

1. Vorob'ev S.N. Jеfektivnoe obnaruzhenie determinirovannyh signalov: Monografija. - SPb.: SPbGUAP, 2003. – 139 s. – ISBN 5-8088-0088-9.
2. Gonorovskij I.S. Radiotekhnicheskie cepи i signaly / Gonorovskij I.S.: Uchebnik dlja vuzov.– 4-e izd., perer.i dop. – M.: Radio i svjaz', 1986. – 512 s.
3. Shirman Ja.D. Teorija i tehnika obrabotki radiolokacionnoj informacii na fone pomeh / Shirman Ja.D., Manzhos V.N.– M.:Radio i svjaz', 1981.– 416 s.
4. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie cepи i signaly: Uchebnik. – M.: Vyssh. shkola., 1983. – 536 s.

Рецензія/Peer review : 9.10.2013 р. Надрукована/Printed :24.11.2013 р.  
Рецензент: Шинкарук О.М., д.т.н., проф.

УДК 389.001(075.8)

**В.Т. КОНДРАТОВ**

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

**ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ И СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ:  
СУЩНОСТЬ СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
СООБЩЕНИЕ 3**

*В настоящем сообщении рассматриваются философские аспекты сверхизбыточных измерений, приводятся новые понятия и определения, излагается сущность сверхизбыточных измерений, фундамент теории, предмет исследований, развиваемые научные направления, фундаментальные особенности сверхизбыточных измерений, правила решения метрологических задач, правила подбора рядов физических величин и т.д.*

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

*Ключевые слова: теория избыточных и сверхизбыточных измерений, структура теории.*

V.T.KONDRATOV

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

**THE THEORY OF REDUNDANT AND SUPERREDUNDANT MEASUREMENTS:  
ESSENCE OF SUPER-REDUNDANT MEASUREMENTS  
THE MESSAGE 3**

*Abstract – The theory of super-redundant measurements is a new branch of development of the theory of the redundant measurements, the new scientific direction having the specific features.*

*The further development was received by philosophical aspects of the theory such concepts and definitions, as quasi-true and true values of physical quantity, iterative and is probabilistic-iterative methods of redundant measurements and others, in particular, are formulated.*

*The essence of super-redundant measurements is opened.*

*It is established, that super-redundant measurements are repeating the limited number of times measuring transformations of the expanded number of the physical quantities naturally connected among themselves in the sizes and including some of exemplary quantities of the accepted size, with the subsequent averaging or with not averaging of the transformed quantities with the same name, their processing agree a priori deduced statistically authentic set n the equations of redundant and-or super-redundant measurements and definitive averaging of ensemble of the received results of measurements of required physical quantities, parameters of transformation function of the measuring channel, and also estimations of a current condition (metrological characteristics and metrological serviceability) used of redundant measurements means during all time of its operation.*

*Feature of super-redundant measurements is that only in them ensembles of the redundant measurements equations or ensembles of the numerical values equations are formed and used.*

*Affirms, that unlike redundant, super-redundant measurements for one cycle of implementing several methods of redundant measurements, as used by a number of advanced transformed physical quantities can be represented as a combination of (a set of) physical quantities, representing together with the equations of redundant measurements of a particular method of redundant measurements.*

*Strategy of super-redundant measurements — definition strategy of kvazi-true and true values of object researches properties, current values of transformation function parameters of the measuring channel, and also parameters or indicators of metrological reliability of intellectual measuring system «Object of measurement — Means of redundant measurements», directed on achievement of new quality of measurements.*

*It is ascertained, that at realization super-redundant measurements hardware-software and hardware expenses for parallel processing of ensemble of the data received on final set of the redundant measurements equations essentially increase.*

*The subject of researches of the super-redundant measurements theory is established, rules of formation of numbers of measured physical quantities, etc. are formulated.*

*The concept of alternative measurements, as multiple and multi-purpose redundant and super-redundant measurements providing the decision of metrological problems and reception of high quality of end results in comparison with direct measurements is entered.*

*For the first time in the world classification of alternative measurements which gives representation about all their variety and an interconnection is developed.*

*Eight fundamental features of the super-redundant measurements distinguishing them from other measurements are formulated.*

*Set research subject of super-redundant measurements theory which comprises: the cognition of their own laws of the structure, functioning and development, cognition of the properties of ergodic dynamical measurement systems, cognition of the super-redundant measurement methods and their features aimed at identifying patterns and features definition of quasi-true and the true values of physical quantities and parameters of transformation function of the measuring channel (one or several); the development of strategy of reception*

of high quality of measurements, as well as in-depth knowledge about the object of measurement and about a condition of the measuring system «Object of measurement — Means of redundant measurements».

Formulated twelve scientific fields developed in the super-redundant measurements theory. It is shown that some of them differ from research directions developed in the redundant measurements theory.

Novel, for example, are research areas related to the development of ways and methods of preparation of the extended series of measured physical quantities; formation rules for the necessary and sufficient number of equations redundant measurements of physical quantities, combined into ensembles; ways and reception methods of combinatorial configurations of redundant measurements equations and grouping them in ensembles under solution of the problem of determining the true value of a physical quantity; with the study and evaluation of the properties of ergodicity measuring systems; the volatility of the phase trajectories with respect to small perturbations; formulate requirements for ensembles ( blocks, sub-blocks, classes and sub-classes ) of combinatorial configurations derived redundant measurements equations, which they form; ways and methods of determining the mean square error of ensembles laws describing the process of determining the physical quantities and parameters; search among the ensemble of combinatorial configurations one that would provide the minimum of the random error component of redundant measurements of the unknown physical quantity and normalized by the value of the physical quantities used to define the quasi-true and true value of the desired physical quantity, and others.

The decision of metrological problems — process of performance of actions or the cogitative operations, directed on a conclusion of the redundant measurements equations of physical quantities, parameters of the measuring channel transformation function and parameters or indicators of metrological reliability of the given channel within the limits of a assigned problem.

It is stated that the decision of the metrological problem can not be impossible without the derivation of the redundant measurements equations, inference rules which are explicitly or implicitly depend on the type of measurement channel transformation function and the number of rows of measured physical quantities. Moreover, for a particular transformation function set the number of rows of measured physical quantities may be different.

It is ascertained, that the decision of metrological problems is impossible without a conclusion of the specified of the redundant measurements equations which inference rules in an obvious or implicit kind depend as on a kind of the measuring channel transformation function, and from number of rows of measured physical quantities. And for concrete function of transformation the established number of rows of measured physical quantities can be a miscellaneous.

Boundless possibilities on creation and research of methodology of statistical data processing open at super-redundant measurements, signs and criteria of their grouping.

There has come a new era of development of the theory of redundant and super-redundant measurements.

Ukraine is the world leader in development of the theory of measurements thanks to creation and development of the theory of redundant and super-redundant measurements.

## Введение

Дальнейший научно-технический прогресс в обществе, связанный с интенсивным развитием микроэлектроники и нанотехнологий, не возможен без качественного скачка в теории измерений. И этот качественный скачок наступил (см. «главные труды» на сайте kondratov.com.ua «Фундаментальная метрология»). Создана и достаточно полно развита теория и методы избыточных измерений. Выделена как самостоятельное направление и развивается теория сверхизбыточных измерений. Проблема состоит в том, что ученые-метрологи и специалисты в области измерительной техники, микро- и нанотехнологий еще не в состоянии осознать, изучить и оценить те новые знания по фундаментальной метрологии, которые изложены мной в сотнях научных трудов и патентов Украины, не готовы начать изучать и внедрять в жизнь альтернативные методы измерений, рожденные данными теориями.

