

класифікація таких помилок і дефектів.

На основі системного і функціонально-структурного підходу сформоване представлення системи технічної підготовки виробництва з урахуванням можливих додаткових робіт для досягнення запланованого результату проекту. Запропоновано комплекс заходів щодо усунення причин некомпетентних рішень.

Література

1. Попов М. Е. Проектирование и производство заготовок : [учебное пособие] / М. Е. Попов, И. В. Давыдова // Донской гос. технический ун-т. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2010. – 103 с.
2. Иванов А. А. Технология машиностроения : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений] / Иванов А. А. – Саров : СарФТИ, 2009 – 280 с.
3. Николаенко М. Р., Шафранский Л. Г. Технология производства сварных конструкций вагонов / М. Р. Николаенко, Л. Г. Шафранский. – Тула : Тул. политехн. ин-т, 1981 – 99 с.
4. Гладков Н. Г. Оплата и нормирование труда / Гладков Н. Г. – М., 2010 – 76 с.
5. Белянинова Ю. В. Нормирование труда и системы заработной платы / Белянинова Ю. В. – М. : Журн. "Упр. персоналом", 2005 – 94 с.

Надійшла 24.7.2011 р.

УДК 389: 638.011.54/011

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ XXI-ГО ВЕКА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В статье рассмотрены характеристики качества измерений, основные и первоочередные проблемы фундаментальной метрологии, связанные с повышением качества измерений, и пути их решения.

In paper characteristics of quality of measurements, the cores and the priority problems of fundamental metrology connected with improvement of quality of measurements, and ways of their decision are considered.

Ключевые слова: качество измерений, проблемы, структура, фундаментальная метрология.

Введение

Фундаментальная метрология – это та часть науки об измерениях, предметом которой является разработка фундаментальных основ этой науки и развитие на ее базе прикладных теорий и научных направлений.

Она совершенствует существующие, создает и развивает новые методы познания физических явлений и процессов, обеспечивающие заданную точность и достоверность измерений, осуществляет связь теории и практики на уровне математических моделей методов измерений и соответствующих технических решений (структур) средств измерений.

Рассмотрение характеристик качества и проблем фундаментальной метрологии несомненно является актуальной задачей, поскольку за последнее десятилетие фундаментальная метрология обогатилась:

теорией (и методами) избыточных измерений, которая описала новую стратегию измерений физических величин, обеспечила новое качества измерений и привнесла новые понятия и определения в общую теорию измерений [1-17];

основами теории метрологической эффективности [18], описывающей разные аспекты деятельности человека, связанной с измерениями и оценкой эффективности методов и средств измерений;

созданием новой ветви теории метрологической надежности средств измерений [19-38], основанной на прогнозировании и определении метрологической надежности средств измерений (СИ) с использованием гибких многопараметровых вероятностно-физических моделей (ВФ-моделей) метрологических отказов (МО), на развитии теории динамической нелинейной регрессии и ее использования для решения задач определения времени наработки СИ на МО [33-37];

основами научно-технического языка [9, 38-46], в которых изложены правила корректного написания и использования принятых в метрологии обозначений физических величин (ФВ), единиц и значений, введенных и узаконенных понятий и определений, полученных уравнений связи между величинами, уравнений числовых значений, уравнений измерений, уравнений погрешностей;

новыми методами избыточных измерений свойств и параметров нанообъектов [47-49] и т.д.

Наступила новая эра развития фундаментальной метрологии, требующая уточнения и пересмотра ее фундаментальных основ, отдельных понятий и определений. В [9] нами была приведена тонкая структура метрологии XXI-го века, уточнены определения аксиом и постулатов метрологии, предложены новые аксиомы и постулаты, связанные с избыточными измерениями; в [50] даны определения основным принципам метрологии, связанные с базовыми понятиями: «свойство», «измерение», «результат

измерения», «погрешность» и «объект измерений».

В настоящей статье рассматриваются характеристики качества измерений, связанные с ними проблемы фундаментальной метрологии и возможные пути их решения. Это стало возможным благодаря результатам теоретических исследований автора и анализу состояния фундаментальной метрологии.

Объект исследований – процесс развития фундаментальной метрологии.

Предмет исследований – систематизация и классификация характеристик качества измерений, анализ проблем фундаментальной метрологии и путей их решения.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с вопросами качества измерений, проблемами фундаментальной метрологии и путями их решения.

Результаты исследований

1. Характеристики качества результатов измерений и воспроизведений физических величин

Качество производства изделий, веществ и материалов определяется качеством измерений их свойств и параметров соответствующих технологических процессов. Научно-технический прогресс любой страны зависит от качества измерений.

Качество измерений – совокупность свойств измерений, обуславливающих соответствие средств, метода, методики, условий измерений и состояния единства измерений¹ требованиям измерительной задачи (по точности, достоверности, технике безопасности, экологическим и иным факторам) [51].

Качество измерения и воспроизведения ФВ оценивается пятью основными характеристиками (изменяющимися свойствами): точностью, достоверностью, оперативностью, сопоставимостью и стабильностью результатов измерений. Структура качества измерения и воспроизведения ФВ приведена на (рис. 1). Дадим определения характеристикам качества.

Точность – это характеристика качества измерения, отражающая степень близость его результатов к истинному значению искомой ФВ.



Рис. 1 Структура качества измерений и воспроизведений ФВ

Точность характеризуется правильностью и прецизионностью результатов измерений.

Правильность – характеристика качества измерений, отражающая близость к нулю значения систематической составляющей погрешности результата измерений.

Прецизионность – характеристика качества измерений, отражающая близость к нулю значения случайной составляющей погрешности результата измерений.

Новые, гармонизированные определения понятиям «правильность» и «прецизионность» даны в ГОСТ Р ИСО 5725-1 [52]:

Правильность – степень близости результата измерений к истинному или условно истинному (действительному) значению измеряемой ФВ.

В случае отсутствия эталона измеряемой ФВ правильность – степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений, к принятому опорному значению².

