

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V.T. Kondratov

PROBLEMS OF THE THEORY OF METROLOGICAL RELIABILITY AND WAYS OF THEIR SOLUTION

In paper the twelve scientifically-practical problems of development of the theory of metrological reliability of measuring apparatuses and the possible ways of their solution are considered.

Розглядається дванадцять науково-практичних проблем розвитку теорії метрологічної надійності засобів вимірювання та можливі шляхи їх розв'язку.

Рассматривается двенадцать научно-практических проблем развития теории метрологической надежности средств измерений. Часть из них решена, часть в стадии решения, а другие только очерчены.

© В.Т. Кондратов, 2009

УДК 389.638:011.54

В.Т. КОНДРАТОВ

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В конце XX столетия в метрологии начался кризис. Он проявил себя не только в Украине, но и в других странах СНГ. За восемнадцать лет независимости (1991–2009 гг.) в Украине не сформировано новое поколение грамотных, свободно и масштабно мыслящих теоретиков-метрологов, работающих в перспективных направлениях теории измерений, теории метрологической надежности и т. д. [1]. Не подготовлено новое поколение ученых-исследователей, которое могло бы развивать фундаментальную метрологию XXI века на базе общенаучной методологии системного подхода, современных достижений микро- и нанотехнологий.

В настоящее время отсутствует эффективная государственная политика в области метрологии – alma mater такой наукоемкой отрасли народного хозяйства как приборостроение.

В 2001 году нами было заявлено о создании теории избыточных измерений (ТИИ) и ее прикладных направлений (избыточная концентратометрия, пирометрия, фазометрия, радиометрия, дальнометрия и т. д.) на основе общенаучной методологии системного подхода и информативной избыточности [2–5]. С 2005 года в ИК им. В.М. Глушкова НАН Украины начала развиваться теория метрологической надежности средств измерений [6–10], базирующаяся на общенаучной методологии системного подхода.

Объект исследований – процесс развития теории метрологической надежности (ТМН) средств измерений.

Предмет исследований – проблемы развития теории метрологической надежности в XXI веке.

Цель работы – ознакомление ученых и специалистов-метрологов с научно-практическими проблемами, имеющими место в теории метрологической надежности средств измерений и возможными путями их решения.

Результаты исследований. Новая стратегия развития ТМН в XXI веке включает в себя решение таких двенадцати научно-практических проблем, разных по степени важности и очередности решения.

Проблема 1. Развитие теории метрологической надежности на основе общенаучной методологии системного подхода. Развитие ТИИ на основе общенаучной методологии системного подхода и информативной избыточности обусловило необходимость по-новому взглянуть на развитие ТМН прямых средств измерений (СИ) и средств измерений избыточных (СИИ) и понять причины ее замедленного развития в конце XX века. Общенаучная методология системного анализа исчерпала свои возможности. Она прекратила быть двигателем научно-технического прогресса. На ее смену пришла общенаучная методология системного подхода, хотя многие ученые-метрологи этого не заметили.

В XX веке ученым и специалистам-метрологам не удалось сделать самое главное, – найти взаимосвязь метрологических характеристик (МХ) с параметрами МН СИ и создать адекватные вероятностно-физические модели метрологических отказов (МО) СИ разных групп и классов точности.

В основу современного подхода к развитию ТМН в XXI веке положено рассмотрение объекта измерения (ОИ) и средства измерений (СИ) с позиций системного подхода, т. е. как органически единой системы «ОИ – СИ», с учетом всего комплекса проблем на всех уровнях ее структурной организации и с учетом влияния факторов внешней среды. Состояние данной измерительной системы описывается «уравнением состояния» с неизвестными, в общем случае, параметрами. Нахождение значений этих параметров в любой момент времени – залог успешного решения задач МН СИ и СИИ.

Дальнейшее решение проблемы обеспечения МН СИ и СИИ в метрологии и измерительной технике связано с развитием и внедрением новой стратегии измерений.

Проблема 2. Разработка философских основ теории метрологической надежности и создание науки «метроники». С философской точки зрения «теория – это высшая, обоснованная, логически непротиворечивая система научных знаний, дающая целостный взгляд на существенные свойства, закономерности и причинно-следственные связи, определяющие характер функционирования и развития определенной области реальности» [7]. На этой основе и должна развиваться ТМН.

