

ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ И СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. СООБЩЕНИЕ 2

В настоящем сообщении рассматриваются философские аспекты сверхизбыточных измерений, приводятся новые понятия и определения, излагается свойство эргодичности динамических измерительных систем.

Работа представляет интерес для ученых-метрологов, специалистов, магистров и аспирантов.

Ключевые слова: теория избыточных и сверхизбыточных измерений, статистический ансамбль уравнений избыточных измерений, эргодические свойства.

V.T. KONDRATOV

V.M. Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

THE THEORY OF REDUNDANT AND SUPERREDUNDANT MEASUREMENTS: PHILOSOPHICAL ASPECTS OF SUPERREDUNDANT MEASUREMENTS. THE MESSAGE 2

Abstract — In article philosophical aspects of the theory of redundant and superredundant measurements are considered. New terms and definitions are entered into the theory of redundant and superredundant measurements.

Definitions are given such concepts, as «the redundant measurements equation», «ensemble of the redundant measurements equations», «statistical ensemble of the redundant measurements equations», «metrological combinatory problems», «a similarity principle», «the principle of ergodicity», «dynamic measuring systems», «strategy of superredundant measurements», «the decision of metrological problems», «rules of a conclusion of the redundant measurements equations» and another.

It is shown, that on the one hand the redundant measurements equation is the formalized description in a general view of result of redundant measurements of required physical quantities or parameters of transformation function of the measuring channel in the form of natural communications between the physical quantities entering into system of the quantities equations, measuring system describing a condition. On the other hand, the redundant measurements equation is the law characterizing property of measuring system to define the valid value of physical quantities at unitary or repeated influences on its input the numbers of physical quantities which sizes are connected among themselves under a priori set law.

Return (metrological) problems — problems of definition (restoration) not only the actual or true value of physical quantity, but also values of parameters of transformation function on reaction of the measuring channel on entrance influence at unknown values of parameters, but a known kind of its function of transformation.

Alternative measurements — the multiple redundant multiple redundant and superredundant measurements providing the decision of metrological problems and problems of definition of quasi-true and true value of physical quantities.

Such categories are entered into the theory of redundant and superredundant measurements, as ensemble of the redundant measurements equations, ensemble of the numerical values equations, statistical ensemble of the redundant measurements equations, statistical ensemble of the numerical values equations, statistical ensemble of metrological problems decisions and others.

It is shown, that metrological combinatory problems — search problems by the set criteria and calculation of the every possible generated ensembles of the redundant measurements equations, the numerical values equations, results of redundant measurements, numbers of measured physical quantities, etc. for the purpose of maintenance of high quality of an end result of measurements.

Following definition is made of a similarity principle: «the phenomena of one physical nature, objects and processes of one class and their condition are called as similar, if certain criteria of their similarity among themselves (similarity numbers)» are a priori known or established.

The private formulation of ergodicity principle for superredundant measurements is given: «averaging in time of ensemble of results of the repeated redundant measurements received on the basic (base) redundant measurements equation from partially excluded stationary casual making error of measurement, can be replaced by averaging on ensemble of superredundant measurements results».

The dynamic measuring system — the system possessing a condition is ascertained, that, which is authentically described by system of the nonlinear or linear equations of the sizes representing function of transformation of the measuring channel (one or several) and the law of change (evolution) in time of values of its parameters concerning the nominal.

According to ergodicity hypothesis the dynamic measuring systems realising methods of superredundant measurements, are ergodics as they provide reception of superredundant measurements result as an average on time value of the required physical size received at repeated measurements of set numbers of physical sizes and as the average statistical value of required physical quantities received on ensemble of the redundant measurements equations.

It is established, that exists three mechanisms of use of ergodic property a casual stationary process: the mechanism of direct action, return action and joint action. An appropriate clarification are given.

Thus, the theory of redundant and superredundant measurements was enriched with new terms and the definitions expanding our representation about it and providing unity of knowledge of its essence.

Введение

В 2001 году во втором номере журнала «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» опубликована научная статья, в которой было публично заявлено о создании и развитии новой стратегии измерений, — стратегия избыточных измерений, в основу которой положена общенаучная методология системного подхода и информативной избыточности.

Теория избыточных измерений физических величин, как известно, обеспечивает не только автоматическое исключение погрешностей результата измерений при нелинейной в общем случае и нестабильной функции преобразования (сенсора, измерительного преобразователя или измерительного канала в целом) известного вида, но с неизвестными значениями параметров, при сохранении высокой

чувствительности сенсора, но и определение текущих значений параметров функции преобразования измерительного канала (одного или нескольких). Это делает данную теорию безальтернативной, стратегически важной, достойной внимания, совершенствования и развития. Только она обеспечивает решение не только измерительных, но и метрологических задач.