Настоящее сообщение является третьим 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 теории сверхизбыточных измерений, ее предметом исследований, с научными направлениями, особенностями, новыми философскими аспектами и т.д.

### Результаты исследований

Теория сверхизбыточных измерений — это новое научное направление, новая ветвь развития теории избыточных измерений, направленная на решение задач определения квазиистинных и истинных значений физических величин.

Для общности оба научных направления можно обобщенно называть «теория избыточных и сверхизбыточных измерений», а измерения — «избыточными» и «сверхизбыточными».

В теории избыточных и сверхизбыточных измерений широко используется усреднение во времени, усреднение по ансамблю и их одновременное использование. Последнее особенно актуально для оптимизации времени проведения измерений сверхизбыточных измерений.

В основу сверхизбыточных измерений положены: общенаучная методология системного подхода и информативной пространственной и комбинированной (пространство ↔ время) избыточности, методология статистической обработки результатов измерительных преобразований и избыточных измерений физических величин, закон достижения нового качества, принцип эргодичности и принцип (закон) подобия.

Особенностью сверхизбыточных измерений является то, что только в них формируются и используются ансамбли уравнений избыточных измерений, ансамбли уравнений числовых значений и ансамбли данных.

В результате проведенных исследований дальнейшее развитие получили философские аспекты теории, в частности, сформулированы такие понятия и определения, как «квазиистинное» и «истинное» значения физической величины, итерационные и вероятностно-итерационные методы избыточных измерений, установлен предмет исследований теории сверхизбыточных измерений, сформулированы правила формирования рядов измеряемых физических величин, раскрыта сущность сверхизбыточных измерений и т.д.

### 1. Философские аспекты теории сверхизбыточных измерений

Законы, принципы, категории, термины, определения, утверждения, понятия и т.п., положенные в основу

теории избыточных измерений [1], остаются таковыми и для теории сверхизбыточных измерений, но их количество расширено за счет введения новых законов, принципов, категорий, терминов, определений и т.д. (см. [2, 3]).

#### **Понятия «квазиистинное» и «истинное» значения физической величины**

При избыточных измерениях под действительным (условно истинным) значением физической величины (ФВ) будем понимать значение, полученное без статистической обработки и со статистической обработкой данных, причем число  $n$  усредняемых значений результатов многократных измерений рядов физических величин или конечных результатов избыточных измерений не превышает одной тысячи, т.е.  $1 \leq n < 1000$ . Уменьшение случайной составляющей погрешности конечного результата измерений составит 1 – 31,6 раза.

При избыточных и сверхизбыточных измерениях под квазиистинным значением ФВ будем понимать значение, полученное путем статистической обработки результатов избыточных измерений при  $1000 \leq n < 10000$ . Уменьшение случайной составляющей погрешности конечного результата избыточных измерений составит от 31,6 до 100 раз.

При сверхизбыточных измерениях под истинным значением ФВ будем понимать значение, полученное путем статистической обработки десяти и более тысяч ( $n \geq 10000$ ) результатов избыточных измерений, полученных путем обработки результатов измерительного преобразования расширенных рядов физических величин согласно ансамбля из  $n$  выведенных уравнений сверхизбыточных измерений. Уменьшение случайной составляющей погрешности конечного результата сверхизбыточных измерений составит от 100 до 1000 раз и более.

#### **Итерационные методы избыточных измерений**

##### *Определение*

Итерационные методы избыточных измерений — методы, основанный на решении систем линейных или нелинейных уравнений величин и получении уравнений избыточных измерений неизвестных величин и параметров функции преобразования с заданной погрешностью, в которых действительные значения результатов измерительного преобразования ФВ определяются с использованием дополнительной процедуры уточнения их значений, шаг за шагом, по причине использования во втором и последующих тактах итерационного цикла, в качестве начального, значения чувствительности линейной или нелинейной составляющей функции преобразования измерительного канала, полученного в предыдущем такте и более приближенного к истинному значению.

#### **Вероятностно-итерационные методы избыточных измерений**

В основу вероятностно-итерационных методов избыточных измерений положено определение (установление) закона<sup>1</sup> и плотности распределения случайных погрешностей ансамбля результатов избыточных измерений (искомой физической величины или крутизны преобразования измерительного канала), аппроксимация полученного закона непрерывной функцией<sup>2</sup> распределения с последующим исключением тех данных из ансамбля, которые изменяют установленный вид и параметры функции распределения, т.е. вносят статистически недостоверные отклонения (промахи) или неопределенность в конечный результат измерений.

Эти методы обеспечивают дополнительное повышение точности измерений за счет существенного уменьшения случайной составляющей погрешности результата измерений.

##### *Определение*

Вероятностно-итерационные методы избыточных измерений — методы, основанные на многократном измерительном преобразовании расширенных рядов физических величин, на решении систем линейных или нелинейных уравнений величин, на получении ансамбля уравнений избыточных и сверхизбыточных измерений неизвестных величин и параметров функции преобразования, в которых действительные значения усредненных результатов многократных измерительных преобразований ФВ определяются в результате дополнительной процедуры уточнения их значений, шаг за шагом, по причине использования в последующих тактах итерационного цикла, в качестве начального, среднего значения чувствительности линейной или нелинейной составляющей функции преобразования измерительного канала, определенного в предыдущем такте и более приближенного к истинному значению, до получения в  $k$ -м цикле результатов избыточных измерений с установленным значением среднеквадратической погрешности.

Использование усреднения по ансамблю обеспечивает повышение быстродействия в десятки раз по сравнению с методами прямых измерений, использующих усреднение во времени результатов многократных измерений.

## **2. Сущность сверхизбыточных измерений**

Стратегия сверхизбыточных измерений — стратегия определения квазиистинных и истинных значений свойств объекта исследований, текущих значений параметров функции преобразования измерительного канала, а также параметров или показателей метрологической надежности интеллектуальной измерительной системы «Объект Измерений – Средство Избыточных Измерений» («ОИ – СИИ»), направленная на достижение нового качества измерений и метрологической надежности.

На рис. 1 приведены сравнительные графические построения, поясняющие сущность сверхизбыточных измерений. Слева на рис. 1, а графически отображен процесс избыточных, а справа (рис. 1, б) — сверхизбыточных измерений. Данные процессы приведены для двух вариантов обработки результатов многократных измерений обычных и расширенных рядов физических величин, состоящих, соответственно, из  $n_1$  и  $n_2$  физических величин ( $n_2 > n_1$ ).

При избыточных измерениях первый вариант обработки («по малому кругу») предполагает проведение

<sup>1</sup> Закон распределения — соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им значениями вероятности.

<sup>2</sup> Непрерывная функция — функция без «скачков», то есть такая, у которой малые изменения входной величины (аргумента) приводят к малым изменениям значения функции [4].

конечного числа однократных измерительные преобразования каждой физической величины ряда, обработку их согласно уравнению избыточных измерений с последующим статистическим усреднением ансамбля полученных результатов. В данном случае вначале осуществляется измерительное преобразование и обработка конечной совокупности данных, а затем усреднение всей совокупности полученных результатов измерений.

Второй вариант (обработка по «большому кругу») предполагает многократные измерительные преобразования и статистическую обработку каждой физической величины ряда с последующей обработкой полученных результатов согласно уравнению избыточных измерений. В этом случае вначале осуществляется усреднение во времени, а затем обработка полученной совокупности данных.