Разработка философских основ предполагает разработку общих и частных законов становления, функционирования и развития ТМН, разработку фундамента теории в виде некоторой совокупности научных принципов. Как утверждают философы, сердцевину науки составляют входящие в нее законы, каркасом служат категории, а фундаментом являются научные принципы.

Новая стратегия развития ТМН включает в себя разработку не только философ-

ских основ ТМН, но и объединение основных законов, понятий (категорий), принципов, методов и методологий в единую систему знаний или в науку «метроника». Данный термин введен нами по первым буквам слов фразы «**МЕТРО**логическая **Надеж**ность **И**змерительных **КА**налов».

Проблема 3. Синтез вероятностно-физических моделей метрологических отказов. В ТМН классические, строго вероятностные модели МО с фиксированными законами распределения себя не оправдали. Наиболее перспективными становятся гибкие вероятностно-физические модели МО на основе двух- и многопараметровых функций плотности распределения случайных величин. Первая модель нами создана ко Дню победы в 2007 году и получила название «функция распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на МО» или «функция распределения Кондратова – Вейбулла» [8].

Для синтеза вероятностно-физических моделей МО нами разработаны «Правила синтеза функций распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на МО», которые впервые опубликованы в [8].

Далее, на рис. 1 и 2, в качестве примера приведены семейства кривых, характеризующих функцию распределения Кондратова – Вейбулла (рис. 1), экспоненциальную функцию распределения проф. В.Т. Кондратова (сплошные линии), двойную экспоненциальную функцию распределения Кондратова – Лапласа (пунктирные линии) при значениях параметров формы $4 \leq k_f \leq 8$ и дискретных значений времен наработки на МО $T_{но} = 10, 20, 30, 40, 50$ лет (рис. 2) [9]. Из приведенного семейства видно, что данные функции распределения менее гибкие, чем функция распределения Кондратова – Вейбулла. Однако они характеризуют широкий класс вероятностно-физических моделей МО СИ с экспоненциальным законом распределением нормируемых погрешностей, представляют научный и практический интерес для метрологов.

Проблема 4. Представление информации о метрологической надежности средств измерений в объединенной системе координат. Синтез новых вероятностно-физических моделей МО обусловил необходимость разработки более информативной формы отображения результатов исследований состояния измерительной системы «ОИ – СИИ» и прогнозных кривых МО СИ.

Поставлена и решена задача объединения вероятностного и метрического пространств с единых (вероятностно-физических) позиций, поскольку метрология является физической наукой и все используемые математические модели (ММ) должны отображать и характеризовать физическую сущность исследуемых эффектов, явлений, процессов, состояний и т. д. Вероятностное пространство, о котором говорят математики, не отражает в должной мере физическую сущность процессов старения функциональных блоков и элементов СИ, а также МХ системы «ОИ – СИ (СИИ)».

Поэтому, вероятностное пространство нами материализовано и переведено в метрическое за счет нахождения специфических связей пространства и времени, как объективной реальности.

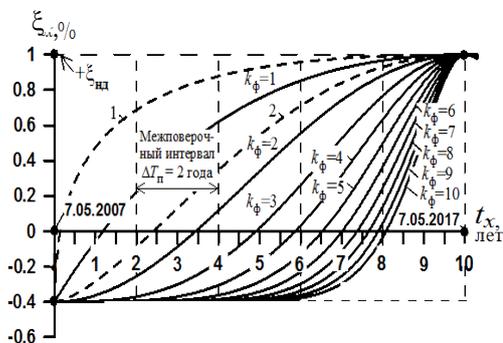


РИС. 1. Семейство кривых, характеризующих свойства функции распределения Кондратова – Вейбулла

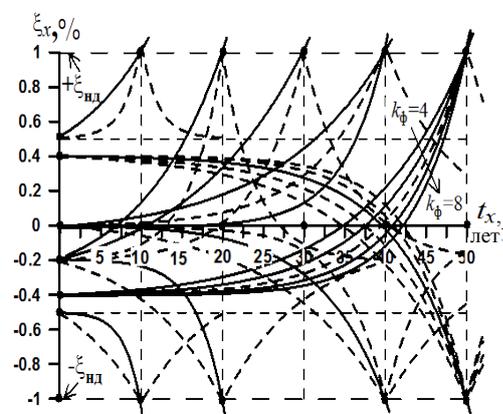


РИС. 2. Семейство кривых, характеризующих свойства экспоненциальных функций распределения

С этой целью нами предложено результаты моделирования МО СИ представлять в вероятностно-физической пространственно-временной системе координат (рис. 3).