Двенадцатилетний период развития теории и методов избыточных измерений знаменателен тем, что в результате теоретических исследований и решения метрологических задач удалось обнаружить новые свойства и особенности избыточных измерений. В апреле-мае 2013 года автором было выделено и получило развитие новое научное направление — сверхизбыточные измерения.

Явление сверхизбыточных измерений — проявление закона перехода количества в качество (закона достижения нового качества) вследствие естественного развития измерительного процесса, направленного на многократное получение действительных значений физической величины неизвестного размера и текущих параметров функции преобразования измерительного канала путем увеличения числа дополнительно преобразуемых физических величин, в том числе и воспроизводимых эталоном, мерой или стандартным образцом свойств и состава веществ и материалов, проведения ограниченной многократности измерительного преобразования этих величин, формирования одного или нескольких ансамблей уравнений избыточных измерений (уравнений числовых значений) той или иной физической величины, их статистической обработки и на получение, в конечном счете (с использованием принципа подобия), квазиистинного и/или истинного значения данной физической величины.

Данное сообщение является вторым из серии статей, посвященных новому научному направлению в теории избыточных измерений — сверхизбыточным измерениям.

Объект исследований – процессы избыточных измерений, происходящие в динамических измерительных системах.

Предмет исследований – процессы сверхизбыточных измерений и их особенности.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с сущностью сверхизбыточных измерений, без которых невозможно определение квазиистинных и истинных значений физических величин.

Результаты исследований

В основу исследований теории сверхизбыточных измерений было положено рассмотрение философских аспектов теории, новых понятий и определений, свойств эргодичности динамических измерительных систем.

1. Философские аспекты

В сообщении 1 [1] приведены новые термины и определения, используемые в теории избыточных и сверхизбыточных измерений, в частности: «блок закономерностей», «субблок», «группа» и «подгруппа» уравнений избыточных измерений, «сверхизбыточность», «сверхизбыточные измерения». Приведено новое определение понятия «истинное значение физической величины», уточнены определения понятий «правило», «информационный взрыв», «качественный скачок». На этом философские аспекты избыточных и сверх-избыточных измерений не исчерпываются. Ниже приводятся новые понятия, термины и определения.

1.1. Уравнение избыточных измерений

В теории избыточных измерений состояние измерительной системы в дискретные моменты времени описывается системой линейных или нелинейных уравнений величин, связывающих между собой входные и выходные величины, а также параметры известной по виду функции преобразования измерительного канала.

В качестве примера можно привести систему линейных уравнений величин, которая описывает состояние измерительной системы «ОИ – СИИ¹» в дискретные моменты времени:

а) при проведении однократных измерительных преобразований рядов физических величин —

$$\left. \begin{aligned} U'_1 &= S'_n x_1 = S'_n x_{00} = \Delta U', \\ U'_2 &= S'_n x_2 + \Delta U' = S'_n x_0 + \Delta U', \\ U'_3 &= S'_n x_3 + \Delta U' = S'_n x_i + \Delta U', \\ U'_4 &= S'_n x_4 + \Delta U' = S'_n (x_i + x_0) + \Delta U', \\ U'_5 &= S'_n x_5 + \Delta U' = S'_n \Delta x_0 + \Delta U', \\ U'_6 &= S'_n x_6 + \Delta U' = S'_n (x_i + \Delta x_0) + \Delta U'; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

б) при проведении многократных измерительных преобразований рядов физических величин —

¹ «объект измерений — средство избыточных измерений»

$$\left. \begin{aligned} \overline{U}'_1 &= \overline{S}'_n x_1 = \overline{S}'_n x_{00} = \overline{\Delta U}', \\ \overline{U}'_2 &= \overline{S}'_n x_2 + \overline{\Delta U}' = \overline{S}'_n x_0 + \overline{\Delta U}', \\ \overline{U}'_3 &= \overline{S}'_n x_3 + \overline{\Delta U}' = \overline{S}'_n x_i + \overline{\Delta U}', \\ \overline{U}'_4 &= \overline{S}'_n x_4 + \overline{\Delta U}' = \overline{S}'_n (x_i + x_0) + \overline{\Delta U}', \\ \overline{U}'_5 &= \overline{S}'_n x_5 + \overline{\Delta U}' = \overline{S}'_n \Delta x_0 + \overline{\Delta U}', \\ \overline{U}'_6 &= \overline{S}'_n x_6 + \overline{\Delta U}' = \overline{S}'_n (x_i + \Delta x_0) + \overline{\Delta U}', \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где штрихом обозначены величины и параметры, значения которых отличаются от номинальных, т.е. имеют погрешность, а черточка над обозначением означает среднее значение величины или параметра.