Правильность измерений характеризует наличие систематических погрешностей. Показателем правильности обычно является значение систематической погрешности результата измерений.

Прецизионность – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных установленных условиях.

¹ Единство измерений – характеристика качества измерений, заключающаяся в том, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам воспроизводимых единиц, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы [51].

² Новый термин «принятое опорное значение» рекомендуется для использования в отечественной практике [52].

Данная характеристика зависит только от случайных факторов и не связана с истинным или установленным значением измеряемой ФВ.

Мера прецизионности – стандартное (среднеквадратическое) отклонение результатов измерений, выполненных в определенных условиях.

Количественные значения мер прецизионности существенно зависят от заданных условий. Экстремальными показателями прецизионности являются: повторяемость, сходимостъ и воспроизводимость. Они широко используются при сопоставлении результатов измерений.

Методы определения указанных показателей качества приведены в ГОСТ Р ИСО 5725.

Достоверность результатов измерений – это качество измерений, характеризующее близость к нулю значений случайной и не исключенной систематической погрешностей.

Достоверность измерений определяется степенью доверия к результату и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины лежит в указанных окрестностях действительного значения.

Различают три уровня (жесткости) измерений: 1) измерения в жестких рабочих условиях эксплуатации СИ, превышающие по своим параметрам нормальные условия (верхний уровень); 2) измерения в нормальных условиях (средний (стандартный) или базовый уровень); 3) измерения в условиях, не превышающих по своим параметрам нормальные условия эксплуатации СИ (нижний уровень). В этой связи выделим три степени доверия к получаемым результатам измерений: невысокую, высокую и среднюю. С учетом [53], дадим соответствующие определения достоверности:

1) достоверные, но не точные (прецизионные, но не правильные) измерения – это измерения с высокой степенью доверия к полученному результату и малой вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины лежит в указанных окрестностях действительного значения.

Значение случайной составляющей близко к нулю, а значение не исключенной систематической погрешностей далеко от нуля;

2) достоверные и точные (правильные и прецизионные) измерения – это измерения с высокой степенью доверия к результату и высокой (заданной) вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины лежит в указанных окрестностях действительного значения.

Значения случайной и не исключенной систематической погрешностей близки к нулю.

3) не достоверные, но точные (правильные, но не прецизионные) измерения – это измерения с низкой степенью доверия и высокой вероятностью того, что истинное значение измеряемой ФВ лежит в указанных окрестностях действительного значения.

Значение случайной составляющей далеко от нуля, а значение не исключенной систематической погрешностей близко к нулю;

Оперативность (или быстроедействие) – характеристика качества измерений, отражающая общие затраты времени на проведение единичного¹ измерения и сопровождающих его процедур при прямых или избыточных измерениях.

Различают следующие составляющие затрат времени:

1) время готовности СИ к проведению единичного измерения (с момента включения и до выхода на рабочий режим);

2) быстроедействие единичного измерения (или измерительного преобразования) ФВ;

3) время между повторными измерениями;

4) затраты времени на проведение серии (n -кратных) измерений одной и той же ФВ;

5) затраты времени на проведение подготовительных (не измерительных) операций к выполнению очередного такта избыточных измерений.

Например, таких операций, как: выбор или формирование измеряемой ФВ требуемого размера и «подключение» ее ко входу измерительного канала (ИК); воспроизведение нового значения образцовой ФВ перед очередным тактом измерений; установка и перемещение (позиционирование) стандартного образца (СО) состава и свойств материалов и веществ, воспроизводящего образцовую (одну или несколько) ФВ; «подключение» СО ко входу ИК;

6) общие затраты времени на подготовку и проведение очередного такта избыточных измерений ФВ в рамках одного цикла;

7) общие затраты времени на подготовку и проведение избыточных измерений I-го, II-го и III-го родов (в рамках одного цикла);

8) время (быстроедействие) обработки данных;

9) время представления информации (структурированных данных) согласно нормативных документов.

Сопоставимость (результатов измерений) – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Различают следующие составляющие «сопоставимости», как характеристики качества измерений: повторяемость, сходимостъ и воспроизводимость. Мерой оценки сопоставимости являются результаты

¹ единичное измерение – это время, затраченное на получение одного результата измерений искомой ФВ

линейной и нелинейной корреляции между сравниваемыми результатами измерений одной и той же ФВ одним или разными СИ, в одинаковых или разных условиях.

В [52, стр.7], термины «повторяемость» (repeatability), «сходимость» (convergence) и «воспроизводимость» (reproducibility) записаны через запятые, что свидетельствует об их различии. Действительно, «сходимость» больше характеризует некоторое индивидуальное свойство результатов измерений, а «повторяемость» – групповое свойство. Однако, в [52] отмечается, что в отечественных нормативных документах наряду с термином «повторяемость» используют термин «сходимость», и далее их пишут как термины-синонимы: «повторяемость (сходимость)». Это ошибочное мнение получило распространение из-за отсутствия у разработчиков ГОСТа информации о создании в 2001 году теории и методов избыточных измерений [1]. Доказано, что методы избыточных измерений, дающие результат измерений, приведенный ко входу ИК, инвариантны к воздействиям внешних дестабилизирующих факторов. В этой связи нами проведен водораздел между критериями «повторяемость» и «сходимость».

«Сходимость» является характеристикой качества измерений, проводимых через (короткие) промежутки времени, в течение которых условия окружающей среды не изменились. «Повторяемость» является характеристикой качества измерений, проводимых через (длительные) промежутки времени, в течение которых условия окружающей среды заметно изменились.

Для сопоставления методов (и средств) прямых измерений более адекватным является использование характеристик и показателей сходимости, поскольку при длительных промежутках времени начинает действовать характеристика стабильности. Для сопоставления методов (и средств) избыточных измерений могут использоваться характеристики и показатели повторяемости и сходимости. Характеристику сходимости целесообразно использовать для сопоставления результатов прямых измерений и результатов измерений, полученных в течение одного такта избыточных измерений. Характеристику и показатели повторяемости целесообразно использовать для сопоставимости результатов измерений, полученных методом избыточных измерений (от такта к такту и/или от цикла к циклу)¹, а также результатов, полученных методом прямых или избыточных измерений, осуществляемых через длительные промежутки времени.