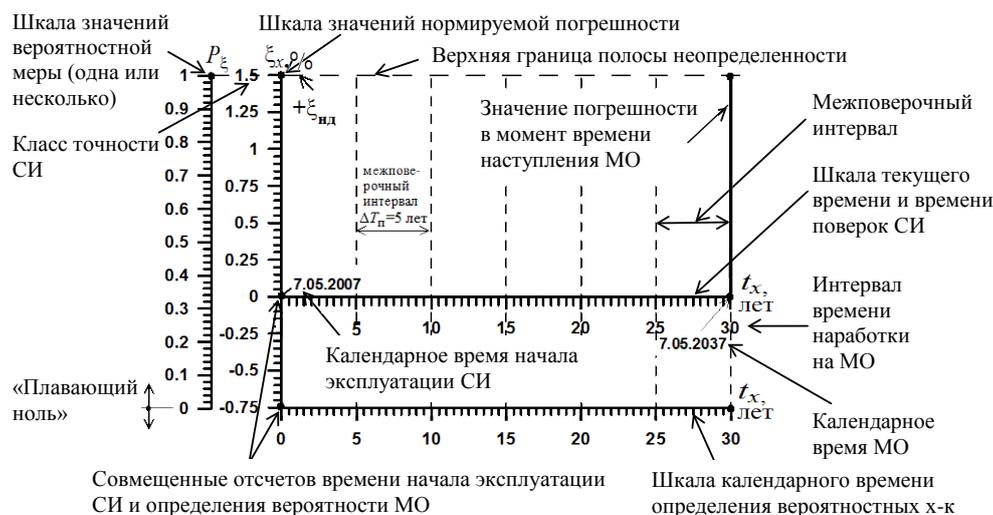


РИС. 3. Вероятностно-физическая пространственно-временная система координат

В ней шкалы нормированных значений погрешностей совмещены с одной или несколькими (см. далее) шкалами значений вероятностной меры, а шкала текущего времени и времени поверок СИ совмещена со шкалой календарного времени определения вероятностных характеристик. Отсчеты времени начала эксплуатации СИ и времени определения вероятности МО совмещены. С целью минимизации в объединенной системе координат может быть исполь-

зована одна шкала текущего времени с отметками календарного времени. На данной системе координат должны быть указаны значения межповерочных интервалов, календарное время начала эксплуатации СИ и прогнозируемое календарное время МО СИ, а также верхняя и/или нижняя доверительные границы полосы неопределенности, соответствующие исследуемому СИ определенной группы и класса точности. На рис. 4 в объединенной системе координат приведены кривые синтезированных нами (прогнозных) функций распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на МО (вероятностно-физических моделей МО) для трех СИ. Шкалы значений вероятностной меры жестко привязаны к шкале значений нормируемых погрешностей и имеют «плавающий» ноль.

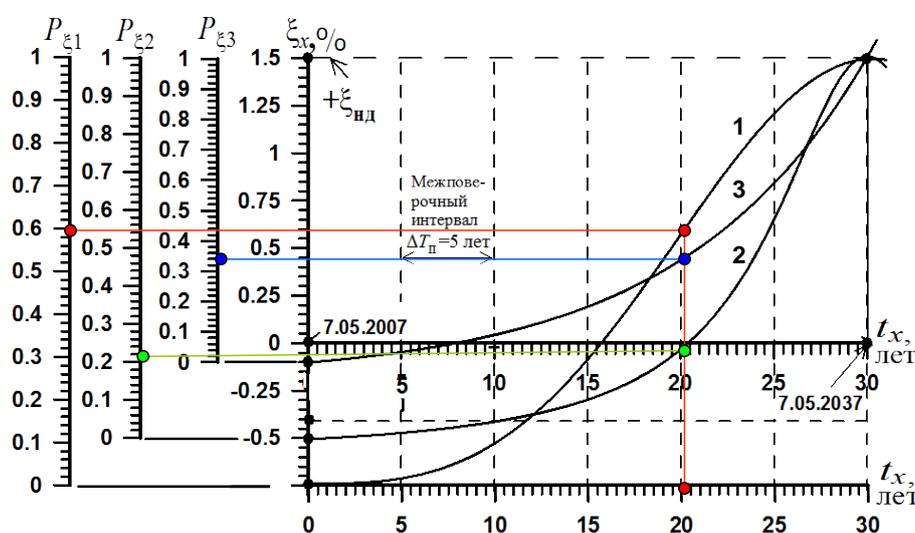


РИС. 4. Графики представления вероятностно-физических моделей МО (для трех СИ) в объединенной системе координат