Решением системы уравнений величин является уравнение избыточных измерений. Его вывод осуществляется относительно любой измеряемой физической величины и/или текущих параметров функции преобразования. Это решение выражается через образцовые, входные и выходные физические величины, входящие в систему. Уравнение избыточных измерений может быть представлено в виде уравнения числовых значений. Оно в общем виде отображает совокупность операций, обеспечивающих определение (вычисление) числового значения измеряемой физической величины при известных значениях входящих в него результатов измерительных преобразований рядов физических величин и априори известных значений образцовых величин.

Определение 1

Уравнение избыточных измерений — это формализованное описание в общем виде результата избыточных измерений искомой физической величины или параметров функции преобразования измерительного канала в виде закономерных связей между физическими величинами, входящими в систему уравнений величин, описывающей состояние измерительной системы.

Причем формализованное описание закономерных связей осуществляется посредством принятых в физике системы символов, обозначений и диакритических знаков.

Определение 2

Уравнение избыточных измерений — это закономерность, характеризующая свойство измерительной системы реагировать на однократные или многократные воздействия на ее вход рядов физических величин, размеры которых связаны между собой по априори заданному закону, и определяющая действительное значение физической величины.

Уравнение избыточных измерений является результатом решения системы линейных или нелинейных уравнений величин, его следствием. Оно зависит от закономерных связей между величинами, но инвариантно к состоянию измерительной системы в текущий момент времени. Уравнение избыточных измерений описывает не только детерминированные связи между величинами и параметрами функции преобразования измерительного канала, но и между усредненными по значению физическими величинами и параметрами.

Заметим, что усредненные результаты избыточных измерений получают после статистической обработки данных многократных измерительных преобразований рядов физических величин или ансамбля результатов избыточных измерений. Последний получают после обработки данных по уравнениям избыточных измерений. В первом случае система уравнений величин, описывающая состояние измерительной системы, имеет вид (2). Во втором — это ансамбль числовых значений физических величин, полученных путем усреднения не уравнений величин, а уравнений числовых значения результатов избыточных измерений.

Средние величины получают путем многократных измерительных преобразований статистически достоверной совокупности физических величин и характеризуются как средним значением, так и среднеквадратической погрешностью.

1.2. Новые категории теории избыточных и сверхизбыточных измерений, образующие ее каркас

Дополнительно к категориям «блок (множество) решений или блок закономерностей», «субблок (подмножество) решений или субблок закономерностей», «группа решений или группа уравнений избыточных измерений» и «подгруппа решений или подгруппа уравнений избыточных измерений» вводится категории: «ансамбль уравнений избыточных измерений (решений системы)», «ансамбль уравнений числовых значений», «ансамбль конечных результатов», «статистический ансамбль физической системы», «статистический ансамбль уравнений числовых значений» и «статистический ансамбль решений метрологических задач».

1.2.1. Ансамбль уравнений избыточных измерений

Определение 1

Ансамбль уравнений избыточных измерений — это слаженная совокупность уравнений избыточных измерений, образующая гармоничное целое и отвечающая определённым критериям¹ отбора.

К критериям отбора можно отнести: конфигурацию (структуру) уравнений избыточных измерений,

¹ Критерий — признак, основание, правило принятия решения по оценке чего-либо на соответствие предъявленным требованиям (мере) [2].

состояние, характеризуемое текущими значениями параметров функции преобразования измерительного канала, закон распределения погрешностей правых частей уравнений, средняя квадратичная погрешность результата измерений, доверительные границы и другие.

Отметим, что ансамбли уравнений избыточных измерений одинаковой конфигурации (структуры) могут отличаться между собой состоянием, определяемым совокупностью физических величин, входящих в их состав. Ансамбли с одинаковыми состояниями могут различаться между собой по закону распределения дисперсии конечного результата. Ансамбли уравнений избыточных измерений с одинаковыми законами распределения дисперсии конечного результата могут различаться как по структуре, так и по состоянию.

1.2.2. Ансамбль уравнений числовых значений

Определение

Ансамбль уравнений числовых значений — это совокупность уравнений избыточных измерений, представленная через числовые значения входных и выходных физических величин, образующая гармоничное целое и отвечающая определённым критериям отбора.