Дадим соответствующие определения характеристикам качества измерений: «сходимости», «повторяемости» и «воспроизводимости».

Сходимость (результатов измерений) – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом при постоянных условиях окружающей среды, т.е. в течение короткого промежутка времени.

Сходимость – это прецизионность в условиях сходимости.

Повторяемость (результатов измерений) – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, но через длительные промежутки времени, на протяжении которых условия окружающей среды заметно изменились по числу воздействующих факторов и/или по значениям их параметров (т.е. в разных условиях).

Повторяемость – это прецизионность в условиях повторяемости [52].

В связи с изложенным полагаем, что пп. 3.15 и 3.16 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 необходимо пересмотреть.

Воспроизводимость (результатов измерений) – характеристика качества измерений, отражающая степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных одним и тем же методом, на идентичных объектах испытаний, в разных лабораториях, разными операторами, использованием различного оборудования (см [54] или ИСО 3534-1).

Воспроизводимость – это прецизионность в условиях воспроизводимости [52]. Она характеризует наличие случайных погрешностей.

Стабильность (результатов измерений) – это характеристика качества измерений, отражающая неизменность во времени МХ СИ.

Стабильность описывается временными зависимостями параметров закона распределения погрешности. В качестве количественной оценки стабильности служит нестабильность СИ.

Нестабильность – изменение МХ СИ за установленный интервал времени Δt при действии на него одной и той же совокупности факторов окружающей среды. Интервал времени Δt должен быть такой, чтобы приращения $\xi(\Delta t)$ МХ могли быть измерены с приемлемой достоверностью. Основными характеристиками нестабильности являются средняя нестабильность ($\bar{m}(i\Delta t)$), СКО нестабильности ($\bar{\sigma}(i\Delta t)$, где $i = 1, \dots, n$) и предел допускаемых значений доверительных границ нестабильности МХ СИ ($v_p(\Delta t)$) при заданной доверительной вероятности P .

Различают кратковременную и долговременную стабильность результатов измерений.

Кратковременная стабильность – характеристика качества измерений, показывающая заметные

¹ в теории избыточных измерений цикл измерений состоит из нескольких тактов

отклонения значений МХ последующего результата измерений от значений МХ предыдущего результата, полученные за интервал времени, меньший одной секунды.

Кратковременная стабильность может быть записана, например, так: $\xi_k(\Delta t)|_{\Delta t \leq 1c}$.

Долговременная стабильность – характеристика качества измерений, показывающая заметные отклонения значений МХ последующего результата измерений от значений МХ предыдущего результата, полученные по истечении длительного промежутка времени.

Долговременная стабильность может быть записана, например, так: $\xi_d(\Delta t)|_{\Delta t > 1c}$.

На практике пользуются понятиями минутной, часовой, суточной, месячной и годовой нестабильности.

Перечисленные критерии качества применимы как к методам прямых и избыточных измерений, так и к методам воспроизведения образцовых ФВ мерой или СО.

Анализ, систематизация и классификация характеристик качества измерений и воспроизведений ФВ позволили дать более корректные определения характеристикам, выявить связи и соотношения между ними.

Рассмотрим тесно связанные с качеством измерений проблемы фундаментальной метрологии, от развития которой зависит прогресс человечества.

2. Проблемы фундаментальной метрологии

Научная проблема – это осознание, формулирование концепции о незнании. Если проблема обозначена и сформулирована в виде идеи, концепции, то это значит, что можно приступить к постановке задачи по её решению [56].

Следуя [57], отметим, что проблемы фундаментальной метрологии – это объективно возникший в ходе развития познания науки метрологии комплекс вопросов, решение которых представляет существенный практический или теоретический интерес. Эти вопросы непосредственно связаны с процессами, процедурами и методами приобретения новых, более качественных, знаний о свойствах, явлениях и закономерностях объективного мира на основе широкого использования общенаучной методологии системного подхода.

К основным проблемам метрологии относятся [58]: создание общей теории измерений; образование единиц ФВ и систем единиц; разработка методов и средств измерений; методов повышения точности измерений; основ обеспечения единства измерений; основ обеспечения единообразия СИ; создание эталонов и образцовых СИ, проверка мер и СИ, преимущественно образцовых. Разработана структура связей между основными проблемами метрологии (рис. 1), что дало возможность установить их взаимосвязи, уровни и последовательность решения данных проблем. Данная структура предопределяет иерархию достигаемых целей, их взаимосвязи и пути решения.

Проблема создания общей теории измерений, на наш взгляд, не является реальной. Никто из ученых не пытался создать общую теорию измерений. Этот труд непосильный для одного человека. В то же время ученые всегда стремились внести свой вклад в общую теорию измерений.

Одному ученому удалось разработать «репрезентативную теорию измерений», другому – «общую теорию алгоритмических измерений», третьему – «основы теории статистических измерений» и «основы математической метрологии», четвертому – «потенциальную теорию точности», а пятому – «теорию избыточных измерений». Причем последняя является логическим продолжением теории прямых измерений, ее закономерной сменой. Как методология системного подхода пришла на смену методологии системного анализа, так и теория избыточных измерений пришла на смену теории прямых измерений. В этом методологическое отличие теории избыточных измерений от других теорий.

Следующая проблема, – проблема образования единиц ФВ и систем единиц, является реальной и решаемой. Это показал международный опыт. В XXI веке, в связи с интенсивным развитием нанотехнологий и нанометрии¹ возросла роль фундаментальных физических констант (ФФК) в создании



Рис. 2. Структура основных проблем метрологии

¹ Некоторые «ученые-метрологи» и чиновники от метрологии пытаются расчленивать науку метрологию и выделить из нее науку (?) «нанометрологию», прикрываясь пустой фразой, что «нанометрология – метрология в нанодиапазоне». Метрология – древнейшая наука, которая неделима и никогда не была и не будет «в ...». Ее законы (сердцевина), категории (каркас), принципы (фундамент), методы и методологии обеспечивают познание всех миров: мегамира, макромира, микромира и наномира. Поэтому следует пользоваться только термином «нанометрия», поскольку «нанометрия – прикладное научное направление в метрологии (как фазометрия, радиометрия и т.д.), связанное с измерениями свойств и параметров нанообъектов и происходящих в них физических, физико-химических, химических (и биологических – для живой природы) процессов».

