оценки необходимости создания и модернизации эталонов

В. А. СЛАЕВ, Н. Д. ЗВЯГИН

Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологии им. Д. И. Менделеева, С.-Петербург, Россия, e-mail: v.a.slaev@vniim.ru

Обоснована необходимость создания и модернизации эталонов. Рассмотрены приоритетные направления метрологической деятельности в Российской Федерации в рамках государственной системы обеспечения единства измерений. Предложен алгоритм интегральной оценки необходимости создания и модернизации эталонов по ряду критериев.

Ключевые слова: модернизация эталонов, создание эталонов, эффективность эталонов, экономическая польза, алгоритм интегрального оценивания.

The need of modernization and creation measurement standards is justified. The priority directions of metrological activity in Russian Federation within the framework of the state system of measurement uniformity assurance are considered. An algorithm of integral estimation of the need of modernization and creation of measurement standards by a variety of criteria is suggested.

Key words: measurement standards modernization, measurement standards creating, efficiency of measurement standards, economical benefit, algorithm of integral estimation.

Вопросу определения роли метрологии в экономике и обществе уже много лет уделяется большое внимание [1—4]. В [1] приведен подробный обзор публикаций на данную тему в развитых странах за период, превышающий четверть века. Обзор сделан с позиций получения количественного определения экономической пользы от законодательной метрологии. Такие страны, как США, Великобритания, Канада, Франция, Австралия, Германия и др. тратят немалые средства на тщательный анализ измерений в отдельных отраслях промышленности, а также стоимости товаров, возросшей в результате затрат на проведение измерений.

Основной целью международного сотрудничества в области метрологии является создание глобальной связанной системы измерений, обеспечивающей взаимное признание результатов, базирующееся на их совместимости и сопоставимости, а также прослеживаемости к первичным национальным эталонам, степень эквивалентности которых устанавливается при ключевых сличениях на международно признанном уровне [5]. В настоящий момент в России основными руководящими в области метрологии являются документы [6—9].

Единство измерений в России достигается в результате функционирования государственной системы обеспечения единства измерений (СОЕИ). Эта система включает взаимовязанный комплекс нормативно-правовых и нормативно-технических документов и эталонов единиц величин, федеральные органы исполнительной власти, федеральные государственные предприятия и учреждения, а также иные аккредитованные в установленном порядке организации, которые обеспечивают, организуют и осуществляют установленную законодательством РФ систему государственных регулирующих мероприятий, направленных на достижение и поддержание единства измерений.

Основная задача Правительства РФ в области метрологии заключается в формировании в стране такого положения, при котором обеспечивается доверие к результатам измерений, а также непрерывное развитие метрологии, достаточное для эффективного метрологического обеспечения приоритетных и перспективных задач в жизненно важных сферах экономики, обороны и социального развития.

Прогноз потребностей в работах и услугах по обеспечению единства измерений строится на постулате, что в условиях реализации концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ, направленной на создание инновационной экономики, количество измерений в стране будет возрастать. Общество будет предъявлять все более высокие требования к достоверности и сопоставимости результатов измерений и, прежде всего, в областях, связанных с повышением качества жизни населения, развитием новых технологий, а также укреплением обороны и безопасности государства.

По мере возрастания количества измерений будет увеличиваться и количество средств измерений (СИ), подвергаемых таким видам контроля пригодности, как поверка и калибровка. При этом количество калибровок будет расти ускоренными темпами с учетом возрастающих требований к точности измерений и интеграции российской экономики в мировую. Потребности в оснащении новейшей измерительной техникой современных промышленных и других технологий приведут к значительному росту объектов, подпадающих под режим государственного регулирования в области обеспечения единства измерений.

Возможности повышения научно-технического уровня эталонов зависят от уровня развития областей науки и отраслей промышленности, достижения которых используются при модернизации существующих и создании новых эта-

лонов. В немалой степени повышение научно-технического уровня эталонов достигается в результате их постоянных метрологических исследований, проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на эталонах с целью их совершенствования, участия государственных первичных эталонов (ГПЭ) в международных сличениях.

Стратегию развития эталонной базы страны нельзя рассматривать в отрыве от стратегии развития всей СОЕИ.