1.2.3 Ансамбль конечных результатов

Определение

Ансамбль конечных результатов — это гармоническая совокупность результатов избыточных измерений, отвечающая установленным ранее критериям отбора уравнений избыточных измерений (уравнений числовых значений) искомой физической величины или параметра функции преобразования измерительного канала.

1.2.4. Статистический ансамбль физической системы

Определение (согласно [3])

Статистическим ансамблем физической системы называется набор всевозможных состояний данной системы, отвечающих определённым критериям.

1.2.5. Статистический ансамбль уравнений избыточных измерений

Определение

Статистическим ансамблем уравнений избыточных измерений называется конечная статистически достоверная совокупность уравнений, подобранная по определённым критериям.

1.2.6. Статистический ансамбль решений метрологических задач

Решение задач — процесс выполнения действий или мыслительных операций, направленный на достижение цели, заданной в рамках решаемой задачи; является составной частью мышления [4].

Определение

Статистический ансамбль решений метрологических задач — набор статистически достоверной совокупности всевозможных решений системы уравнений величин, описывающих состояние измерительной системы в дискретные моменты времени, отвечающий определённым критериям.

Решения системы уравнений величин могут быть представлены как в виде уравнений избыточных измерений, так и в виде уравнений числовых значений.

Необходимо помнить, что при определении действительных значений физических величин некорректное округление результатов измерительных преобразований используемых рядов физических величин и конечных результатов избыточных измерений приводит к дополнительным погрешностям.

1.2.7. Категории прямых и обратных задач измерений

Прямая задача — задача нахождения, а обратная — задача восстановления значения физической величины.

Деление задач на прямые и обратные обусловлено причинно-следственной связью, описываемой функцией преобразования измерительного канала.

Методы прямых измерений решают прямые измерительные задачи, а методы избыточных измерений — обратные задачи, которые в метрологии называются метрологическими задачами.

Определение

Прямые (измерительные) задачи — задачи определения (нахождения) действительного значения физической величины по реакции измерительного канала (средства измерений) на входное воздействие при известных значениях параметров его функции преобразования.

Это задачи нахождения следствий по известным причинам [6]. В прямых измерительных задачах изучается эволюция погрешностей во времени, поскольку они связаны с изменениями параметров функции преобразования измерительного канала во времени.

Определение

Обратные (метрологические) задачи — задачи определения (восстановления) не только действительного или истинного значения физической величины, но и значений параметров функции преобразования по реакции измерительного канала на входные воздействия при неизвестных значениях параметров, но известном виде его функции преобразования.

Эти задачи связаны с обращением причинно-следственной связи — отысканием неизвестных причин¹ по известным следствиям² [7].

Расширенное определение обратной метрологической задачи приведено в работе [8]:

¹ т.е. параметров функции преобразования

² по результатам измерительного преобразования физических величин

метрологическая задача — задача определения значений физической величины и текущих значений параметров функции преобразования измерительного канала путем однократного или многократного измерительного преобразования нескольких рядов физических величин с требуемой точностью и в данных условиях измерений, дополненная операциями вычислительной обработки результатов промежуточных преобразований согласно априори выведенным уравнениям избыточных измерений и предусматривающая определение метрологических характеристик и параметров метрологической надежности.

Обратные задачи — это задачи определения (восстановления) параметров модели путем сопоставления наблюдаемых данных и результатов моделирования. В математике эту процедуру называют идентификацией математической модели [7].

В избыточных измерениях изучается эволюция погрешностей результата избыточных измерений от изменения вида уравнений избыточных измерений и/или в результате изменения во времени состояния и метрологических характеристик используемой меры (или стандартного образца).

1.2.8. Решение метрологических задач

Понятию «решение метрологических задач» дадим следующее определение, с учетом [4].

Определение

Решение метрологических задач — процесс выполнения действий или мыслительных операций, направленный на решение систем уравнений величин, описывающих состояние измерительной системы, и на получение уравнений избыточных измерений физических величин и параметров функции преобразования измерительного канала в рамках поставленной задачи.

Процесс решения задач является наиболее сложной из всех функций интеллекта и определяется как когнитивный процесс более высокого порядка, требующий согласования и управления более элементарными или фундаментальными навыками [4].

1.3. Альтернативные измерения

Определение

Альтернативные измерения — многовариантные (избыточные и сверхизбыточные) измерения, противопоставляемые прямым измерениям и обеспечивающие решение метрологических задач и задач определения квазиистинного и истинного значения физических величин.

