

Прокопов А.В., д-р физ.-мат. наук, проф., НУГЗУ

УРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КАК МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА В ЗАДАЧЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

Рассмотрены современное состояние и перспективы решения проблемы разработки методологии обоснования уравнения измерения и оценки методической составляющей погрешности (неопределенности) результатов измерений, выполняемых с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций

Ключевые слова: предупреждение чрезвычайных ситуаций, модель, алгоритм, уравнение измерения

Постановка проблемы. В последние годы в практике решения задач предупреждения чрезвычайных ситуаций как природного, так и техногенного характера, широко используются разнообразные количественные методы [1,2]. Эффективность функционирования систем предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах естественного и искусственного происхождения во многом определяется адекватностью принятых моделей объектов и достоверностью количественной информации о тех критических факторах, которые сигнализируют о подобных ситуациях.

Известно, что к числу наиболее важных источников получения достоверной информации относятся измерения текущих значений параметров и характеристик потенциально опасных объектов и процессов, (а чаще всего - их отклонений от номинальных величин), свидетельствующих о критических ситуациях (мониторинг ЧС). Таким образом, речь должна идти о достоверности (надежности, точности) результатов измерений. Оценка точности результата измерений в общем случае требует исчерпывающей информации об уравнении измерения – соотношении, связывающем искомые величины с непосредственно измеряемыми, а также другими величинами, существенными для рассматриваемой измерительной задачи [2,3]. В то же время методология обоснования уравнения измерения и оценки его погрешности (неопределенности) остается все еще недостаточно разработанной. На сегодня и в нашей стране, и за рубежом, отсутствуют какие либо официально

признанные на государственном уровне нормативные документы, регламентирующие процедуры получения уравнения измерения и анализа его точности. В связи с этим в последние годы уравнение измерения (модельное уравнение) стало объектом пристального внимания исследователей во многих странах мира.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблема строгого обоснования модельного уравнения находит свое отражение в научной программе НФЛ (Великобритания), посвященной разработке математических моделей и программных средств для метрологических приложений [4], важное место занимают теоретические вопросы моделирования уравнений измерений в трудах немецких [6-8], российских [4, 9-12] и украинских [13-17] метрологов. К сожалению, в большинстве работ анализируются уже известные модели с целью оптимального выбора наиболее подходящих уравнений измерений. В то же время общие принципы обоснования уравнения измерения и оценки методической составляющей погрешности (неопределенности) результата измерений остаются все еще недостаточно разработанными.

В литературе подчеркивается, что уравнение измерения является основой для разработки методик выполнения измерений, а также реализующих их измерительных процедур и устройств, для анализа точности результатов измерений [3,4,6,10]. Иногда утверждается, что уравнение измерений является одним из компонентов априорных знаний, используемых при решении метрологических задач [10], т.е. предполагается, что данное уравнение определяется не с помощью известных с точки зрения метрологии процедур, а в рамках смежных с метрологией наук. Возможно, именно поэтому в Руководстве [3] ничего не говорится о том, как же получить необходимое для анализа уравнение измерения. Вместо этого используются такие непривычные для научно-технической литературы слова как "критическое размышление", "интеллектуальная честность", "профессиональное мастерство".

Отметим, что в настоящее время ведется интенсивная работа по устранению указанного недостатка Руководства [3] (путем подготовки нового приложения к данному Руководству, посвященного именно методологии обоснования уравнения измерения). Тем самым подтверждается мнение о том, что проблема строгого обоснования алгоритма получения уравнения измерения является предметом теории измерений и относится к фундаментальным проблемам метрологии.

Постановка задачи и ее решение. Основной задачей настоящей статьи является анализ и конкретизация перспективных путей создания методологии обоснования уравнения измерения и оценки методической составляющей погрешности (неопределенности) результатов измерений, выполняемых с целью предупреждения ЧС. Определенным шагом на пути решения данной проблемы являются цитированные выше разработки [6-8,13-17], в которых анализируются основные аспекты проблемы, предлагаются общие схемы получения уравнения измерения. Согласно работам [6-8], в частности, такая схема может быть представлена в виде пяти последовательных этапов, а именно:

(1) Описание измерения, идентификация существенных величин (непосредственно измеряемые величины, искомая величина - *measurand*, влияющие величины) и используемого метода измерения.