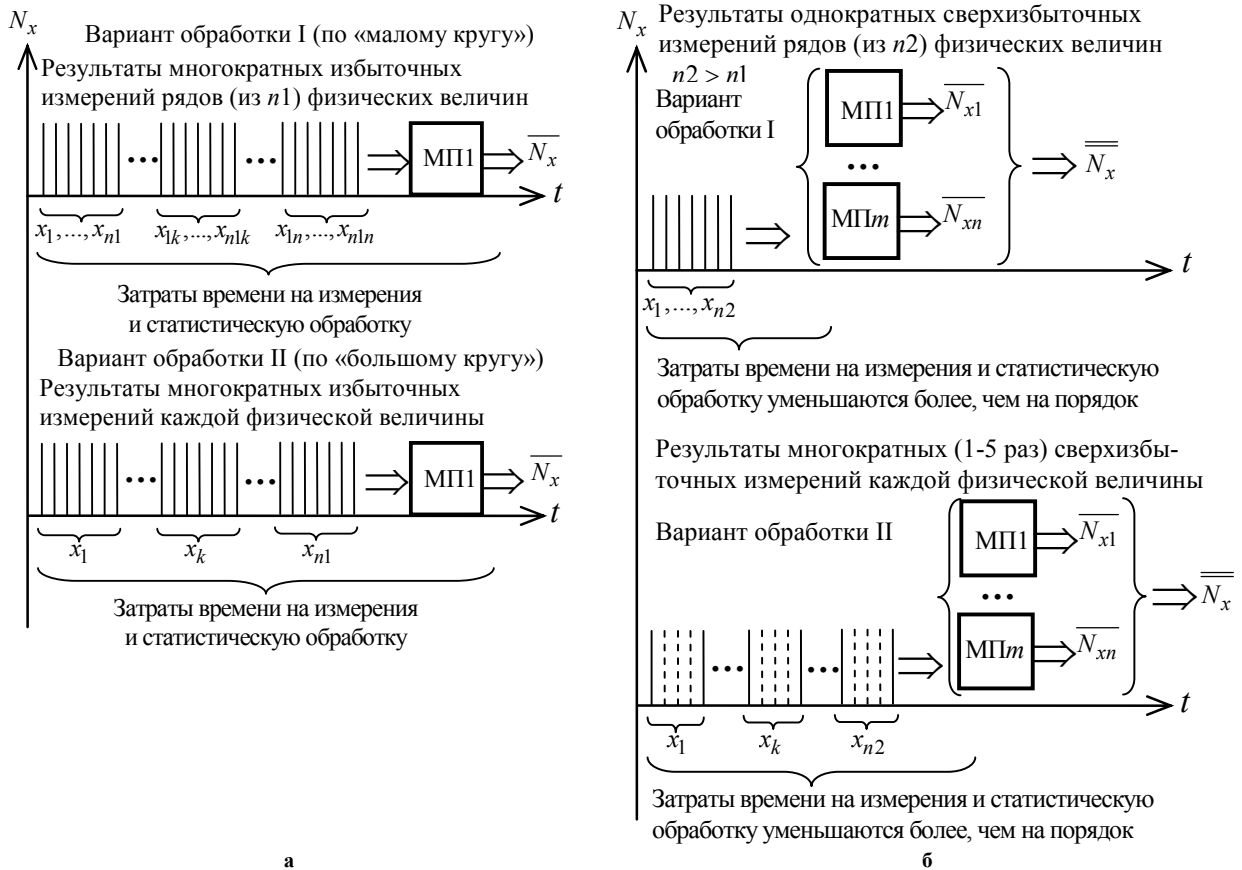


Рис. 1. Затраты времени на получение результатов избыточных (а) и сверхизбыточных (б) измерений

При сверхизбыточных измерениях первый вариант обработки («по малому кругу») предполагает однократные измерительные преобразования каждой физической величины расширенного ряда, их обработку с помощью ансамбля уравнений избыточных измерений с последующей статистической обработкой полученных результатов. Другими словами, вначале осуществляется измерительное преобразование физических величин и их обработка, а затем усреднение всей совокупности полученных результатов.

Второй вариант (обработка по «большому кругу») предполагает многократные измерительные преобразования и статистическую обработку значений каждой физической величины расширенного ряда, обработку усредненных значений по ансамблю уравнений избыточных измерений с последующим статистическим усреднением полученных результатов сверхизбыточных измерений. В этом случае вначале осуществляется усреднение во времени, обработка по ансамблю и усреднение по ансамблю.

Третий (комбинированный) вариант обработки по «малому и большому кругу» предполагает ограниченные по числу ( $m \leq 5(10)$  раз) многократные измерительные преобразования физических величин расширенного ряда с целью получения  $m$  или  $m + 1$  ансамблей уравнений избыточных измерений с последующей их статистической обработкой. Дополнительный ансамбль (с усредненными величинами) получают путем усреднения  $m$  результатов измерительных преобразований физических величин расширенного ряда и вывода уравнений избыточных измерений на основе расширенной системы уравнений величин, описывающей состояние измерительной системы.

В средствах избыточных измерениях используется, как правило, один двухядерный микропроцессор (МП) (с микроконтроллером или микроконвертором), а в средствах сверхизбыточных измерениях — несколько многоядерных микропроцессоров (см. МП1, ..., МПm на рис. 1).

При избыточных измерениях для существенного уменьшения случайной составляющей погрешности и достижения высокого качества измерений, требуются весьма большие затраты времени, связанные со статистической обработкой большого числа конечных результатов измерений искомой физической величины или результатов многократных (промежуточных) измерений физических величин используемого ряда.

Например, затраты времени на проведение одного цикла измерений четырех физических величин

( $n_1 = 4$ ), составляют 0,1 с, т.е.  $T_{ц1} = 0,1$  с. При статистической обработке данных, полученных для 50 циклов измерений ( $m_1 = 50$ ) потребуется  $T_{и1} = T_{ц} \cdot n = 5$  с, что не всегда допустимо при проведении измерений величин той или иной физической природы. Существенное уменьшение затрат времени обеспечивают сверхизбыточные измерения.

При сверхизбыточных измерениях выводится не одно (базовое) уравнение избыточных измерений, а конечное множество  $m_1$ , равное, например, 100, 300, 500, 1000 или более. Это обеспечивается за счет использования расширенных рядов физических величин, т.е. не  $n_1$  величин, а  $n_2$  ( $n_2 > n_1$ ). Если заданное число уравнений избыточных измерений не возможно вывести, то проводят дополнительные (повторные, например,  $m_2$  раз ( $m \leq 5(10)$ )) измерения каждой физической величины расширенного ряда (см. на рис. 1б снизу ось времени и перпендикулярные к ней пунктирные линии — условные результаты измерений, поясняющие возможность дополнительных измерений физических величин  $x_1, \dots, x_k, \dots, x_{n2}$ ). В результате, например, при  $n_2 = 6$ , на проведение одного цикла измерений шести физических величин необходимо 0,15 с ( $T_{ц2} = 0,15$  с). На машинную параллельную обработку результатов шести измерений понадобится, допустим, 0,001 с ( $T_{об} = 0,001$  с). В целом общее время сверхизбыточных измерений составит  $T_{и2} = T_{ц} + T_{об} = (0,15 + 0,001)$  с = 0,151 с. Для рассматриваемого примера эффективность сверхизбыточных измерений по сравнению с избыточными составит  $E = T_{и1}/T_{и2} = 5$  с / 0,151 с = 33,11 раза. Следовательно, сверхизбыточные измерения обеспечивают не только высокую точность, но и оперативность измерений.