В альтернативных методах результат измерений вычисляется по уравнениям избыточных или сверхизбыточных измерений. Данные методы всегда предусматривают использование одной или нескольких опорных физических величин принятого значения.

1.4. Эквивалентная физическая величина принятого значения

При избыточных и сверхизбыточных измерениях возникает необходимость в использовании опорной (нормированной по значению) физической величины, воспроизведение которой с требуемыми характеристиками, — средним значением и дисперсией (или стандартной неопределенностью) при помощи одной меры (или стандартного образца) затруднительно или не возможно. В этом случае используется набор или магазин мер (стандартных образцов), воспроизводящий физическую величину принятого значения по ее слагаемым значениям.

Определение

Эквивалентная физическая величина принятого значения — физическая величина, воспроизводимая измерительной системой, набором или магазином материальных мер, стандартных образцов или другими техническими средствами, равнозначная по характеристикам опорной и заменяющая ее.

1.5. Метрологические комбинаторные задачи

В математике существует целое направление, называемое комбинаторикой, которое изучает комбинаторные задачи в целом и в некоторых частных приложениях. В метрологии изучению комбинаторных задач еще не уделяется должного внимания, хотя и здесь существует своя специфика подходов к решению измерительных задач. На сегодня известны комбинаторно-логические методы решения задачи структурного синтеза в системах автоматизированного проектирования [5], методы решения задачи взвешивания на рычажных весах с использованием различных наборов гирь, методы решения задачи аналого-цифрового преобразования с использованием разных способов или алгоритмов аналого-цифрового преобразования [6] и другие. При этом интерес представляют «оптимальные» или наилучшие по принятому критерию алгоритмы, например, аналого-цифрового преобразования сигналов. В преобразовательной технике проблемой синтеза оптимальных алгоритмов аналого-цифрового преобразования занимался проф. А. Стахов.

В теории избыточных и сверхизбыточных измерений существуют метрологические задачи, которые также имеют несколько разных вариантов решения. Чтобы сделать правильный выбор, важно не упустить ни один из вариантов. Для этого необходимо уметь осуществлять перебор всех возможных вариантов и подсчитывать их число. Задачи, требующие такого подхода к их решению, будем называть метрологическими комбинаторными задачами.

Определение

Метрологические комбинаторные задачи — задачи перебора по заданным критериям и подсчета всевозможных сформированных ансамблей уравнений избыточных измерений, уравнений числовых значений, результатов избыточных измерений, рядов измеряемых физических величин и т.п. с целью обеспечения высокого качества конечного результата измерений.

1.6. Принцип (закон) подобия*Определение*

Явления одной физической природы, объекты и процессы одного класса и их состояния называются подобными, если априори известны или установлены определенные критерии их сходства между собой (числа подобия).

Принцип подобия — основной закон природы, который характеризует существование между подобными объектами или явлениями особой связи — закономерности.

Используемый в сверхизбыточных измерениях принцип (закон) подобия является составной частью методологии моделирования и определения истинного значения искомой физической величины.

В последующих работах будет показано, что основной метод установления истинного значения искомой физической величины базируется на принципе подобия.

1.7. Принцип эргодичности*Определение 1 (общее)*

Для стационарных случайных процессов усреднение во времени эквивалентно усреднению по ансамблю.

Определение 2 (частное — для сверхизбыточных измерений)

Усреднение во времени ансамбля результатов многократных избыточных измерений, полученных по основному (базовому) уравнению избыточных измерений с частично исключенной стационарной случайной составляющей погрешности измерения, может быть заменено усреднением по ансамблю результатов сверхизбыточных измерений.

Отметим, что ансамбль из n результатов сверхизбыточных измерений получают из ансамбля n уравнений избыточных измерений путем вывода и перебора по заданному критерию всевозможных решений системы нелинейных или линейных уравнений величин, описывающей состояние измерительной системы.

В избыточных и сверхизбыточных измерениях широко используется усреднение по времени и усреднение по ансамблю результатов измерительного преобразования рядов физических величин и конечных результатов избыточных измерений, полученных в дискретные моменты времени. Это свидетельствует о важности принципа эргодичности для избыточных и сверхизбыточных измерений.

2. Динамические измерительные системы*Определение [7, 8]*

Динамическая система — любой объект или процесс, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности физических величин и параметров в данный момент времени и задан закон, который описывает изменение (эволюцию) начального состояния с течением времени.