В данной системе координат отметки шкал числовых значений вероятностной меры, соответствующие единице ($P_{\xi_1} = P_{\xi_2} = P_{\xi_3} = 1$) жестко привязываются к числовой отметке «1,5» (рис. 4), соответствующей максимально допустимому значению нормируемой погрешности (классу точности СИ или верхней границы полосы неопределенности) в момент времени наработки СИ на МО. Нулевое значение шкалы числовых значений вероятностной меры привязывается к значению погрешности ξ_{x_0} , полученной в результате измерений нормируемой по значению физической величины (ФВ) x_0 на момент календарного времени (07.05.2007) присвоения СИ класса точности или ввода его в эксплуатацию.

Установлена взаимосвязь расстояний между делениями вероятностной и метрической шкал, которая описывается уравнением (связи) величин $\Delta_{I_B} = \Delta_{I_B} n_M / n_B$,

где $\Delta_{\text{в}}$ и $\Delta_{\text{м}}$ – расстояния между соседними делениями вероятностной и метрической шкал; $n_{\text{м}}$ и $n_{\text{в}}$ – число делений вероятностной и метрической шкал.

Такое представление информации дает возможность по прогнозным функциям оценивать вероятность МО на любой момент времени эксплуатации СИ, причем для СИ разных групп и классов точности. По приведенной объединенной системе координат легко характеризовать метрологическую исправность СИ через числовые значения вероятностной меры.

Проблема 5. Оценка эффективности метрологической надежности СИ, реализующих разные методы измерений. Развитие ТМН в XXI веке будет направлено на решение задач оценки эффективности методов прямых и избыточных измерений физических величин в части обеспечения метрологической надежности СИ и СИИ. Это обусловлено созданием и развитием ТИИ, обеспечивающей проектирование и создание СИИ со сверхнадежностью, поскольку результат избыточных измерений является инвариантным к абсолютным значениям параметров НФП ИК и их отклонениям от номинальных значений, обусловленным воздействием внешних дестабилизирующих факторов на СИ.

Проблема 6. Определение параметров вероятностно-физических моделей метрологических отказов. Данная проблема решается и будет решаться по мере создания все новых вероятностно-физических моделей МО СИ с последующей оценкой МХ этих моделей. Новая стратегия развития ТМН в XXI веке включает в себя разработку методов и уравнений измерений не только параметров системной метрологической характеристики (СМХ), но и параметров вероятностно-физических моделей МО СИ каждой группы и класса точности с целью определения метрологического ресурса, других параметров МН СИ и СИИ.

Проблема 7. Поиск баз данных периодических поверок. Привязка вероятностно-физических моделей метрологических отказов к соответствующим группам средств измерений. После распада СССР возникла проблема поиска и восстановления баз данных периодических поверок СИ разных групп и класса точности. В Украине в начале XXI века исчезла практически вся информация о поверках СИ за последние 20–50 лет, в том числе и журналы периодических поверок. В связи с этим возникла и существует проблема поиска и восстановления баз данных периодических поверок СИ. Отсутствие данной информации о результатах поверок тормозит развитие ТМН и может отбросить назад на двадцать и более лет решение практических задач присвоения СИ той или иной группы и класса точности адекватной вероятностно-физической модели МО. Метрологические службы стран СНГ просто обязаны объединить свои усилия по восстановлению и созданию межгосударственных баз данных по периодическим поверкам СИ. Это облегчит решение проблем оценки метрологических ресурсов СИ, используемых в странах СНГ. В противном случае необходимо будет поставить на продолжительную (1–3 года) интенсивную прогонку (искусственное старение) СИ разных групп и классов точности, проводить их периодическую поверку с уменьшенными межповерочными интервалами, чтобы наверстать упущенное и иметь объективное

представление о распределении нормируемых погрешностей в течение времени наработки СИ до и на МО.