современной системы единиц и эталонов единиц основных ФВ. По рекомендации Международного комитета мер и весов, принятой в 2005 году на 94-м заседании комитета, уже завершена работа по переопределению килограмма, ампера, кельвина и моля и привязке их к точно известным и зафиксированным значениям ФФК.

В 2011-2012 гг., после принятия всех переопределений основных единиц СИ, намечается пересмотр этих единиц в Международной системе единиц.

В новой СИ единицы основных ФВ (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела), а также двадцать две производные единицы будут выражены через семь ФФК, которые составят основу системы.

Решение первых двух основных проблем метрологии связано и обуславливает решение проблем разработки методов и СИ, разработки основ обеспечения единства измерений, создания эталонов и образцовых СИ. В данном ряду центральной является проблема разработки основ единства измерений, конечной целью которых является обеспечение сопоставимости результатов измерений, выполненных в разных местах и в разное время с использованием разных методов и СИ. В [58] не указываются пути решения основных проблем метрологии.

Как видно из приведенной на рис. 2 структуры, с проблемой разработки методов и СИ неразрывно связаны три проблемы: проблема разработки методов повышения точности измерений, проблема обеспечения единообразия СИ и проблема поверки мер и СИ, прежде всего образцовых.

Проблема обеспечения единообразия СИ вытекает, в свою очередь, из проблемы разработки основ обеспечения единства измерений. Ее решение направлено на создание СИ, градуированных в узаконенных единицах и с нормированными метрологическими характеристиками (МХ). С другой стороны, решение проблемы обеспечения единообразия СИ связано с проблемой создания эталонов единиц ФВ, как технических устройств, обеспечивающих воспроизведение, хранение и передачу значения единицы от эталонов другим, менее точным СИ.

Проблема создания эталонов и образцовых СИ тесно связана, как и проблема разработки методов и СИ, с проблемой поверки мер и образцовых СИ.

Анализ основных проблем метрологии показал, что методология прямых измерений несовершенна. Каждый разрабатываемый метод измерения сразу требует решения таких проблем (задач), как повышение точности измерений, обеспечение единообразия и поверки СИ. Возникает естественный вопрос, а почему, например, использование в СИ мер и СО не решает проблему поверки СИ? Приведенные проблемы метрологии направлены на совершенствование методологии прямых (необходимых) измерений, ориентированной на использование ИК с линейной функцией преобразования. Ни одна проблема не констатирует необходимость разработки и использования других методологий, необходимых и достаточных для проведения измерений ФВ при нелинейной ФП ИК.

Представленные на рис. 2 проблемы метрологии являются плодом широко используемой общенаучной методологии системного анализа, являющейся основной методологией развития всех наук в XX-м веке, в том числе и метрологии. Приведенные проблемы не дают ответ на вопрос, какие первостепенные задачи (проблемы) необходимо решать сегодня, а какие завтра? Поэтому решение данных проблем в обозримом будущем было бы весьма сомнительным, если бы не была создана теория избыточных измерений [1-17], базирующаяся на общенаучной методологии системного подхода и информативной избыточности и обеспечивающая научный прорыв в развитии фундаментальной метрологии.

Изучение реального состояния метрологии начала XXI-го века и новых ее достижений, дало возможность сформулировать пять групп проблем фундаментальной метрологии, которые необходимо решать в ближайшие годы (рис. 3):

- проблемы повышения качества измерений;
- проблемы метрологической надежности (МН) СИ и средств избыточных измерений (СИИ);
- проблемы метрологической эффективности;
- проблемы профессионального научно-технического языка;
- проблемы нанометрии.

Группу проблем повышения качества измерений составляют:

- проблемы повышения точности (правильности и прецизионности) результатов измерений;
- проблема повышения достоверности результатов измерений;
- проблемы повышения оперативности результатов измерений;
- проблема сопоставимости (повторяемости, сходимости и воспроизводимости) результатов измерений;
- проблема обеспечения стабильности результатов измерений.

Проблема повышения точности (правильности и прецизионности) результатов измерений на 1-2 порядка теоретически уже решена благодаря созданию теории избыточных измерений ФВ [2, 4, 10-15]. Для ее практической реализации необходимо решить еще ряд проблем:

- проблему создания быстродействующих многоразрядных (24-х и 32-х разрядных) аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей;
- проблему создания сенсоров, биосенсоров и видеосенсоров с управляемыми параметрами;
- проблему создания методов и средств формирования рядов ФВ, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и/или геометрической прогрессии;

- проблему работы с метрологическими числами.