Определение динамической измерительной системы

Динамическая измерительная система — система, обладающая состоянием, которое достоверно описывается системой нелинейных или линейных уравнений величин, представляющих собой функцию преобразования измерительного канала (одного или нескольких) и законом изменения (эволюции) во времени значений ее параметров относительно номинальных.

Математическая модель динамической измерительной системы описывает, в целом, динамику процесса измерений и процесс перехода системы из одного состояния в другое под воздействием каких-либо причин. *Фазовое пространство системы* — совокупность всех допустимых состояний динамической системы, т.е. значений параметров функции преобразования измерительного канала (одного или нескольких). В целом математическая модель динамической системы характеризуется своим начальным состоянием, т.е. номинальными значениями параметров функции преобразования и законом, по которому система переходит из начального состояния в другие.

В зависимости от степени сложности измерительной системы данный закон может быть детерминированным или вероятностным. Он описывает характер изменения параметров функции преобразования, и, следовательно, метрологических характеристик системы только во времени, только в пространстве, а может описывать и пространственно-временные изменения.

Различают динамические измерительные системы с непрерывным временем и системы с дискретным временем преобразования физических величин и обработки данных.

3. Эргодические динамические системы

В статистической физике существует эргодическая гипотеза¹, которая состоит в предположении, что средние по времени значения физических величин, характеризующих ту или иную систему, равны их средним статистическим значениям [9]. Физические системы и протекающие в них процессы, для которых справедлива эргодическая гипотеза, называются эргодическими [10].

Исходя из данной гипотезы, можно утверждать, что динамические измерительные системы, реализующие методы сверхизбыточных измерений, являются эргодическими, поскольку они обеспечивают получение результата сверхизбыточных измерений как среднее по времени значение искомой физической величины, полученное при многократных измерениях заданных рядов физических величин, так и как среднее статистическое значение искомой физической величины, полученное по ансамблю уравнений избыточных измерений.

¹ Предложена Л. Больцманом в 1887 для обоснования *статистической физики*.

Система нелинейных или линейных уравнений величин, описывающая процесс избыточных измерений и, соответственно, состояние измерительной системы в дискретные моменты времени, представляет собой как с математической, так и с физической точки зрения динамическую систему с дискретным временем. В динамических системах с дискретным временем, поведение системы (или траектория системы в фазовом пространстве) описывается последовательностью состояний. Такая система обладает свойством эргодичности, состоящем в том, что в процессе старения и деградации элементов системы почти каждое состояние измерительной системы, определяемое отклонением параметров функции преобразования от номинальных значений, с определённой вероятностью проходит вблизи любого другого состояния этой системы.

Измерительная система, в которой фазовые средние совпадают с временными, называется эргодической [11, 12]. Это объясняется тем, что изменения параметров функции преобразования измерительного канала в результате действия дестабилизирующих факторов, происходят непрерывно во времени и преимущественно по случайному закону. Он и предопределяет характер изменения случайной составляющей погрешности.

Преимуществом эргодических динамических систем является то, что при достаточном времени наблюдения такие системы можно описывать статистическими методами.

Доказательство того, что реальные системы, в том числе и измерительные, являются эргодическими, — очень сложная и еще не решенная проблема [9]. Ее решением занимается математическая эргодическая теория, которая изучает, при каких условиях средние по времени для динамических систем равны средним статистическим (по ансамблю).

Для эргодических измерительных систем, реализующих методы сверхизбыточных измерений, математическое ожидание или среднее значение результатов избыточных измерений, определяемое уравнением избыточных измерений и полученное от измерения к измерению, т.е. по временным рядам, должно совпадать с математическим ожиданием по пространственным рядам, т.е. с результатами, полученными для ансамбля уравнений избыточных измерений при разных наборах физических величин, а также с результатом усреднения полученного множества в пространстве.

Применительно к метрологическим задачам статистической обработки значений физической величины со стационарной случайной составляющей погрешности измерений также выполняется свойство эргодичности. Оно заключается в том, что с вероятностью, близкой к единице, статистическое усреднение значений физической величины, полученных от n уравнений числовых значений, можно заменить усреднением по времени n значений физической величины, полученных от одного уравнений числовых значений, но при достаточно продолжительном времени измерения этой величины.