Существенным при решении задач стратегии развития СОЕИ в области эталонной базы страны является правильный выбор критериев развития, которые нельзя свести только к одним количественным показателям, например к числу ГПЭ и (или) затратам на их содержание. В данном случае ввиду сложности системы и ее большой значимости для экономики страны требуется всесторонний анализ, учитывающий максимально возможное число факторов: актуальность потребностей в точности и диапазоне воспроизведения единиц, а также соответствие эталонов им, в том числе в перспективе; необходимость централизованного воспроизведения единиц физических величин в государственном масштабе; характеристики парка рабочих СИ; значимость ГПЭ для функционирования и совершенствования других эталонов; научно-технический уровень ГПЭ в сравнении с зарубежными аналогами; степень физического и морального износа эталонов, обоснованность создания эталонов, присвоения им соответствующего ранга (статуса), а также выделения на их поддержание и развитие необходимых государственных ассигнований; степень рациональности размещения эталонов на территории страны, их хранения и применения в конкретных центрах; экономический и другие эффекты от внедрения и применения эталонов [9].

Особенно важными являются такие факторы, как значимость эталона в масштабах страны и мирового сообщества, а также эффективность его работы в интересах науки, ведущих отраслей экономики, социальной сферы и обороны страны, в первую очередь, по выполнению государственных функций по обеспечению единства измерений в законодательно регулируемых областях.

Очевидно, что наивысшую значимость и эффективность имеют эталоны основных и важнейших (базовых) производных единиц физических величин, которые активно используют как внутри страны, так и в рамках международных соглашений. Именно этим эталонам должен присваиваться наивысший уровень приоритета в развитии и ресурсном обеспечении.

Основными направлениями развития эталонной базы страны являются:

создание системы эталонов, воспроизводящих основные и важнейшие производные единицы величин с учетом предстоящей реформы по переопределению ряда основных физических величин, на основе использования фундаментальных физических констант и стабильных физических эффектов и явлений;

разработка систем эталонов, обеспечивающих разумное сочетание централизованного и децентрализованного способов воспроизведения единиц величин в различных областях измерений;

поиск, исследование и применение новых физических явлений и технологий, способных обеспечить научный прорыв и, следовательно, скачкообразно повысить эффективность использования эталонов нового поколения в ключевых направлениях научно-технического прогресса;

разработка предельных по точности методов и СИ эталонного назначения;

разработка новых и совершенствование существующих эталонов, повышение их научно-технического уровня, расширение функциональных возможностей;

обеспечение потребителя СИ эталонной точности;

автоматизация эталонов и измерительных процедур на основе использования микропроцессоров и ЭВМ, повышение уровня интеллектуализации эталонных измерительно-вычислительных комплексов;

разработка мобильных малогабаритных высокопроизводительных и многофункциональных комплексов эталонов сравнения в различных областях и видах измерений (в том числе на квантовых эффектах), использующихся при международных сличениях, поверке или калибровке СИ на местах эксплуатации;

совершенствование государственных поверочных схем (ГПС), упрощение их структуры, сокращение числа звеньев и ступеней;

обоснованное увеличение межповерочных интервалов (МПИ) СИ и уменьшение на этой основе загрузки эталонного поверочного оборудования;

объединение (комплексирование) эталонов единиц одной физической величины (в том числе первичных и специальных эталонов) или нескольких взаимосвязанных физических величин, позволяющее с большей точностью (или без потери точности) и с наименьшими затратами воспроизводить и передавать единицы иерархически подчиненным СИ;

при необходимости исключение из состава государственной эталонной базы или уточнение статуса существующих эталонов в соответствии с требованиями закона [6];

разработка научно-методических и научно-технических решений по передаче единиц от государственных эталонов, воспроизводящих переопределяемые в будущем единицы физических величин, с повышением точности передачи по ГПС.

Государственная программа [8] предусматривает, в частности:

создание системы стандартизации, отвечающей положениям Соглашения Всемирной торговой организации (ВТО) по техническим барьерам в торговле;

дальнейшую гармонизацию национальных и межгосударственных стандартов с европейскими и международными стандартами, в том числе, в области унификации выражения точностных показателей эталонов и СИ, а также использования международно признанных методик калибровки;

актуализацию межгосударственных и национальных стандартов для обеспечения доказательной базы соблюдения требований технических регламентов, разрабатываемых в рамках страны, Таможенного союза, СНГ и ЕврАзЭС;

активное участие в работе международных организаций по метрологии и стандартизации.