Графические построения, поясняющие сущность сверхизбыточных измерений, приведены на рис. 2. На рис. 2, а графически изображен процесс избыточных измерений физической величины  $x_i$ , который основан на многократных избыточных измерениях одной и той же физической величины с последующей статистической обработкой полученных результатов. На оси абсцисс приведена физическая величина  $x_i$  ( $\{x_i\} = 4$ ), результаты измерений которой получены в моменты времени  $t_1, \dots, t_n$ .

На оси результатов избыточных измерений получают среднее по времени значение искомой физической величины, т.е.  $\overline{\{x_i'\}} = 4 \pm 1$  (см. рис. 2,а).

На рис. 2, б графически изображен процесс сверхизбыточных измерений физической величины  $x_i$  ( $\{x_i\} = 4$ ), который основан на однократных (или двух-, трех-, четырех- или пятикратных) измерениях физических величин используемого ряда, их обработке по конечному множеству ( $m_1$ ) уравнений избыточных измерений с последующей статистической обработкой полученных результатов измерений. На оси абсцисс приведена физическая величина  $\overline{x_i}$ , полученная путем обработки результатов единичных измерений рядов физических величин по ансамблю уравнений избыточных измерений. На оси ординат приведен результат сверхизбыточных измерений, — среднее по ансамблю значение искомой физической величины, т.е.  $\overline{\{x_i'\}} = 4 \pm 1$ .

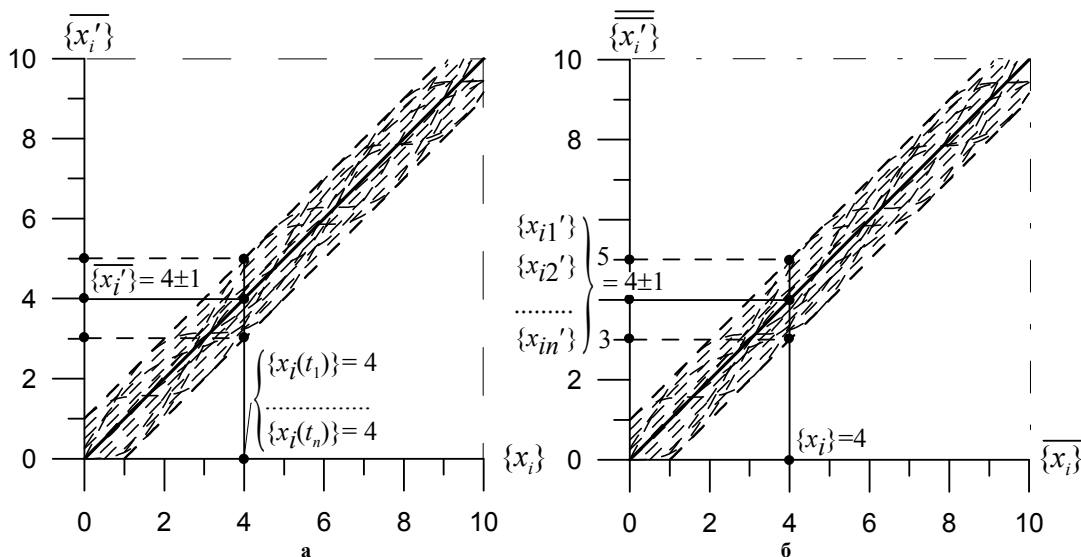


Рис. 2. Графические построения, поясняющие сущность сверхизбыточных измерений

Необходимо помнить, что при реализации сверхизбыточных измерениях существенно увеличиваются программно-аппаратные и аппаратные затраты на параллельную обработку ансамбля данных, полученных по конечному множеству уравнений избыточных измерений. В то же время, современный уровень развития вычислительной техники и микроэлектроники позволяет создавать относительно дешевые средства сверхизбыточных измерений на базе многоядерных микропроцессоров и микроконверторов (или микроконтроллеров). Тем более, что технически уже решена задача создания небольших по размеру суперкомпьютеров [5] и в ближайшие годы

многоядерный микропроцессор для суперкомпьютера получат и разработчики средств измерений.

### 3. Классификация альтернативных измерений, обеспечивающих решение метрологических задач

Альтернативные измерения — противопоставляемые прямым измерениям многовариантные и многоцелевые (избыточные и сверхизбыточные) измерения, обеспечивающие решение метрологических задач и получение нового, более высокого качества результатов измерений и метрологической надежности.

Избыточные измерения — многоцелевые однократные или многократные измерительные преобразования не одной, а нескольких рядов физических величин, обеспечивающие достижение высокого качества конечных результатов измерений искомой физической величины и параметров функции преобразования измерительного канала, а также прогнозирование текущего состояния (метрологической исправности) используемого средства избыточных измерений в течение всего времени его эксплуатации.

Сверхизбыточность — наличие чего-либо в количестве, превышающем уже дополнительно используемое и необходимое для достижения нового качества и объема выполняемых задач (функций).

Сверхизбыточные измерения — это повторяющиеся ограниченное число раз измерительные преобразования расширенного ряда физических величин, закономерно связанных между собой по размерам и включающих несколько образцовых величин принятого размера, с последующим усреднением или с не усреднением преобразованных одноименных величин, их обработкой согласно априори выведенной статистически достоверной совокупности  $n$  уравнений избыточных и/или сверхизбыточных измерений и окончательным усреднением ансамбля полученных результатов измерений искомой физической величины, параметров функции преобразования измерительного канала, а также оценок текущего состояния (метрологической надежности) используемого средства избыточных измерений на протяжении всего времени его эксплуатации.

Фактически сверхизбыточные измерения за один цикл реализуют несколько методов избыточных измерений, поскольку расширенный ряд преобразуемых физических величин можно представить как комбинации (наборы) физических величин, представляющих, вместе с уравнениями избыточных измерений, тот или иной метод избыточных измерений.

Согласно приведенной на рис. 3 классификации, на сегодня разработаны и известны два вида альтернативных измерений — избыточные и сверхизбыточные измерения.

По признаку «используемая функция преобразования» альтернативные измерения делятся на четыре научных направления: альтернативные измерения с использованием жесткой функции преобразования сенсора или измерительного канала в целом; альтернативные измерения с использованием функции преобразования с дискретно изменяемыми параметрами, — в основном значений  $S'_d$  и  $S'_n$ ; альтернативные измерения с использованием гибких функции преобразования — с изменяемым видом (типа функции распределения Кондратова – Вейбулла); альтернативные измерения с использованием функции преобразования с изменяемым видом и параметрами.

По классификационному признаку «подвид измерений» альтернативные измерения делятся на непосредственные (избыточные и сверхизбыточные), итерационные и вероятностно-итерационные.

Непосредственные измерения — это прямые избыточные или сверхизбыточные измерения. Итерационные альтернативные измерения — избыточные измерения, использующие процедуры уточнения, шаг за шагом, действительного значения измеряемого параметра, например, функции преобразования измерительного канала, а следовательно, и искомой физической величины, по причине использования, в качестве образцовой, физической величины принятого значения, воспроизводимой не аттестованной мерой или стандартным образцом с ненормированными метрологическими характеристиками.

Вероятностно-итерационные альтернативные измерения — итерационные измерения с использованием уравнений избыточных измерений, в которых статистическая обработка конечной совокупности данных на каждом шаге итерации повышает точность измерений за счет уменьшения случайной составляющей погрешности результата избыточных измерений.

По родовому признаку методы избыточных измерений делятся на методы измерений I-го, II-го и III-го родов, а методы сверхизбыточных измерений — на методы измерений II-го и III-го родов.