Проблема 8. Создание баз знаний. Создание баз знаний по МН современных СИ и СИИ разных групп и классов точности с привязанными к ним соответствующими вероятностно-физическими моделями МО также является одной из проблем ТМН. Следует создать межгосударственные базы знаний с привлечением не только стран СНГ, но и тех стран, у которых закупается современные СИ. Не исключена и разработка нормативных документов, регламентирующих права и обязанности стран-участников.

Проблема 9. Разработка методологии проектирования сверхнадежных средств избыточных измерений. Особенность новой стратегии измерений – возможность использования ее по двум направлениям. Первое направление – реализация новой стратегии измерений с помощью существующих СИ с нормированными характеристиками ИК. Такое решение задачи повышения точности измерений не решает задачу повышения метрологической надежности СИ, поскольку требует создания новых технических средств и дополнительного сопряжения их с используемым СИ.

Второе направление связано с созданием «собственных» СИИ с иными требованиями к стабильности параметров ИК. Исследования показали, что метрологическая сверхнадежность свойственна только цифровым СИИ, реализующим метод избыточных измерений.

В этой связи проблема разработки методологии проектирования сверхнадежных СИИ несомненно является актуальной. Она должна решаться с учетом особенностей измерения величин разной физической природы, особенностей воспроизведения нормированных по значению величин мерой, стандартными образцами состава веществ и свойств материалов и т. д.

Методология осветит основные принципы создания средств избыточных измерений и даст разработчикам ответ о закладываемых допустимых значениях показателей быстрейшего действия и нестабильности измерительных каналов.

По результатам разработки методологии будут разработаны соответствующие нормативные документы, регламентирующие ее использование и внедрение.

Проблема 10. Новые понятия и определения. Развитие любой физической теории сопровождается введением и использованием новых понятий и определений, свойственных только данной теории. В ТМН вводятся такие понятия, как: функция распределения нормированных МХ в течение времени наработки на МО [7–9]; метрологическая функция; метрологические числа; МХ системы «ОИ – СИИ» или системная МХ; понятие «уравнения связи свойств и параметров» или, сокращенно, «уравнение параметров», – по аналогии с фундаментальным понятием метрологии – «уравнение величин»; недоопределенная вероятность или метрологическая вероятность и другие. Они обогащают науку и показывают глубину теоретических исследований.

В частности, например, метрологическими функциями мы назвали функции распределения нормируемых погрешностей с указанием границ неопределенности (рис. 5).

Каждому значению времени наработки (т. е. аргумента) метрологической функции соответствует триединое числовое значение погрешности, – в виде метрологического числа, представляющего собой среднее значение погрешности результат измерений ФВ, а также значения верхней и нижней доверительных границ. При оценке метрологической исправности СИ по значениям метрологических функций значений вероятностной меры будут рассеянными в пределах полосы неопределенности метрологической функции.

Нулевая отметка шкалы вероятностных значений будет иметь неопределенное положение, т. е. будет плавающей и менять свое начальное положение в зависимости от полученного среднего значения погрешности ξ_{x0} (рис. 5).

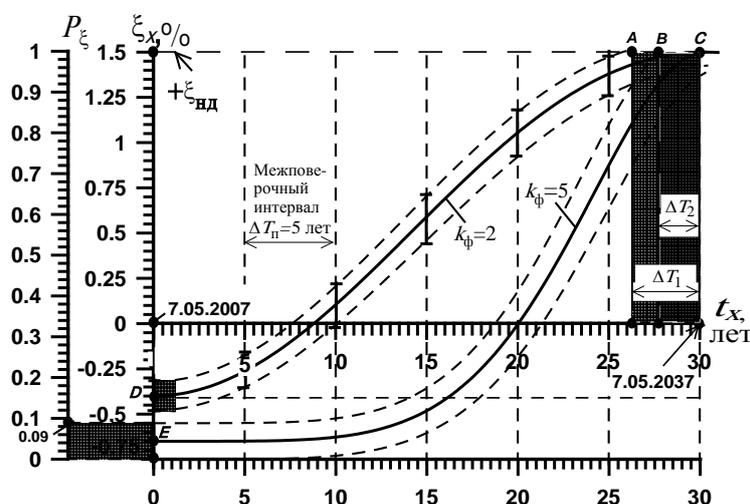


РИС. 5. Кривые метрологических функций в объединенной системе координат

Проблема 11. Проведения проверок в процессе искусственного старения средств измерений. Решение задачи привязки каждой вероятностно-физической модели МО к СИ той или иной группы и класса точности может быть намного облегчено, если знать предысторию изменения нормируемой погрешности в течение времени искусственного старения (прогонки) СИ.