Существует три механизма использования свойства эргодичности случайного стационарного процесса:

1) прямого действия (при сверхизбыточных измерениях) — при исследованиях группы уравнений избыточных измерений искомой физической величины. В этом случае экспериментальное определение вероятностных характеристик результатов многократных измерений физической величины (с не исключенной стационарной составляющей погрешности) на большом отрезке времени заменяется экспериментом на множестве однотипных уравнений избыточных измерений. Предполагается, что статистическое усреднение значений случайной величины, полученных в течение большого промежутка времени, эквивалентно усреднению по ансамблю однотипных уравнений избыточных измерений;

2) обратного действия (при избыточных измерениях) — при достаточном времени исследований. В этом случае экспериментальное определение вероятностных характеристик результатов многократных измерений физической величины (с не исключенной стационарной составляющей погрешности) с использованием большого количества однотипных уравнений избыточных измерений заменяется экспериментом на одном из них, но в течение достаточно длительного промежутка времени. Предполагается, что усреднение случайной величины по ансамблю однотипных уравнений избыточных измерений эквивалентно усреднению по времени в пределах одного уравнения избыточных измерений, но при достаточно большом количестве числовых значений этой величины, полученных со временем;

3) совместного действия (при сверхизбыточных измерениях) — при повышении быстродействия средств избыточных измерений. В этом случае экспериментальное определение погрешностей результатов сверхизбыточных измерений проводится на одном средстве избыточных измерений с использованием ансамбля уравнений избыточных измерений, полученного в течение интервала времени, меньшего по продолжительности, чем при избыточных измерениях.

Таким образом, теория избыточных и сверхизбыточных измерений обогатилась новыми терминами и определениями, расширяющими наше представление о ней и обеспечивающими единство познания ее сущности.

Выводы

В теорию избыточных и сверхизбыточных измерений введены новые термины и определения.

Даны определения таким понятиям, как «уравнение избыточных измерений», «ансамбль уравнений избыточных измерений», «статистический ансамбль уравнений избыточных измерений», «метрологические комбинаторные задачи», «принцип подобия», «принцип эргодичности», «динамические измерительные

системы», «стратегия сверхизбыточных измерений», «решение метрологических задач», «правила вывода уравнений избыточных измерений» и другим.

Показано, что с одной стороны уравнение избыточных измерений — это формализованное описание в общем виде результата избыточных измерений искомой физической величины или параметров функции преобразования измерительного канала в виде закономерных связей между физическими величинами, входящими в систему уравнений величин, описывающей состояние измерительной системы. С другой стороны, уравнение избыточных измерений — это закономерность, характеризующая свойство измерительной системы определять действительное значение физической величины при однократных или многократных воздействиях на ее вход рядов физических величин, размеры которых связаны между собой по априори заданному закону.

Обратные (метрологические) задачи — задачи определения (восстановления) не только действительного или истинного значения физической величины, но и значений параметров функции преобразования по реакции измерительного канала на входные воздействия при неизвестных значениях параметров, но известном виде его функции преобразования.

Альтернативные измерения — противопоставляемые прямым многовариантные избыточные и сверхизбыточные измерения, обеспечивающие решение метрологических задач и задач определения квазиистинного и истинного значения физических величин.

В теорию избыточных и сверхизбыточных измерений введены такие категории, как ансамбль уравнений избыточных измерений, ансамбль уравнений числовых значений, статистический ансамбль уравнений избыточных измерений, статистический ансамбль уравнений числовых значений, статистический ансамбль решений метрологических задач и другие.

Показано, что метрологические комбинаторные задачи — задачи перебора по заданным критериям и подсчета всевозможных сформированных ансамблей уравнений избыточных измерений, уравнений числовых значений, результатов избыточных измерений, рядов измеряемых физических величин и т.п. с целью обеспечения высокого качества конечного результата измерений.

Дано следующее определение принципу подобия: «явления одной физической природы, объекты и процессы одного класса и их состояния называются подобными, если априори известны или установлены определенные критерии их сходства между собой (числа подобия)».

Дана частная формулировка принципа эргодичности для сверхизбыточных измерений: «усреднение во времени ансамбля результатов многократных избыточных измерений, полученных по основному (базовому) уравнению избыточных измерений с частично исключенной стационарной случайной составляющей погрешности измерения, может быть заменено усреднением по ансамблю результатов сверхизбыточных измерений».

Констатируется, что динамическая измерительная система — система, обладающая состоянием, которое достоверно описывается системой нелинейных или линейных уравнений величин, представляющих собой функцию преобразования измерительного канала (одного или нескольких) и законом изменения (эволюции) во времени значений ее параметров относительно номинальных.