По признаку «группы альтернативных измерений» различают альтернативные измерения без

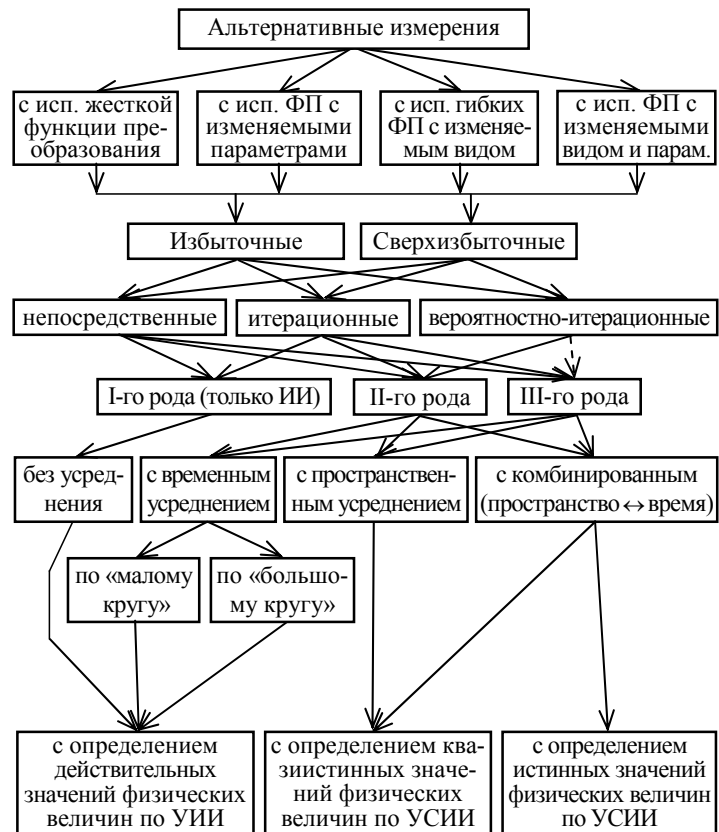


Рис. 3. Классификация альтернативных измерений

усреднения, с временным усреднением, с пространственным усреднением и с пространственно-временным (комбинированным) усреднением данных.

Избыточные измерения первого рода не предполагают усреднение полученных результатов. Однако измерительный канал может содержать усредняющие устройства (интеграторы, фильтры, накопители и т.д.), обеспечивающие предварительное уменьшение случайной составляющей погрешности измерительного преобразования физических величин.

При альтернативных измерениях второго и третьего родов обязательно осуществляется статистическая обработка результатов многократных измерений. Кроме того, при альтернативных измерениях третьего рода используется усреднение во времени, в пространстве и пространственно-временное усреднение. Во втором и третьем случаях предусматривается статистическая обработка ансамблей данных.

При сверхизбыточных измерениях третьего рода осуществляется комбинированная статистическая обработка, т.е. обработка ансамблей данных, полученных как с течением времени, так и в пространстве.

По признаку «подгруппы измерений» выделено две подгруппы альтернативных измерений. Первую подгруппу составляют альтернативные измерения, в которых используется усреднение во времени по малому кругу, а вторую подгруппу — усреднение во времени по большому кругу. В первом случае усредняются результаты многократных измерений рядов физических величин, а во втором — полученная совокупность результатов избыточных измерений.

По признаку «группы (методов) альтернативных измерений» различают: 1) альтернативные измерения, обеспечивающие определение действительных значений физических величин по уравнениям избыточных измерений (УИИ); 2) альтернативные измерения, обеспечивающие определение квазиистинных значений физических величин согласно уравнениям сверхизбыточных измерений (УСИИ); 3) альтернативные измерения, обеспечивающие определение истинных значений физических величин согласно уравнениям сверхизбыточных измерений (рис. 3).

Классификация альтернативных измерений с соответствующими связями между признаками, приведена на рис. 3. Со временем она будет уточняться и совершенствоваться.

Наступила новая эра развития фундаментальной метрологии.

#### **4. Фундаментальная особенность сверхизбыточных измерений**

*Фундаментальными особенностями сверхизбыточных измерений являются:*

1) использование расширенных рядов физических величин, объединенных закономерными связями, и содержащих, как минимум, две нормированные по размеру величины, воспроизводимые с высокой точностью эталонами, мерами или стандартными образцами, причем размеры нормированных по значению величин устанавливают близкими по значению к началу, к середине или к концу диапазона значений измеряемой физической величины;

2) использование ограничений по числу измерительных преобразований рядов физических величин, необходимых и достаточных для получения требуемого числа статистических ансамблей;

3) применение принципа эргодичности при решении метрологических задач;

4) формирование ансамблей уравнений избыточных измерений (уравнений числовых значений и т.п.), отвечающих установленным критериям подбора;

5) использование комбинаторики уравнений величин для решения метрологических задач;

6) применение принципа (закона) подобия для определения квазиистинных и истинных значений искомой физической величины;

7) использование (нового типа) уравнений сверхизбыточных измерений, отличающихся от классических уравнений избыточных измерений наличием дополнительных слагаемых, и обеспечивающих определение квазиистинного и истинного значений физических величин;

8) использование эвристических методов для решения метрологических задач.

#### **5. Сердцевина, каркас и фундамент теории сверхизбыточных измерений**

Сердцевину теории избыточных и сверхизбыточных измерений составляют входящие в нее законы: закон отрицания, закон отрицания отрицания, закон единства и борьбы противоположностей, закон получения нового качества, закон однозначности динамики, закон развития теории измерений от простого к сложному, закон отражения и другие (см. [1–3]). Категории служат каркасом данной теории, а научные принципы являются фундаментом.

К десяти принципам теории избыточных измерений [1], составляющих ее фундамент, добавляется еще принцип эргодичности измерительных систем и принцип подобия [2, 3].

#### **6. Предмет исследований теории сверхизбыточных измерений**

Предметом исследований теории сверхизбыточных измерений является:

— познание собственных законов строения, функционирования и развития;

— познание свойств эргодичности динамических измерительных систем;

— разработка и исследование методов сверхизбыточных измерений и их особенностей, направленные на выявление закономерностей и особенностей определения квазиистинных и истинных значений физических величин и параметров функции преобразования измерительного канала (одного или нескольких);

— развитие стратегии получения высокого качества измерений, — точности, достоверности, оперативности, сопоставимости и стабильности результатов сверхизбыточных измерений, а также получение глубоких знаний об объекте измерений и о состоянии измерительной системы «ОИ – СИИ»;

— развитие нового научного направления — метрологической комбинаторики, т.е. комбинаторики уравнений величин и уравнений избыточных измерений.

Конечной стратегической целью сверхизбыточных измерений является получение квазиистинного и истинного значений физических величин, значений параметров функции преобразования измерительного канала,

а также значений параметров и показателей метрологической надежности измерительного канала.