(2) Анализ измерения, декомпозиция его на отдельные функциональные элементы, и, далее, графическое представление причинно-следственных связей между элементами для некоторого идеального (не подверженного внешним влияниям) измерения в рамках стандартных компонентов моделирования.

(3) Учет всех искажений, эффектов неполного знания о величинах и влияющих факторах, которые могут повлиять на идеальное измерение. Графическая и, далее, математическая интерпретация причинно-следственных связей для реального (подверженного внешним влияниям) измерения. Использование корректирующих поправок для учета искажений (внешних влияний).

(4) Идентификация взаимного влияния величин, введение корреляций.

(5) Преобразование математических соотношений, описывающих причинно-следственные связи с целью получения модельного уравнения.

Следует отметить, что в этих работах не вполне четко определены (вернее, не конкретизированы) действия по математической формулировке задачи. Более детально данный вопрос рассматривается в статьях [13-17], где алгоритмом получения уравнения измерения в общем случае предусматривается семь этапов, а именно (ниже для простоты представлен вариант алгоритма при единственной подлежащей определению величине, в случае двух и более величин — процедура аналогична):

(1) Выбор объекта измерения и предварительная идентификация его свойств, существенных для формирования информационного сигнала, несущего сведения о подлежащей определению величине. Конкретизация данной величины.

(2) Предварительная идентификация физических процессов, воздействующих на информационный сигнал и приводящих к его изменению при прохождении от объекта измерений до измерительного устройства, а также в самом измерительном устройстве. Выбор непосредственно измеряемых величин.

(3) Формулирование уравнений (с соответствующими начальными и граничными условиями), описывающих физические процессы, формирующие информационный сигнал, а также процессы, воздействующие на сигнал при его прохождении от объекта измерения до измерительного устройства и в самом измерительном устройстве (математическая формулировка задачи).

(4) Анализ исходных уравнений. Количественная оценка влияния отдельных физических эффектов и процессов на характеристики информационного сигнала при его передаче от объекта измерений до измерительного устройства и при его преобразовании в измерительном устройстве. Упрощение математической формулировки задачи на основе исключения из рассмотрения несущественных при заданном уровне точности физических эффектов и процессов. Оценка погрешности (неопределенности), вызванной учетом указанных эффектов и процессов.

(5) Выбор и обоснование методов решения упрощенных уравнений задачи, позволяющих установить зависимость искомой величины (measurand) от непосредственно измеряемых величин. В этой зависимости в общем случае могут содержаться известные константы, параметры с фиксированными значениями, а также дополнительные неизвестные параметры, учитывающие, например, влияние внешних факторов, и подлежащие независимому определению.

(6) Решение уравнений задачи, анализ установленной зависимости и преобразование ее к виду, наиболее удобному для получения уравнения измерения. На этом этапе целесообразно рассматривать два варианта: а) дополнительные неизвестные параметры представляются в виде корректирующих поправок - при их расчетно-экспериментальном независимом определении; в) установленная зависимость используется для формулирования системы уравнений, позволяющей найти подлежащую определению

величину (measurand) и дополнительные неизвестные параметры - при инструментальном определении этих параметров.

(7) Получение уравнения измерения и оценка методической составляющей погрешности (неопределенности) результата измерения.

Математическая формулировка задачи в рамках данного подхода базируется на использовании строгих формулировок физических законов (законов природы) с соответствующими граничными и начальными условиями, учитывающими специфику конкретной измерительной задачи.

Для математической формализации алгоритмов обоснования уравнения измерения можно использовать операторную символику, подобно тому, как это было сделано в [10] для описания алгоритмов оценивания характеристик погрешности. В соответствии с [16] приведенный выше алгоритм, построенный по результатам статей [13-17], дополняется еще одним шагом, предусматривающим приведение полученного уравнения измерения к стандартной форме (соответствующей прямым, косвенным, совокупным, совместным, системным измерениям).

Выводы. Проведенный анализ показывает, что в основу соответствующего приложения к Руководству [3], посвященного обоснованию алгоритмов получения уравнений измерения, могут быть положены подходы, изложенные в работах [6-8, 13-17]. Разработка официальных документов, регламентирующих процедуры обоснования уравнения измерения и оценки методической составляющей погрешности (неопределенности) результата измерения, позволит повысить достоверность и точность исходных данных, получаемых методами метрологии при решении задач предупреждения чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Аерокосмічний моніторинг / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко.- Харків: АЦЗ України, 2006. -172 с.
2. Михайлюк О.П. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки: навчально-методичний посібник / О.П.Михайлюк, В.В. Олійник, А.О. Михайлюк .- Х.: УЦЗУ, 2007. – 190 с.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, 1993.