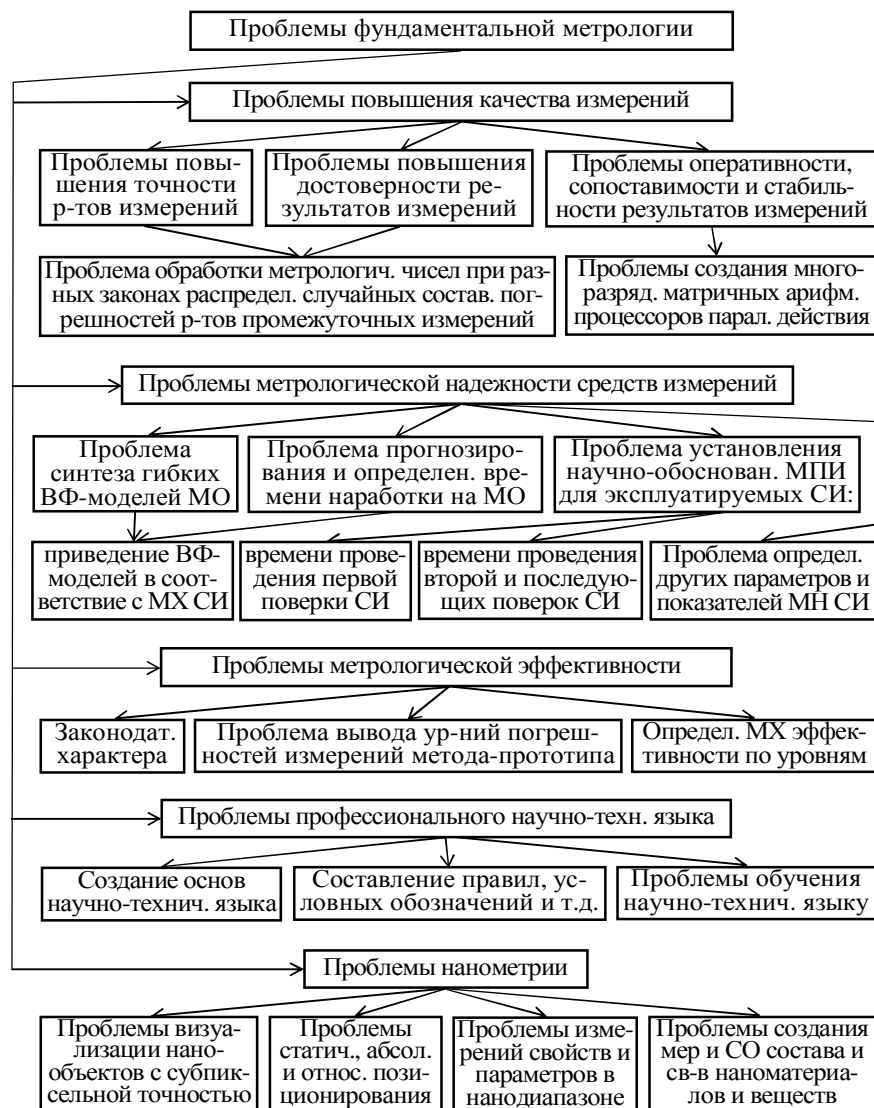


Рис. 3. Структура проблем фундаментальной метрологии

Проблема повышения достоверности результатов измерений неразрывно связана, как и проблема повышения точности измерений, с решением проблем:

- обработки результатов многократных измерений рядов ФВ (т.е. метрологических чисел) при разных значениях неопределенности и разных законах распределения случайных погрешностей результатов многократных измерений (рассеяния случайных величин);
- создания таких методов измерений и коррекции погрешностей, которые обеспечивали бы близость к нулю значений случайной и/или не исключенной составляющих систематической погрешности.

На сегодняшний день в метрологии и в вычислительной технике еще не разработаны методы и многоуровневые средства обработки метрологических чисел [32]. Это тормозит решение проблемы (оценки) достоверности результатов измерений. Только создание специализированных многоуровневых средств обработки метрологических чисел обеспечит решение указанной проблемы, повышение общего качества измерений и принесет приборостроению ощутимый экономический эффект.

Проблема оперативности (быстродействия) измерений неразрывно связана с решением следующего ряда проблем:

- с проблемой создания быстродействующих многоуровневых (24-х и 32-х разрядных) аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей;
- с проблемой создания многоуровневых (24-х, 32-х и 64-х разрядных) матричных арифметических процессоров параллельного действия, обеспечивающих обработку результатов промежуточных измерений за несколько машинных тактов;
- с проблемой создания для многоканальных СИ и СИИ (с пространственным разделением ИК) идентичных и высокостабильных ИК с подключаемыми к ним высокочувствительными сенсорами, биосенсорами и/или видеосенсорами;
- с проблемой создания СИ и СИИ, параметры которых идентично изменяются (коррелируют) при воздействиях внешних дестабилизирующих факторов.

Обеспечение высокого быстродействия измерений – это признак «хорошего тона», особенно при измерениях параметров быстропротекающих процессов и явлений. Решение проблемы сокращение общих затрат времени на проведение единичного измерения повысит экономическую эффективность измерений и также даст ощутимый экономический эффект для приборостроения и других отраслей народного хозяйства.

Группу проблем сопоставимости результатов измерений составляют проблемы сходимости, повторяемости и воспроизводимости результатов измерений. Их решения направлены на получение близких друг к другу результатов измерений одной и той же ФВ, выполненных повторно в общем случае разными средствами и методами, в разных лабораториях, разными операторами, с использованием различного оборудования и в разных условиях окружающей среды.

Сопоставимость результатов двух или нескольких измерений обычно описывается корреляционной зависимостью. Последняя представляет собой статистическую взаимосвязь двух или нескольких групп результатов измерений (случайных величин), при которой изменения значений одного или нескольких результатов измерений одной группы приводят к систематическому изменению значений соответствующих результатов измерений другой или других групп.

В качестве меры оценки сопоставимости результатов измерения используются, как правило, коэффициенты линейной (коэффициент корреляции Пирсона) или нелинейной корреляции.

Считаем, что только использование избыточных измерений обеспечит решение данной группы проблем.

Группу проблем повышения стабильности результатов измерений составляют: проблемы обеспечения кратковременной и/или долговременной стабильности результатов измерений. Эти проблемы решаются как путем использования конструктивно-технологических, так и схмотехнических методов и приемов. Особое место в решении проблемы долговременной стабильности результатов измерений занимает использование таких методов измерений, которые инвариантны к долговременной стабильности параметров функции преобразования (ФП) ИК, т.е. методов избыточных измерений.

Группу проблем МН СИ и СИИ составляют (рис. 3):

- проблема синтеза гибких многопараметровых ВФ-моделей метрологических отказов (МО) на основе двух- и многопараметровых функций плотности распределения случайных величин;
- проблемы прогнозирования и определения времени наработки на МО;
- проблема установления научно-обоснованных межповерочных интервалов (МПИ) для эксплуатируемых СИ и СИИ, в том числе времени проведения первой поверки и времени проведения второй и последующих поверок;
- проблемы определения других параметров и показателей МН СИ и СИИ, предполагающие также разработку методов и уравнений измерений параметров ВФ-моделей МО СИ и СИИ.