### 7. Основные научные направления теории сверхизбыточных измерений

В теории сверхизбыточных измерений развиваются, в основном, те же научные направления, что и в теории

избыточных измерений, но имеются некоторые отличия. Развиваемыми научными направлениями являются следующие:

- 1) пути и методы получения информативной сверхизбыточности;
- 2) методы и критерии составления расширенных рядов измеряемых физических величин;
- 3) развитие метрологической комбинаторики;
- 4) правила формирования необходимого и достаточного количества уравнений избыточных измерений физических величин, объединенных в ансамбли (блоков, субблоков, групп и подгрупп закономерностей);
- 5) пути и методы получения комбинаторных конфигураций уравнений избыточных измерений и группирования их в ансамбли при решении задачи определения истинного значения физической величины;
- 6) изучение и оценка свойств эргодичности измерительных систем, неустойчивости их фазовых траекторий по отношению к малым возмущениям;
- 7) пути и методы решения комбинаторных метрологических задач:
  - формулирование требований к ансамблям (блокам, субблокам, классам и подклассам) комбинаторных конфигураций выведенных уравнений избыточных измерений, который они образуют;
  - вывод формул подсчета количества комбинаторных объектов (уравнений избыточных измерений) в ансамбле, которые отвечают исходным правилам их построения;
  - пути и методы определения средней квадратичной погрешности ансамблей закономерностей, описывающих процесс определения физических величин и параметров;
  - поиск среди ансамбля комбинаторных конфигураций такого, который обеспечивал бы минимальную случайную составляющую погрешности избыточных измерений искомой и нормированных по значению физических величин, используемых для определения квазиистинного и истинного значения искомой физической величины;
- 8) разработка и исследование непосредственных, итерационных и вероятностно-итерационных методов альтернативных измерений;
- 9) теория погрешностей сверхизбыточных измерений физических величин, интерпретация свойств объектов измерений, уравнений связи между величинами, уравнений погрешностей, символов и т.д.;
- 10) методология проектирования и создания средств сверхизбыточных измерений и интеллектуальных измерительных систем с комбинированным использованием микроконтроллеров или микроконверторов с многоядерными микропроцессорами с целью обеспечения решения задач параллельной обработки данных и определения квазиистинного и истинного значений физических величин;
- 11) разработка и исследование методов распараллеливания процесса обработки результатов избыточных измерений, а также программ обработки данных для решения прикладных задач сверхизбыточных измерений;
- 12) разработка программно-алгоритмического обеспечения процессов управления и обработки результатов сверхизбыточных измерений физических величин;
- 13) решение задач тестирования и метрологического обеспечения перестраиваемых алгоритмов и программ;
- 14) развитие теории метрологической надежности программно-алгоритмического обеспечения сверхизбыточных измерений и другие.

### 8. Решение метрологических задач

Понятию «решение метрологических задач» дадим следующее определение, с учетом [6].

#### Определение

Решение метрологических задач — процесс выполнения действий или мыслительных операций, направленный на вывод уравнений избыточных измерений физических величин, параметров функции преобразования измерительного канала, параметров или показателей метрологической надежности данного канала в рамках поставленной задачи.

Процесс решения задач, в том числе и метрологических, является наиболее сложным из всех функций интеллекта и определяется как когнитивный процесс более высокого порядка, требующий согласования и управления более элементарными или фундаментальными навыками [6]. Для приобретения фундаментальных навыков решения метрологических задач, изложим основные правила вывода уравнений избыточных измерений исследуемых величин и параметров функции преобразования измерительного канала. Решение метрологических задач невозможно без вывода указанных уравнений избыточных измерений, правила вывода которых в явном или неявном виде зависят как от вида функции преобразования измерительного канала, так и от числа рядов измеряемых физических величин. Для конкретной функции преобразования установленное число рядов измеряемых физических величин может быть разным.

В избыточных и сверхизбыточных измерениях основное внимание уделяется: правилам вывода уравнений избыточных измерений крутизны  $S'_{л}$  линейной функции преобразования или, при наличии в нелинейной функции преобразования двух линейных составляющих, — крутизны  $S'_{л1}$  и  $S'_{л2}$  каждой составляющей; правилам вывода крутизны  $S'_{н}$  нелинейной функции преобразования или, при сложных и составных функциях, —  $S'_{н1}$  и  $S'_{н2}$  (реже  $S'_{н3}$ ); правилам вывода уравнений избыточных измерений смещения  $\Delta U'_{л}$  функции преобразования, характеризующего, как правило, дрейф нуля измерительного канала, а также правилам вывода уравнений избыточных и сверхизбыточных измерений искомой физической величины  $x_i$ , при которых достигается



получение заданного количества (ансамбля) уравнений измерений и, соответственно, ансамбля данных.

Разработанные правила для линейной функции преобразования измерительного канала будут описаны в последующих сообщениях. Отметим, что вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования  $S'_L$  связан с нахождением аналитического выражения для частного от деления разности двух сумм линейных уравнений величин (по одному, по два, по три), входящих в систему уравнений величин, математически описывающей процесс избыточных измерений, на соответствующие измеряемые физические величины, размеры которых связаны между собой определенной закономерностью. Основным требованием к выводу является первоочередное использование линейных уравнений величин, содержащих нормированные по значению физические величины. Возможны варианты вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования с использованием других физических величин ряда для которых уже выведены уравнения избыточных измерений. Без уравнений избыточных измерений крутизны преобразования невозможен вывод уравнений избыточных измерений искомой физической величины.

Вывод уравнений избыточных измерений смещения функции преобразования измерительного канала осуществляется непосредственно из входящих в систему линейных уравнений величин, для которых известны значения используемых физических величин и параметров и/или способы их определения. Вывод указанных уравнений избыточных измерений связан с решением метрологических задач, таких, например, как определение временной зависимости (стабильности) смещения функции преобразования измерительного канала от измерения к измерению при действии внешних дестабилизирующих факторов, решение задачи оценки метрологической надежности измерительного канала и других. При высокоточном определении искомой физической величины возможно ее использование и для вывода уравнений избыточных измерений смещения функции преобразования с целью получения необходимого количества (ансамбля) его значений.

В основу вывода уравнений избыточных измерений искомой физической величины  $x_i$  положено определение частного от деления разностей двух сумм линейных уравнений величин (по три, по два, по одному), входящих в систему, причем первая сумма содержит искомую и другие физические величины, а вторая сумма — только нормированную по значению физическую величину (одну или несколько). Полученное частное умножается на нормированную по значению физическую величину или на ее сумму с искомой. Уравнения избыточных измерений искомой физической величины могут иметь разную конфигурацию, но их фундаментальной основой является наличие операций деления двух разностей, что обеспечивает автоматическое исключение систематических составляющих погрешности результата избыточных и сверхизбыточных измерений.

#### **9. Правила формирования рядов измеряемых физических величин**

При разработке методов и средств сверхизбыточных измерений формирование расширенных рядов физических величин проводится по следующим правилам:

1) выбирается вид закономерных связей между физическими величинами, — по закону арифметической прогрессии, по закону геометрической прогрессии, по комбинированному закону (арифметической и геометрической прогрессии), по закону соединения пассивных элементов электрических цепей и другим законам;

2) определяется возможность формирования физической величины нулевого размера. Это обусловлено необходимостью использования простых приемов определения смещения функции преобразования измерительного канала;

3) определяется возможность воспроизведения нормированных по значению физических величин, — двух и более; наличие соответствующих эталонов, мер (желательно управляемых), стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов и соответствие их характеристик поставленной метрологической задаче;

4) анализируются способы формирования сопряженных физических величин. При возможности использования сенсора с нормировано управляемыми двумя (и более) значениями параметров, предпочтение следует отдать способу, основанному на нормированном изменении крутизны функции преобразования измерительного канала. Это особенно важно при измерениях неэлектрических величин;

5) определяется порядок и последовательность расположения физических величин, подлежащих измерительным преобразованиям. В случае первоначального определения поддиапазона измерений, первой в последовательности устанавливается физическая величина неизвестного размера, измерительное преобразование которой осуществляется в первом такте. При необходимости оперативного контроля состояния измерительного канала, первыми в последовательности устанавливаются физическая величина нулевого размера и нормированная по значению величина;

6) выбранные ряды физических величин анализируются и минимизируются по критерию «минимальное время» проведения всех тактов измерительного преобразования величин. Одним из результатов оптимизации является установление нормированных по значению физических величин и физических величин нулевого размера в конце формируемого ряда. Одновременно, с целью сокращения временных затрат, решается вопрос периодичности проведения тактов измерительных преобразований этих величин, — один раз за 10 мин., за 1 час, за смену и т.д.;

7) для окончательного выбора состава и закономерных связей между физическими величинами, проводится анализ и оптимизация структурной организации рядов физических величин по критерию «оптимизации коммутационных помех». Его результатом может быть минимизация коммутационных помех за счет формирования и использования сопряженных физических величин, за счет уменьшения числа «отключений» сенсора от объекта измерений, а также за счет введения задержки отсчета результата измерительного преобразования физической величины.