Одним из основных доказательств востребованности создания и модернизации ГПЭ является оценка существующего в стране парка рабочих средств измерений (РСИ). Большой объем парка РСИ, как правило, подтверждает обоснованность создания ГПЭ. Немаловажным доказательством востребованности ГПЭ является ярко выраженная необходимость централизованного воспроизведения единиц физических величин в государственном масштабе. По степени централизации воспроизведения единицы в СОЕИ существует четыре категории: полная, кратная, локальная (мест-

ная) централизация и полная децентрализация [10]. Для обоснования востребованности эталона достаточно доказать необходимость полной или кратной централизации.

Кроме создания и модернизации государственных эталонов единиц величин, а также обеспечения прохождения ими международных сличений на программной основе в соответствии с MRA [5], в [7, 8] описан ряд мероприятий, направленных на обеспечение наиболее полного развития потенциала современной российской метрологической инфраструктуры для удовлетворения потребностей общества и государства в получении необходимого количества объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, соответствующих мировому уровню. Среди них необходимо отметить следующие:

создание структуры эффективного функционирования системы российской законодательной метрологии, гармонизированной с документами МОЗМ, для решения вопросов метрологического обеспечения в рамках ВТО;

совершенствование форм государственного регулирования в области обеспечения единства измерений и механизмов межведомственной координации работ;

совершенствование нормативно-правовой и нормативно-технической базы в области обеспечения единства измерений, включая разработку методических документов с целью обеспечить решение задач проведения метрологической экспертизы документов, содержащих требования к методикам (методам) измерений и испытаний, измерительным эталонам, СИ и испытаний, а также стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов;

утверждение типов СИ;

поверка и (или) калибровка подчиненных эталонов и прецизионных СИ;

аттестация методик (методов) измерений;

работы по аккредитации в области обеспечения единства измерений;

повышение эффективности функционирования Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) и Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД);

разработка концепции метрологического обеспечения производства продукции и оказания услуг;

повышение эффективности информационного обеспечения метрологической деятельности и сотрудничества по взаимному признанию результатов поверки, калибровки, испытаний и утверждения типов СИ, а также создание базы данных калибровочных и измерительных возможностей метрологических служб РФ и ее размещение на сайтах МБМВ, КО-ОМЕТ, МГС СНГ, Таможенного союза и Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений;

оптимизация межкалибровочных и МПИ СИ на основе опыта стран-членов МОЗМ;

совершенствование системы подготовки и повышения квалификации специалистов в области обеспечения единства измерений, в том числе высшей квалификации.

Кроме того, государству необходимы системы обеспечения единства измерений в следующих приоритетных направлениях: атомной энергетике; космических технологиях; телекоммуникационных и информационных технологиях; медицинской технике и технологии, фармацевтике; биотехнологии; нанотехнологии; энергоэффективности; экозащитности; при создании интеллектуальных сетей и цифровых

подстанций в электроэнергетике; гражданской обороне и защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; обеспечении пожарной безопасности.

Предусмотрен ряд мероприятий, направленных на развитие СОЕИ в интересах повышения качества жизни населения и защиты потребителя от недостоверных результатов измерений [7, 8]. Среди них необходимо выделить следующие:

обеспечение безопасности труда и сохранения здоровья населения. Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, к которым установлены обязательные требования;

защита прав потребителей, жизни, здоровья граждан, государственного и муниципального имущества и имущества физических и юридических лиц; охрана окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений;

предоставление услуг для социально незащищенных слоев общества.

Важное место среди направлений метрологической деятельности занимают проверки:

состояния и применения весоизмерительной техники на рынках субъектов РФ;

соблюдения метрологических правил и норм при проведении испытаний продукции в аккредитованных испытательных лабораториях, осуществлении торговых операций и взаимных расчетов на нефтебазах, АЗС, АГЗС, в системах ЖКХ, Водоканала и Горгаза, РЖД;

состояния и применения СИ, использующихся при взаимных расчетах в сетях телефонной и почтовой связи;

соблюдения требований к количеству фасованных товаров в упаковках при продаже.