Ряд других, не менее важных проблем, описано в [59].

При этом, первые две проблемы МН связаны также с проблемой приведения ВФ-моделей в соответствие с МХ СИ и СИИ определенной группы и класса точности (рис. 3) с целью присвоения им того или иного вида базовой ВФ-модели МО.

Приведенные проблемы МН СИ и СИИ являются результатом исследований и открытия автором новой эры развития теории метрологической надежности [19-30], становления и развития науки метрологии [31]. Их решение возможно путем использования Т-методов динамической нелинейной регрессии и гибких ВФ-моделей МО СИ и СИИ.

Группу проблем повышения метрологической эффективности составляют:

- проблемы законодательного характера;
- проблема вывода уравнений погрешностей измерений для сравниваемого метода-прототипа;
- проблема определения МХ эффективности по уровням и подуровням познания, при одном или разных физических принципах измерительного преобразования ФВ и т.д.

Теория метрологической эффективности, – это новая теория, основы которой заложены совсем недавно [18]. Метрологическая эффективность характеризует целенаправленную деятельность человека и ее результаты по созданию новых и совершенствованию существующих методов, методологий, средств измерений, измерительных систем и т.д. Развиваемая теория метрологической эффективности обладает синтетической объяснительной, методологической, предсказательной и практической функциями. Приведенные проблемы сами за себя характеризуют имеющиеся трудности в развитии теории метрологической эффективности и требуют государственной поддержки для их решения.

Группу проблем профессионального научно-технического языка составляют:

- проблема создания основ научно-технического языка;
- проблема составления правил, условных обозначений и их узаконивание;
- проблема обучения профессиональному научно-техническому языку ученых, студентов и аспирантов и другие проблемы.

Решение данной группы проблем весьма важно для исключения технического суржика из технической литературы и повышения научно-технического уровня изложения результатов научных исследований, прежде всего, в науке метрологии. Назрела необходимость поддержки и решения данных проблем на государственном уровне – на уровне соответствующих министерств и ведомств.

Группа проблем нанометрии включает в себя:

- проблемы визуализации и определения с субпиксельной точностью краев, границ (контуров) и

координат световых пятен полученных изображений нанообъектов;

- проблемы статического, абсолютного и относительного позиционирования нанообъектов живой и неживой природы;
- проблемы измерения линейных размеров, параметров и свойств наноматериалов, веществ и нанообъектов;
- проблемы создания мер и СО состава и свойств наноматериалов и веществ однородных с исследуемыми;

Группа проблем нанометрии выделена в результате анализа проблем визуализации в метрологии [60, 61], исследований, проведенных в области измерений линейных размеров [47] и площади плоских нанообъектов [48], а также в области измерения комплексной диэлектрической проницаемости наноматериалов [49]. На сегодняшний день уже получены решения задач измерений указанных параметров нанообъектов методами избыточных измерений [47-49] и оформлены заявки на предполагаемые патенты.

Из перечисленных проблем одна часть нашла свое решение в работах автора, а для другой части определены пути их решения.

Выводы

Наступила новая эра развития фундаментальной метрологии, требующая уточнения и пересмотра ее фундаментальных основ, стратегий, отдельных понятий и определений. Это обусловлено тем, что за последнее десятилетие фундаментальная метрология обогатилась новыми стратегиями, теориями, методами и подходами к решению метрологических задач.

Важнейшую роль в развитии фундаментальной метрологии играет совершенствование определений характеристик качества измерений и корректный расчет их показателей.

Уточнена тонкая структура характеристики «достоверности результатов измерений». Показано существование достоверных, но не точных, достоверных и точных, не достоверных и точных измерений, отличающихся между собой степенью доверия к полученным результатам.

Выделено девять вариантов затрат времени при проведении единичных прямых и избыточных измерений, уменьшение которых является важной задачей повышения качества измерений.

Особое внимание уделено анализу такой характеристики качества измерений, как «сопоставимость результатов измерений». Впервые установлены различия между составляющими характеристики – повторяемостью и сходимостью. Показано, что «сходимость» является характеристикой качества измерений, проводимых через (короткие) промежутки времени, в течение которых условия окружающей среды не изменились. «Повторяемость» является характеристикой качества измерений, проводимых через (длительные) промежутки времени, в течение которых условия окружающей среды заметно изменились. Приведены соответствующие определения, подчеркивающие эти различия.

Показано, что характеристика качества измерений «стабильность» описывается временными зависимостями параметров закона распределения погрешности. Даны определения кратковременной и долговременной стабильности результатов измерений.

Констатируется, что проблемы фундаментальной метрологии – это объективно возникший в ходе развития познания науки метрологии комплекс вопросов, решение которых представляет существенный практический или теоретический интерес.

Сегодня новые знания о свойствах, явлениях и закономерностях объективного мира получают в результате широкого использования в метрологии общенаучной методологии системного подхода.

Структурированы основные проблемы метрологии, что дало возможность установить их взаимосвязи, уровни и последовательность решения данных проблем.

Показано, что безусловным преемником теории прямых измерений является теория избыточных измерений. Данная теория является единственно правильной теорией, обеспечивающей единство измерений.

Выделено пять групп проблем фундаментальной метрологии, которые требуют безотлагательного решения. От этого зависит научно-практический прорыв во многих областях науки и техники и решение проблем системной модернизации.

Указывается на недопустимость расчленения науки метрологии. Нанометрия – это достойное научное направление в науке метрологии, обеспечивающей познание всех миров.

Отмечено, что проблема повышения точности измерений уже решена благодаря созданию и развитию теории избыточных измерений. Для ее практического утверждения и широкого использования необходимо создавать быстродействующие многоуровневые (24-х и 32-х разрядных) аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, сенсоры, биосенсоры и видеосенсоры с управляемыми параметрами, методы и средства формирования рядов ФВ, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и/или геометрической прогрессии, а также разработать методы и многоуровневые средства обработки метрологических чисел в соответствии с уравнениями измерений.