Например, формирование величины, сопряженной с искомой, достигается путем нормированного изменения чувствительности сенсора и не требует отключения сенсора от объекта измерений. Второй пример. Выбраны три физические величины с размерами:  $\{x_1\} = \{\Delta x_0\}$ ,  $\{x_2\} = \{x_i\}$  и  $\{x_3\} = \{\Delta x_0\} + \{x_i\}$ . При такой

последовательности величин возникает необходимость поочередно воздействовать ими на вход сенсора. Анализ показал, что оптимальной является последовательность:  $\{x_1\} = \{\Delta x_0\} + \{x_i\}$ ,  $\{x_2\} = \{\Delta x_0\}$ , и  $\{x_3\} = \{x_i\}$ , при которой после проведения первого такта определения числового значения физической величины  $x_1$ , во втором такте для определения числового значения физической величины  $x_2$  или  $x_3$  достаточно «освободить» физическую величину  $\{x_1\} = \{\Delta x_0\} + \{x_i\}$  от второго или первого слагаемого без отключения объекта измерений от сенсора;

8) в заключительной стадии анализируются условия эксплуатации проектируемого средства сверхизбыточных измерений, возможный уровень случайных помех и наводок. Одновременно принимается решение об окончательном составе рядов физических величин и о реализации методов избыточных измерений I-го, II-го или III-го рода. В результате оставляют существующий порядок и последовательность (очередность проведения) многократных измерительных преобразований физических величин полученных рядов, или уточняют очередность преобразований.

Одновременно выбираются варианты статистической обработки результатов многократных измерений рядов физических величин: по малому кругу, по большому кругу или комбинированным подходом.

9) фиксируется окончательно установленный ряд физических величин и порядок их измерительного преобразования в математической модели процесса сверхизбыточных измерений, в его программном обеспечении и в паспорте на разработанную измерительную систему.

#### 10. Теория избыточных и сверхизбыточных измерений с точки зрения теории вероятностей

Результаты измерительных преобразований рядов физических величин, т.е. величин  $U_1, U_2, \dots, U_6, \dots$ , представляют собой выборку (ограниченного объема) нестационарного случайного процесса с дискретно изменяемыми во времени значениями математического ожидания и среднего квадратичного отклонения. Особенностью данной выборки является то, что, во-первых, она является искусственно созданной, во-вторых, априори устанавливается корреляционная связь между парами выборок, в-третьих, содержит одну или несколько выборок с известным значением математического ожидания.

Теория избыточных измерений решает задачу преобразования нестационарного случайного процесса с переменными параметрами в одну выборку нестационарного случайного процесса. Полученная выборка характеризуется постоянным значением математического ожидания ( $\{m\} = \{U_x\}$ ) и новым значением среднего квадратичного отклонения  $\sigma = f(x_i, \dots, x_0, U_1, \dots, U_6, \dots)$ . Математическое ожидание определяется по совокупности «математических ожиданий» (точнее — значений) исходных выборок. Постоянное математическое ожидание получают путем установления закономерной связи между выборками и использования для решения метрологических задач разработанных в теории избыточных измерений алгебраических методов решения систем нелинейных уравнений величин. Фактически имеет место преобразование одного закона распределения вероятностей случайной величины  $U_i$  в непрерывное равномерное распределение с постоянной плотностью. Граничными точками графика данного распределения являются величины  $U_{\min}$  и  $U_{\max}$ , значения которых характеризуют, соответственно, минимальное значение результата измерительного преобразования искомой физической величины ( $\{U_{\min}\} = \{U_x\}$ ) и максимальное значение результата измерительного преобразования одной из физических величин ряда, превышающей по значению искомую физическую величину на нормированное значение ( $\{U_{\max}\} = \{U_x\} + \{U_0\}$ ).

Далее решается задача уменьшения полученного значения среднего квадратичного отклонения и определения значения постоянного во времени математического ожидания.

Решение данной задачи основывается на использовании принципа эргодичности. Поскольку каждая из величин  $U_1, U_2, \dots, U_0, \dots, U_6, \dots$  характеризует функциональную взаимосвязь с измеряемыми физическими величинами  $x_1, x_2, \dots, x_0, \dots, x_6, \dots$ , то оказалось возможным решение систем уравнений величин:

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

— при проведении однократных измерительных преобразований рядов физических величин, или

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

— при проведении многократных измерительных преобразований рядов физических величин, относительно искомой физической величины и параметров функции преобразования измерительного канала.

В (1) и (2) штрихом обозначены величины и параметры, значения которых отличаются от номинальных, т.е. имеют погрешность, а риска означает средние по значению величины и параметры.

Результат комбинаторных преобразований показал, что количество решений достигает несколько тысяч. Следовательно, обеспечивается возможность получения ансамбля значений случайной величины  $U_x$ , характеризующейся, по нашему мнению, нормальным законом распределения погрешности ее определения.

В теории избыточных измерений особенностью статистической обработки ансамблей данных является предварительное группирование их по особым, априори определенным признакам, например, по признаку «наличие искомой физической величины». В этом случае при определении значения чувствительности выделяется одна совокупность данных, которая содержит только нормированные по значению физические величины ряда, и другая совокупность данных, которая содержит еще и искомую физическую величину. Другим признаком может быть «число арифметических операций», предшествующих определению каждого значения выборки. Для определения искомой физической величины и параметров функции преобразования измерительного канала используется одинаковое число выборок в ансамблях. Это объясняется необходимостью исключения погрешностей вычисления данных. Третьим признаком может быть «наличие корреляционных связей между парами физических величин» и т.д.

Таким образом, открываются безграничные возможности по созданию и исследованию методологии статистической обработки данных при сверхизбыточных измерениях, признаков и критериев их группирования.

### Выводы

Впервые в мире открыто новое направление в теории измерений — теория сверхизбыточных измерений, которая является новым научным направлением, имеющим свои специфические особенности и конечные цели.

Дальнейшее развитие получили философские аспекты теории, в частности, сформулированы такие понятия и определения, как квазиистинное и истинное значения физической величины, итерационные и вероятностно-итерационные методы избыточных измерений и другие.

Раскрыта сущность сверхизбыточных измерений.

Установлено, что сверхизбыточные измерения — это повторяющиеся ограниченное число раз измерительные преобразования расширенного ряда физических величин, закономерно связанных между собой по размерам и включающих несколько образцовых величин принятого размера, с последующим усреднением или с не усреднением преобразованных одноименных величин, их обработкой согласно априори выведенной статистически достоверной совокупности  $n$  уравнений избыточных и/или сверхизбыточных измерений и окончательным усреднением ансамбля полученных результатов измерений искомой физической величины, параметров функции преобразования измерительного канала, а также оценок текущего состояния (метрологических характеристик и метрологической исправности) используемого средства избыточных измерений на протяжении всего времени его эксплуатации.