В этой связи весьма актуальным является решение проблемы получения информации об изменениях (о динамике) нормируемых погрешностей не только в течение времени эксплуатации СИ, но и в течение времени искусственного старения (прогона) СИ. Эта проблема связана с необходимостью проведения первоначальных 3...5 проверок в течение времени искусственного старения (прогонки) СИ.

Значения погрешности измерения нормированной по значению ФВ x_0 вновь созданным СИ претерпевают, как известно, три этапа изменения.

1. Этап стабилизации или установления значений погрешности в пределах полосы неопределенности (с априори установленными и нормированными по значению доверительными границами) путем интенсивного искусственного старения (прогонки) СИ (до присвоения ему класса точности).

2. Этап изменения значений погрешности в течение первой половины или трех четвертей времени эксплуатации СИ в нормальных условиях, т. е. при относительно стабильных значениях параметров ФП ИК.

3. Этап изменения значений погрешности как результат многолетней деградации функциональных блоков и элементов СИ преимущественно за счет эксплуатации его в условиях, отличных от нормальных.

На рис. 6 представлены графики зависимости приведенной погрешности в течение всех трех промежутков времени эксплуатации СИ при значениях погрешностей разного знака. На практике вероятностно-физические модели МО приписываются, как правило, не одному, а определенной группе СИ того или иного класса точности (рис. 6).

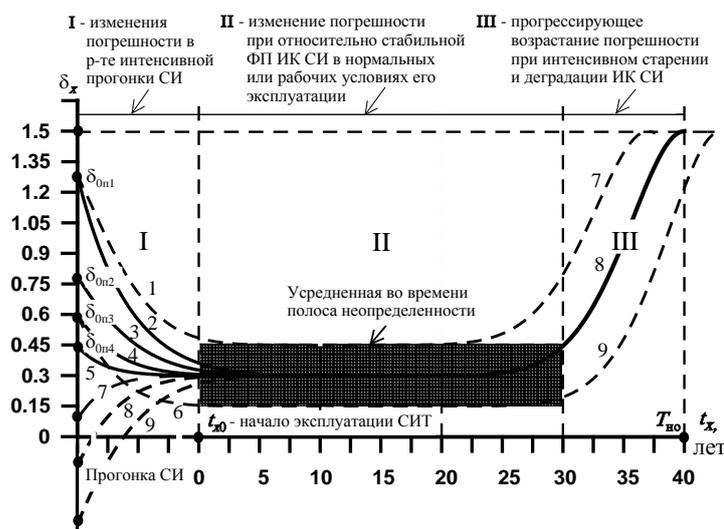


РИС. 6. Семейство кривых функций распределения Кондратова – Вейбулла

Поэтому результирующая ширина полосы неопределенности устанавливается гораздо шире, чем приведенная на рис. 5 (кривая при $k_{\phi} = 5$) без или с учетом дополнительных погрешностей. Следует узаконить необходимость проведения 3... 5 проверок СИ при осуществлении их прогона в условиях эксплуатации, близких к реальным, и фиксацию результатов проверок в паспорте на СИ.

Проблема 12. Создание программно-алгоритмического обеспечения задач теории метрологической надежности. Новая стратегия развития ТМН в XXI веке предполагает разработку собственного программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) задач МН СИИ, разработку методов и пакетов прикладных программ (ППП) по текущему контролю и прогнозированию МО СИИ, и своевременному оповещению пользователя, разработку ППП для баз знаний, экспертных систем и интеллектуальных интерфейсов. В рамках науки метрологии целесообразно подготовить своих профессионалов-программистов и математиков, которые бы хорошо знали основы и проблемы метрологии, измерительной техники. Привлечение сторонних специалистов не приводит к должному качеству ПАО задач МН СИИ и т. д.