Показано, что проблема повышения достоверности результатов измерений, как и проблема повышения точности измерений, связана с решением проблем корректной обработки результатов многократных измерений ФВ (метрологических чисел) при разных значениях неопределенности и разных законах распределения случайных погрешностей измерений. Только создание специализированных многоуровневых средств обработки метрологических чисел обеспечит решение проблемы повышение

качества измерений и принесет приборостроению ощутимый экономический эффект.

Утверждается, что проблема оперативности измерений неразрывно связана с созданием многоразрядных быстродействующих аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, матричных арифметических процессоров параллельного действия, идентичных и высокостабильных ИК и т.д.

Отмечается, что, что в качестве меры оценки сопоставимости результатов измерений необходимо использовать коэффициенты линейной и нелинейной корреляции.

Решение проблемы долговременной стабильности результатов измерений может быть обеспечено за счет использования методов избыточных измерений, инвариантных к воздействиям на СИ внешних дестабилизирующих факторов окружающей среды.

Впервые выделена группа проблем МН СИ и СИИ, которые базируются на результатах научных исследований автора по теории МН.

Впервые разработаны основы теории метрологической эффективности и выделены ее проблемы, что способствует ее дальнейшему развитию.

Утверждается, что решение группы проблем по профессиональному научно-техническому языку весьма важно для исключения технического суржика из технической литературы и повышения научно-технического уровня изложения результатов научных исследований, прежде всего, в науке метрологии.

Приведенные результаты исследований обогатили фундаментальную метрологию новыми знаниями в части уточнения формулировок характеристик качества измерений и воспроизведений ФВ, обобщения и классификации проблем фундаментальной метрологии и очертания путей их решения.

Литература

1. Кондратов В. Т. Стратегічна теорія XXI століття / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 2. – С. 11–16.
2. Кондратов В.Т. Новая стратегия измерений / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – № 3. – С. 101-121.
3. Кондратов В. Т. Философские аспекты теории избыточных измерений / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – № 3. – С. 82-105.
4. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7-24.
5. Метрологическое обеспечение измерительных систем: сб. науч. работ по матер. междунар. науч. – техн. конф. 3-7 октября 2005 г. / Федеральное Агентство по техническому регулированию и метрологии / науч. ред. А. А. Данилов. – Пенза, ФГУП «ВНИИМС», ФГУ «Пензенский ЦСМ», 2005. – С. 191-210.
6. Кондратов В. Т. Фундаментальная теория избыточных измерений: особенности и обобщенная структура / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – № 4. – С. 15-30.
7. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений – теория мирового значения / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 1. – С. 152-160.
8. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: универсальное уравнение измерений / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 5. – С. 116-130.
9. Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, Наук. рада НАН України з проб. «Кібернетика» / відп. ред. В.О. Романов – Київ, 2006. – С. 23-33.
10. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений – стратегическая теория XXI века / В. Т. Кондратов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2007 – спецвипуск. Науково-технічний журнал. Черкаси: ЧДТУ, 2007. – С. 120-122.
11. Кондратов В.Т. Структура метрологии XXI века / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 2. – С. 7-23.
12. Засоби комп'ютерної техніки з віртуальними функціями і нові інформаційні технології: зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Наук. рада НАН України з проб. „Кібернетика” / відп. ред. Романов В.О. – Київ, 2002. – Т.1. – С. 38-44.
13. Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики. Дополнительный сборник / Отв. ред.. В. Д. Ивченко: науч. труды IX-й междунар. науч. – практ. конф. 2-5 окт. 2006 г. – М.: МГУ ПИ, 2006. – С. 42-57.
14. Кондратов В. Т. Классификация методов избыточных измерений / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 2. – С. 7-17.
15. Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики. Книга «Приборостроение» / Отв. ред. В. Д. Ивченко: науч. труды X-й Юбилейной междунар. науч. – практ. конф. 1-5 окт. 2007 г. – М.: МГУ ПИ, 2007. – С. 134-143.
16. Кондратов В. Т. Современная метрология: виды измерений / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – № 2. – С.7-13.
17. Метрологическое обеспечение измерительных систем: сб. науч. работ по матер. IV-я междунар. науч. – техн. конф., 2-5 окт. 2007 г. / Федеральное Агентство по техническому регулированию и метрологии / науч. ред. А. А. Данилов. – Пенза, ФГУП «ВНИИМС», ФГУ «Пензенский ЦСМ», 2007. – С. 13-29.
18. Кондратов В. Т. Основы (мини-)теории метрологической эффективности / В. Т. Кондратов //

Законно-дательная и прикладная метрология. – 2010. – № 3. – С. 27-33.

19. Кондратов В. Т. Новая стратегия развития теории метрологической надежности / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2010. – № 2 (108). – С. 45-59.

20. Кондратов В. Т. Проблемы теории метрологической надежности и пути их решения / В. Т. Кондратов // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2009. – № 8. – С. 138-148.

21. Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики. Книга «Приборостроение» / Отв. ред. В.Д.Ивченко: науч. труды XI-й междунар. науч. – техн. конф., 6-10 окт. 2008 г. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 138-145.

22. Метрологическое обеспечение измерительных систем: сб. науч. работ по матер. V-й междунар. науч. – техн. конф., 6-9 окт. 2008 г. / Федеральное Агентство по техническому регулированию и метрологии / науч. ред. А. А. Данилов. – Пенза, ФГУП «ВНИИМС», ФГУ «Пензенский ЦСМ», 2008. – С. 10-22.

23. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Вейбулла / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 101-113.

24. Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики. Книга «Приборостроение» / Отв. ред. В.Д. Ивченко: науч. труды XI-й междунар. науч. – техн. конф., 6-10 окт. 2008 г. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 124-131.

25. Кондратов В. Т. Новая эра развития теории метрологической надежности – функция распределения Кондратова – Вейбулла, ее разновидности, свойства и функциональные возможности / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология, 2009. – № 3. – С. 15-27.

26. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: экспоненциальная функция распределения В. Т. Кондратова и функция распределения Кондратова – Лапласа / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2008. – № 6. – С. 43-55.

27. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Коши / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2007. – № 2. – С. 23-31.

28. Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики. Книга «Приборостроение» / Отв. ред. В. Д. Ивченко: науч. труды XI-й междунар. науч. – техн. конф., 6-10 окт. 2008 г. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 145-154.

29. Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики. Книга «Приборостроение» / Отв. ред. В. Д. Ивченко: науч. труды XI-й междунар. науч. – техн. конф. 6-10 окт. 2008 г.: тезисы докл. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 154-160.

30. Кондратов В. Т. Свойства и функциональные возможности экспоненциальных функций распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на метрологический отказ / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 57-65.

31. Кондратов В. Т. Метроника, вероятностно-физические модели метрологических отказов средств измерений и их графические портреты / Владислав Тимофеевич Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 1. – С. 7-19.

32. Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Наук. рада НАН України з проб. „Кібернетика” / відп. ред. Романов В.О. – Київ, 2008. – № 7. – С. 13-22.

33. Пат. 90122 С2 Україна, МПК (2009) G01M 1/00. Спосіб визначення часу наробітку на метрологічну відмову засобу вимірювання / Кондратов В. Т.; заявник и патентоспроможний Інститут кібернетики НАН України. – № 20060171625/06; заявл. 03.08.06; опубл. 12.04.10, Бюл. № 7.

34. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: новый метод прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2010. – № 4 – С. 138-148.

35. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: применение нелинейного регрессионного анализа для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 138-148.

36. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: новый метод динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 57-65.

37. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: новый метод динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 2 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 5. – С. 200-205.

38. Кондратов В. Т. Про чистоту технічної мови спілкування та обміну думками в метрології і вимірювальній техніці / В. Т. Кондратов // Препринт / НАН України. Ін-т кібернетики; 2002-7. Авторський переклад з видання рос. мовою. Вид. 2-е, випр. і доп. – 59 с.

39. Кондратов В. Т. Правила „ВЛАДІКОН” – основні правила коректного написання наукових праць з метрології та вимірювальної техніки / В. Т. Кондратов – К. ІК НАН України, 2002. Авторський переклад з видання рос. мовою. Вид. 2-е, випр. і доп. – 56 с. – (Препринт / НАН України. Ін-т кібернетики; ІК НАНУ 2002-8.

40. Кондратов В. Т. Современная метрология: 50 Правил „Владикон”. Часть 1 / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – № 1. – С. 7-12.
41. Кондратов В. Т. Современная метрология: 50 Правил „Владикон”. Часть 2 / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – № 2. – С. 37-41.
42. Кондратов В. Т. Современная метрология: 50 Правил „Владикон”. Часть 3 / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – № 1. – С. 17-23.
43. Кондратов В. Т. Современная метрология: 50 Правил „Владикон”. Часть 4 / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – № 2. – С. 10-15.
44. Кондратов В. Т. Основы технического языка. Сообщение 1. В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2007. – № 6. – С. 112-124.
45. Кондратов В. Т. Основы технического языка. Сообщение 1. / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – № 1. – С. 78-91.
46. Кондратов В. Т. Основы технического языка. Сообщение 1. / В. Т. Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – № 2. – С. 82-105.
47. Кондратов В. Т., И. В. Грибань. Проблемы измерения линейных размеров нанообъектов / В. Т. Кондратов, // Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники. – К., 2011. – С. 41-50.
48. Кондратов В. Т. Проблемы измерения площадей нанообъектов / В.Т. Кондратов, К. А. Демченко // Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники. – К., 2011. – С. 57-65.
49. Кондратов В. Т. Проблемы измерения комплексной диэлектрической проницаемости наноматериалов / В. Т. Кондратов, М. В. Макуха // Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники. – К., 2011. – С. 71-75.
50. Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: сб. науч. работ по матер. междунар. науч. – техн. конф., 22-24 октября 2008 г. / Министерство образования и науки РФ, ПГУ. – Пенза, ИИЦ ПГУ. – 2008. – С. 37-41.
51. Учебное пособие по метрологии. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/dir/cat34/subj197/file10937/view102644/page14.html>.
52. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1. Основные положения и определения. Госстандарт России. Москва, 2002. Режим доступа: [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/579579/tochnost_\(pravilnost_i_pretszionnost\)_metodov_i_rezultatov_izmerenii_chast.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/579579/tochnost_(pravilnost_i_pretszionnost)_metodov_i_rezultatov_izmerenii_chast.pdf).
53. Сходимость и воспроизводимость измерительных систем. Режим доступа: <http://sixsigmaonline.ru/load/29-1-0-109>.
54. Воспроизводимость. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Воспроизводимость>.
55. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – М.: Стандартиформ. 2005. Режим доступа: http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/545312/gsi_metody_opredeleniya_mezh-poverochnykh_i_mezhkalibro-vochnykh_intervalov.pdf. ПМГ 74-2004.
56. Проблема. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Проблема#.D0.92_.D0.BD.D0.B0.D1.83.D0.BA.D0.B5.
57. Проблема. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/123977/Проблема>.
58. Проблемы метрологии. Режим доступа: <http://www.kipstory.ru/metr/problemi/>.
59. Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Наук. рада НАН України з проб. „Кібернетика / відп. ред. Романов В.О. – Київ, 2009. – № 8. – С. 138-148.
60. Кондратов В. Т. Визуализация в метрологии: состояние и перспективы / В. Т. Кондратов // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: междунар. науч. – техн. конф., г. Пенза, 19-22 апреля 2011 г.: тезисы докл. под ред. д.т.н., проф. М. А. Щербакова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – 1 т. – С. 214-218.
61. Кондратов В. Т. Визуализация в метрологии: уровни, направления, цели, задачи, методы и программное обеспечение / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 1. – С. 7-21.

Надійшла 17.7.2011 р.