4. Земельман М. А. Метрологические основы технических измерений / М.А. Земельман.- М.: Изд-во стандартов, 1991. - 228 с.
5. New Directions–Future Directions in Mathematics and Scientific Computing: recommendations for the Software Support for Metrology programme 2004-2007. NPL Report CMSC. 16/03.
6. Кокс М. Оценивание неопределенности измерений на основе трансформирования распределений с использованием моделирования по методу Монте-Карло / М. Кокс, П. Харрис, Б.Р.-Л. Зиберт // Измерительная техника. - 2003. - №9. - С.9-14.
7. Sommer K.D. A generalized procedure for modelling of measurement for evaluating the measurement uncertainty / K.D. Sommer, M. Kochsiek, B.R.L. Siebert a.a. // 17th IMEKO World Congress: proceedings.- Dubrovnik - Zagreb, 2003.
8. Sommer K.D. Systematic approach to the modelling of measurements for uncertainty evaluation / K.D. Sommer, B.R.L. Siebert // Metrologia. - 2006. - v. 43. - PP. S200-S210.
9. Розенберг В.Я. Введение в теорию точности измерительных систем / В.Я. Розенберг.- М.: Советское радио, 1975.- 303 с.
10. Цветков Э.И. Расчетное оценивание погрешностей / Э.И.Цветков // Измерительная техника. -2000. - № 11. - С. 3-6.
11. Кнорринг В.Г. Теория измерений как самостоятельная область знаний: характеристические цели и задачи / В.Г.Кнорринг, Г.Н. Солопченко // Измерительная техника. - 2003. - № 6.- С. 13-17.
12. Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А.Грановский, Т.Н. Сирая Т.Н.- Л.: Энергоатомиздат, 1990.- 228 с.
13. Прокопов А.В. Погрешность, неопределенность и проблема моделирования в теории измерений / А.В.Прокопов // Український метрологічний журнал. - 2000. - в. 4. - С. 23-27.
14. Москаленко М.В. Физико-математическое моделирование уравнений измерений / М.В.Москаленко, А.В.Прокопов //Неопределенность измерения: научные, методические и производственные аспекты: П научно-технический семинар, 26-27 мая 2005 г.: тезисы докл.- Харьков: ХНУРЭ, 2005.- С. 46.
15. Прокопов А.В. Алгоритм обоснования уравнения измерения и оценки методической погрешности (неопределенности) результата измерений при косвенных измерениях /А.В.Прокопов // Измерительная техника. - 2005. - №4. - С. 25-29.

16. Москаленко М.В. Физико-математическое моделирование уравнений измерений /М.В.Москаленко // Прикладная радио-электроника. Состояние и перспективы развития: 2-й Международный радиоэлектронный форум: сб. науч. трудов.- Харьков: ХНУРЭ, 2005.- С. УП-53 — УП-56.
17. Москаленко М.В. Об учете вида уравнения измерения при оценке неопределенности измерений / М.В.Москаленко, А.В.Прокопов // Метрологія та вимірювальна техніка: ІУ МНТК, 12-14 жовтня 2004 р: наукові праці.- Х.: 2004.- С. 85-87.

Прокопов О.В.

Рівняння вимірювань як метрологічна проблема в задачі попередження надзвичайних ситуацій

Розглянуто сучасний стан і перспективи розв'язання проблеми розробки методології обґрунтування рівняння вимірювань та оцінки методичної складової похибки (невизначеності) результатів вимірювань, що виконуються з метою попередження надзвичайних ситуацій

Ключові слова: попередження надзвичайних ситуацій, модель, алгоритм, рівняння вимірювань.

Prokopov O.V.

Measurement equation as metrological problem in task of prevention of the emergency situations

The modern state and prospects of decision the problem of the measurement equation grounding and of methodical error (uncertainty) of measuring results estimation for measurements executed to prevent the emergency situations is considered

Key words: prevention of emergency situations, model, algorithm, measurement equation