Выводы. В XXI веке новая стратегия развития теории метрологической надежности будет развиваться на основе общенаучной методологии системного подхода и рассматривать объект исследований и средство измерений как органически единую измерительную (физическую) систему с учетом всего комплекса проблем на всех уровнях ее структурной организации и с учетом влияния факторов внешней среды.

Введение новых понятий и определений в данную теорию является свидетельством дальнейшего ее развития. Разработка философских аспектов теории метрологической надежности обогатит ее новыми законами, категориями, принципами и обеспечит формирование и становление на ее основе науки «метроники».

В новом тысячелетии теория метрологической надежности приобрела новое дыхание в своем развитии благодаря решению проблемы синтеза вероятностно-физических моделей метрологических отказов средств прямых и избыточных измерений.

Разработка правил синтеза вероятностно-физических моделей метрологических отказов является фундаментальным прорывом в теории метрологической надежности, обеспечивающим достаточно простой подход к решению задач синтеза прогнозных моделей и определения времени наработки средств измерений на метрологический отказ.

Синтез вероятностно-физических моделей метрологических отказов обеспечивает решение метрологических задач определения параметров метрологической надежности средств измерений: получение уравнений измерений параметров вероятностно-физических моделей метрологических отказов средств измерений, оценку неопределенности результатов прогнозирования, определения времени наработки на метрологический отказ и т. д.

Приписывание созданных и создаваемых вероятностно-физических моделей метрологических отказов к средствам измерений определенной группы и класса точности является важнейшей конечной целевой функцией теории метрологической надежности.

Новый вклад в метронику внесет и предложенная форма представления информации о метрологической исправности средств измерений в объединенной системе координат, связывающей шкалу значений нормируемых погрешностей со шкалами значений вероятностной меры.

Установлена взаимосвязь между делениями вероятностной и метрической шкал, подтверждающая физический смысл вероятностной меры и возможность рассмотрения

ее как безразмерной зависимой физической величины, характеризующей метрологический отказ средства измерений.

Дальнейшее развитие теории метрологической надежности невозможно без оценки эффективности метрологической надежности средств измерений, реализующих методы прямых и избыточных измерений.

Создание баз знаний приписанных вероятностно-физических моделей метрологических отказов к средствам измерений упрощает процесс прогнозирования и оценки метрологической исправности средств измерений в течение его эксплуатации.

Разработка методологии проектирования сверхнадежных средств избыточных измерений также является целевой функцией теории метрологической надежности и всей науки метрологии.

Решение проблемы получения информации о динамике (о предыстории) нормируемых погрешностей не только в течение времени эксплуатации СИ, но и в течение времени его искусственного старения (интенсивного прогона) упрощает задачу синтеза полного ряда вероятностно-физических моделей МО.

Программно-алгоритмическое обеспечение задач метрологической надежности средств будет выполняться специалистами-метрологами, а не только математиками или программистами. Знания теории измерений и теории метрологической надежности средств измерений обеспечит успешное и эффективное решение указанных задач.

1. *Кондратов В.Т.* Про чистоту технічної мови спілкування та обміну думками в метрології і вимірювальній техніці. – Київ, 2002. – 59 с. – (Препр. / НАН України, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; 2002 – 7).
2. *Кондратов В.Т.* Стратегічна теорія XXI століття // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 2. – С. 11–16.
3. *Кондратов В.Т.* Теорія избыточних измерень // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7–24.
4. *Кондратов В.Т.* Новая стратегия измерений // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – № 2. – С. 35–41.
5. *Кондратов В.Т.* Философские аспекты теории избыточных измерений // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – № 2. – С. 21–44.
6. *Кондратов В.Т., Сахнюк И.А.* Особенности и состояние проблемы метрологической надежности средств измерений // Украинский метрологический журнал. – 2007. – № 2. – С. 10–14.
7. *Проблемы онтологии и теории познания.* www/fos.ru/filosofy/12694.html.
8. *Кондратов В.Т.* Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Вейбулла // Вісник Хмельницького національного ун-ту. Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 101–113.
9. *Кондратов В.Т.* Теория метрологической надежности: экспоненциальная функция распределения В.Т. Кондратова и функция распределения Кондратова – Лапласа // Вісник Хмельницького національного ун-ту. Технічні науки. – 2008. – № 6. – С. 43–55.
10. *Кондратов В.Т.* Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Коши // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 2. – С. 23–31.

Получено 01.06.2009