Особенностью сверхизбыточных измерений является то, что только в них формируются и используются ансамбли уравнений избыточных измерений или ансамбли уравнений числовых значений.

Утверждается, что в отличие от избыточных, сверхизбыточные измерения за один цикл реализуют несколько методов избыточных измерений, поскольку используемый расширенный ряд преобразуемых физических величин можно представить как комбинации (наборы) физических величин, представляющие вместе с уравнениями избыточных измерений тот или иной метод избыточных измерений.

Стратегия сверхизбыточных измерений — стратегия определения квазиистинных и истинных значений свойств объекта исследований, текущих значений параметров функции преобразования измерительного канала, а также параметров или показателей метрологической надежности интеллектуальной измерительной системы «ОИ — СИИ», направленная на достижение нового качества измерений и метрологической надежности.

Констатируется, что при реализации сверхизбыточных измерений существенно увеличиваются программно-аппаратные и аппаратные затраты на параллельную обработку ансамбля данных, полученных по конечному множеству уравнений избыточных измерений.

Введено понятие альтернативных измерений, как многовариантных и многоцелевых (избыточных и сверхизбыточных) измерений, обеспечивающих решение метрологических задач и получение высокого качества конечных результатов по сравнению с прямыми измерениями.

Впервые в мире разработана классификация альтернативных измерений, которая дает представление о всем их многообразии и взаимных связях.

Выделено восемь фундаментальных особенностей сверхизбыточных измерений, отличающих их от других.

Установлен предмет исследований теории сверхизбыточных измерений, включающий в себя: познание собственных законов строения, функционирования и развития; познание свойств эргодичности динамических измерительных систем; познание методов сверхизбыточных измерений и их особенностей, направленное на выявление закономерностей и особенностей определения квазиистинных и истинных значений физических величин и параметров функции преобразования измерительного канала (одного или нескольких); развитие новой стратегии получения высокого качества измерений, а также получения глубоких знаний об объекте измерений и о состоянии измерительной системы «ОИ — СИИ».

Сформулировано четырнадцать научных направлений, развиваемых в теории сверхизбыточных измерений. Показано, что некоторые из них существенно отличаются от научных направлений, развиваемых в теории избыточных измерений. Новыми, например, являются научные направления, связанные с разработкой путей и методов составления расширенных рядов измеряемых физических величин, с развитием метрологической комбинаторики, правил формирования необходимого и достаточного количества уравнений избыточных

измерений физи-ческих величин, объединенных в ансамбли, путей и методов получения комбинаторных конфигураций уравнений избыточных измерений и группирования их в ансамбли при решении задачи определения истинного значения физической величины, с изучением и оценкой свойств эргодичности измерительных систем, неустойчивости их фазовых траекторий по отношению к малым возмущениям, требований к ансамблям (блокам, субблокам, классам и подклассам) комбинаторных конфигураций выведенных уравнений избыточных измерений, который они образуют, путей и методов определения средней квадратичной погрешности ансамблей закономерностей, описывающих процесс определения физических величин и параметров, а также поиск среди ансамбля комбинаторных конфигураций такого, который обеспечивал бы минимальную случайную составляющую погрешности избыточных измерений искомой и нормированных по значению физических величин, используемых для определения квазиистинного и истинного значения искомой физической величины и другие.

Сформулировано девять пунктов правил формирования рядов измеряемых физических величин, обязательных для использования при проектировании средств сверхизбыточных измерений.

Решение метрологических задач — процесс выполнения действий или мыслительных операций, направленный на вывод уравнений избыточных измерений физических величин, параметров функции преобразования измерительного канала и параметров или показателей метрологической надежности данного канала в рамках поставленной задачи.

Констатируется, что решение метрологических задач невозможно без уравнений избыточных измерений, правила вывода которых в явном или неявном виде зависят как от вида функции преобразования измерительного канала, так и от числа рядов измеряемых физических величин. Причем для конкретной функции преобразования установленное число рядов измеряемых физических величин может быть разным.

Открываются безграничные возможности по созданию и исследованию методологии статистической обработки данных при сверхизбыточных измерениях.

Украина является мировым лидером в развитии теории измерений благодаря созданию и развитию теории избыточных и сверхизбыточных измерений.

## Литература

1. Кондратов В.Т. Философские аспекты теории избыточных измерений / В.Т.Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2008. — № 2. — С. 7-23.

2. Кондратов В.Т. 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.

3. Кондратов В.Т. Теория избыточных и сверхизбыточных измерений: философские аспекты сверхизбыточных измерений. Сообщение 2 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2013. — № 5. — С. 185-193.

4. Непрерывная функция. Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F)

5. Суперкомпьютер. Режим доступа: [https://www.google.com.ua/#gs\\_rn=21&gs\\_ri=psyab&tok=rRbCsa0V8Y8HmR3mUEFkjlw&cp=14&gs\\_id=4d&xhr=t&q=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&es\\_nrs=true&pf=p&output=search&scient=psyab&oq=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&gs\\_l=&pbx=1&bav=on.2,or.r\\_cp.r\\_qf.&bvm=bv.49405654,d.bGE&fp=b63cf3c4c6e18992&biw=1680&bih=896](https://www.google.com.ua/#gs_rn=21&gs_ri=psyab&tok=rRbCsa0V8Y8HmR3mUEFkjlw&cp=14&gs_id=4d&xhr=t&q=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&es_nrs=true&pf=p&output=search&scient=psyab&oq=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&gs_l=&pbx=1&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.49405654,d.bGE&fp=b63cf3c4c6e18992&biw=1680&bih=896)

6. 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](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)

## References

1. Kondratov V.T. Filosofskie aspekty teorii izbytochnykh izmerenij / V.T.Kondratov // Vymiruvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnologicheskikh protsesakh. — 2008. — № 2. — S. 7–23.

2. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh izmerenij: sverkhizbytochnye izmerenija — vtoroj kachestvennyj skachok v fundamentalnoj metrologii. Soobschenie 1 / V.T. Kondratov // Visnik Khmel'nitskogo natsionalnogo universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013. — № 4. — S. 222-229.

3. Kondratov V.T. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: filosofskie aspekty sverkhizbytochnykh izmerenij. Soobschenie 2 // V.T. Kondratov // Visnik Khmel'nitskogo natsionalnogo universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013. — № 5. — S. 185-193.

4. Nepreryvnaja funktsija. Rezhym dostupa: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F)

5. Superkompjuter. Rezhym dostupa: [https://www.google.com.ua/#gs\\_rn=21&gs\\_ri=psyab&tok=rRbCsa0V8Y8HmR3mUEFkjlw&cp=14&gs\\_id=4d&xhr=t&q=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&es\\_nrs=true&pf=p&output=search&scient=psyab&oq=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&gs\\_l=&pbx=1&bav=on.2,or.r\\_cp.r\\_qf.&bvm=bv.49405654,d.bGE&fp=b63cf3c4c6e18992&biw=1680&bih=896](https://www.google.com.ua/#gs_rn=21&gs_ri=psyab&tok=rRbCsa0V8Y8HmR3mUEFkjlw&cp=14&gs_id=4d&xhr=t&q=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&es_nrs=true&pf=p&output=search&scient=psyab&oq=%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80&gs_l=&pbx=1&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.49405654,d.bGE&fp=b63cf3c4c6e18992&biw=1680&bih=896)

6. 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](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)