Необходимость создания и модернизации эталонов, их востребованность в приоритетных секторах экономики и эффективность использования может быть оценена как взвешенная нормированная сумма баллов по критериям, назначенным экспертным путем (предполагается, что число экспертов равно n), следующим образом (см. таблицу). Для каждого критерия экспертом j определяется балл c_j (от 1 до 5) и рассчитывается итоговый балл b_i как $b_i = \frac{1}{n} \sum_j c_j$.

Критерии и алгоритм интегральной оценки необходимости создания и модернизации эталонов

Номер критерия i	Критерий	Вес a_i^*
1	Количество международных сличений с участием ГПЭ, зарегистрированных в базе данных МБМВ	5
2	Количество международных ключевых сличений с участием ГПЭ, запланированных Консультативными комитетами МКМВ и Техническими комитетами региональных метрологических организаций	5
3	Количество дополнительных сличений с участием ГПЭ	3
4	Количество строк калибровочных и измерительных возможностей страны, замыкающихся на ГПЭ в данном виде измерений	10

Продолжение таблицы

Номер критерия i	Критерий	Вес a_i^*
5	Актуальность потребностей практики и способность ГПЭ удовлетворять их, в том числе в перспективе	3
6	Результаты мониторинга рабочих СИ (характеристики парка РСИ)	2
7	Необходимость централизованного воспроизведения единиц в государственном масштабе	3
8	Степень физического и морального износа ГПЭ	2
9	Значимость ГПЭ для функционирования других эталонов	1
<i>Научно-технический уровень ГПЭ в сравнении с зарубежными аналогами</i>		
10	Повышение точности ГПЭ	5
11	Расширение амплитудного и частотного диапазонов ГПЭ	3
12	Использование в ГПЭ фундаментальных физических констант и стабильных физических эффектов и явлений	2
13	Новизна примененных в ГПЭ технических решений, подтвержденная патентами на изобретения	2
14	Комплексирование ГПЭ единиц одной или нескольких взаимосвязанных физических величин без потери точности	1
15	Уровень интеллектуализации ГПЭ	2
16	Уровень устойчивости ГПЭ и СОЕИ к воздействию влияющих величин	1
17	Рациональность размещения ГПЭ на территории страны	1
<i>Эффект от внедрения и применения ГПЭ</i>		
18	Обеспечение потребителя эталонной точностью (совершенствование ГПС, упрощение ее структуры, сокращение числа звеньев и ступеней)	3
19	Количество актов передачи единицы при проведении калибровок, поверок и сертификации подчиненных эталонов и прецизионных СИ	2
20	Использование ГПЭ для проведения фундаментальных научных исследований, публикации по их результатам	1
21	Разработка предельных по точности методов и СИ эталонного назначения	1
22	Количество утвержденных типов СИ по виду измерений	2

Окончание таблицы

Номер критерия i	Критерий	Вес a_i^*
23	Осуществление аттестации методик (методов) измерений	3
24	Участие в работах и повышение эффективности ГССО	2
25	Участие в работах и повышение эффективности ГСССД	2
26	Реализация работ по аккредитации в СОЕИ данного вида измерений	1
27	Совершенствование нормативно-правовой и нормативно-технической базы в СОЕИ данного вида измерений	1
28	Оптимизация межкалибровочных и МПИ СИ на основе опыта МОЗМ (обоснованное увеличение МПИ СИ и уменьшение загрузки эталонного поверочного оборудования)	1
29	Мобильность средств СОЕИ для поверки на местах	1
30	Готовность к применению СОЕИ по назначению	1

Примечание: * Значения весовых коэффициентов a_i , соответствуют представлениям авторов статьи на настоящий момент. Обоснование необходимости создания новых и модернизации существующих эталонов, а также назначение весовых коэффициентов целесообразно обсудить на заседаниях Ученых Советов Национальных метрологических институтов по специализации с привлечением комиссий специалистов по видам измерений. После практической апробации их необходимо утвердить решением НТК Росстандарта.

Итоговая оценка определяется по формуле

$$C = \sum_i a_i b_i / \sum_i a_i,$$

где a_i — весовой коэффициент; b_i — итоговый балл по i -му критерию (усредняется по числу n экспертов, давших оценку). По этим критериям максимальное значение C составляет 5 баллов, минимальное — 1 балл, а округление b_i рационально производить с точностью до 0,1 балла.