В соответствии с эргодической гипотезой динамические измерительные системы, реализующие методы сверхизбыточных измерений, являются эргодическими, поскольку они обеспечивают получение результата сверхизбыточных измерений как среднее по времени значение искомой физической величины, полученное при многократных измерениях заданных рядов физических величин, так и как среднее статистическое значение искомой физической величины, полученное по ансамблю уравнений избыточных измерений.

Установлено, что существует три механизма использования свойства эргодичности случайного стационарного процесса: механизм прямого действия, обратного действия и совместного действия. Приведены соответствующие пояснения.

Работа представляет интерес для ученых-метрологов, специалистов, магистров и аспирантов.

Литература

1. Теория избыточных измерений: сверхизбыточные измерения — второй качественный скачок в фундаментальной метрологии. Сообщение 1/ В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2013.— № 4. — С. 222-229.
2. Критерий. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9>
3. Статистический ансамбль. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BB%D1%8C.
4. Решение задач. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87.
5. Что такое прямые и обратные задачи. Режим доступа: <http://mathemlib.ru/books/item/f00/s00/z0000013/st004.shtml>.
6. Математическое моделирование и обратные задачи. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n>

/matematicheskoe-modelirovanie-i-obratnye-zadachi].

7. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач при линейной функции преобразования измерительного канала. Сообщение 1.1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012.– № 4. – С. 125-137.

8. Структурный синтез как задача дискретной оптимизации. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/158337.html>.

9. Две знаменитые задачи Фибоначчи. Режим доступа: http://www.goldenmuseum.com/1001TwoProblems_rus.html.

10. Динамические системы (Анищенко В.С., 1997), Физика. Режим доступа: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/437.html>].

11. Динамические системы. Режим доступа: http://sins.xaos.ru/pdf/articles/articles_r043.pdf

12. Эргодическая гипотеза. Режим доступа: <http://slovari.yandex.ru/~%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B8/%D0%91%D0%A1%D0%AD/%D0%AD%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0/>.

13. Эргодическая теория. Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3055/%D0%AD%D0%A0%D0%93%D0%9E%D0%94%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%90%D0%AF.

14. Эргодичность. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>.

15. Свойство — эргодичность. Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id412867pl.html>.

References

1. Teorija izbytochnykh izmerenij: sverkhizbytochnye izmerenija — vtoroj kachestvennyj skachok v fundamentalnoj metrologii. Soobshhenie 1/ V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkiego naczionalnogo uniwersytetu. Tekhnichni nauky. – 2013.– № 4. – С. 222-229.

2. Kriterij. Rezhym dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9>

3. Statisticheskij ansambl. Rezhym dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BB%D1%8C.

4. Reshenie zadach. Rezhym dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87.

5. Chto takoe prjamyje i obratnye zadachi. Rezhym dostupa: <http://mathemlib.ru/books/item/f00/s00/z0000013/st004.shtml>.

6. Matematicheskoe modelirovanie i obratnye zadachi. Rezhym dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-i-obratnye-zadachi>].

7. Teorija izbytochnykh izmerenij: peshenie metrologicheskikh zadach pri linejnoj funkczii preobrazovanija izmeritel'nogo kanala. Soobshhenie 1.1 / V. T. Kondratov // Vianykh Khmel'nitskogo natsionalnogo uniwersytetu. Tekhnichni nauky. – 2012.– № 4. – С. 125-137.

8. Strukturnyj sintez kak zafacha diskretnoj optimizaczii. Rezhym dostupa: <http://technomag.edu.ru/doc/158337.html>.

9. Dve znamenitye zadachi Fibonachi. Rezhym dostupa: http://www.goldenmuseum.com/1001TwoProblems_rus.html.

10. Dinamicheskie sistemy (Anishhtnko V.S., 1997), Fizika. Rezhym dostupa: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/437.html>].

11. Dinamicheskie sistemy. Rezhym dostupa: http://sins.xaos.ru/pdf/articles/articles_r043.pdf

12. Ergodicheskaja gipoteza. Rezhym dostupa: <http://slovari.yandex.ru/~%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B8/%D0%91%D0%A1%D0%AD/%D0%AD%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0/>.

13. Ergodicheskaja teorija. Rezhym dostupa: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3055/%D0%AD%D0%A0%D0%93%D0%9E%D0%94%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%90%D0%AF.

14. Ergodichnost. Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>.

15. Svoystvo — ergodichnost. Rezhym dostupa: <http://www.ngpedia.ru/id412867pl.html>.

Рецензія/Peer review : 8.7.2013 р. Надрукована/Printed :29.9.2013 р.

Статтю представляє: д.т.н., проф. Кондратов В.Т.