Литература

1. Джон Берч А. М. Польза законодательной метрологии для экономики и общества. Президентский Совет Международного комитета законодательной метрологии. Париж, 2003. [Электрон. версия] https://www.oiml.org/en/files/pdf_e/e002-e03.pdf (дата обращения 18.10.2014 г.)
2. Pasqual A. Don Vito. Estimates of the Cost of Measurement in the U.S. Economy. Planning Report 21 NBS. P. 1—42.
3. Williams G. The assessment of the economic role of measurements and testing in modern society, European Measurement Project, Pembroke College, University of Oxford, 2002.

4. **Потенциальное** экономическое влияние Договоренности о взаимном признании МКМВ. Заключительный отчет. МБМВ, Севр, Франция, KPMG Consulting, 2002. [Электрон. версия] http://www.bipm.org/utis/common/pdf/KPMG_report.pdf (дата обращения 18.10.2014 г.)

5. **Договоренность** о взаимном признании национальных измерительных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (Mutual Recognition Arrangement — MRA). Севр, Франция. 1999.

6. **Федеральный** закон Российской Федерации от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

7. **Приказ** Минпромторга РФ от 17 июня 2009 года № 529 «Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в России до 2015 года».

8. **Распоряжение** Правительства РФ от 27 декабря 2012 г. № 2539-р о государственной программе РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Подпрограмма 12 «Развитие системы технического регулирования, стандартизации и обеспечения единства измерений».

9. **Приказ** Росстандарта от 19.09.2014 № 1360 «Об утверждении ведомственной целевой программы «Проведение фундаментальных исследований в области метрологии, разработки государственных (в том числе первичных) эталонов единиц величин».

10. **Слаев В. А., Балалаев В. А., Синяков А. И.** Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров / Под ред. В. А. Слаева. СПб.: Проффессионал, 2004.

Дата принятия 18.12.2014 г.

519.853.62:006.015.7

Комбинированный алгоритм оптимизации и его применение к решению метрологических задач

Ю. С. СЫСОЕВ

Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
Волгодонск, Россия, e-mail: sysoev2004@mail.ru

Представлен комбинированный алгоритм оптимизации, аналогичный алгоритму покоординатного спуска (не по одномерным пространствам, а по подпространствам различной размерности) и методу градиентного спуска. Выбор подпространств, по которым осуществляется спуск, определяется абсолютным значением координат градиента в очередной итерационной точке.

Ключевые слова: оптимизация, метод градиентного спуска, итерации, эффект оврагов.

The combined optimization algorithm combining an analogue of coordinated lowering algorithm (not by one-dimensional spaces, but by the different dimension under-spaces) and of a method of gradient lowering are presented. The choice of under-spaces on which the lowering is made is determined by absolute value of gradient coordinates in the regular iterative point.

Key words: optimization, gradient lowering method, iterations, ravine method.

Решение целого ряда метрологических задач связано с поиском оптимальных значений тех или иных параметров [1—4]. При этом приходится искать минимальные (или максимальные) значения гладких целевых функций $y = f(\mathbf{x})$ многих переменных $\mathbf{x} = (x^1, x^2, \dots, x^n)$, заданных в евклидовом пространстве H с системой координат, определенной ортонормированным базисом. Поскольку целевые функции в указанных работах имели сильно выраженную овражную структуру, то стандартные методы градиентного спуска из-за их медленной сходимости не позволяли получить искомые оптимальные значения параметров с заданной точностью. Поэтому для нахождения результата с требуемой точностью приходилось для каждой целевой функции строить индивидуальный алгоритм оптимизации.

Суть построения алгоритмов сводили к разовому выбору нескольких вложенных друг в друга подпространств, строго фиксированных на всем периоде работы алгоритма [1—4]. По этим подпространствам последовательно проводили оптимизацию на каждом шаге итерационного процесса. Подпространства выбирали на основе предварительного анализа формул, задающих целевую функцию, или визуальной оценки скорости изменения целевой функции по различным параметрам. Однако для многих целевых функций этот процесс достаточно сложен, требует трудоемкого анализа и не всегда приводит к нужному результату. Задача существенно усложняется, когда требуется учитывать соотношения между скоростями изменения функции по разным переменным, зависящие от итерационной точки, в которой рассматрива-