

ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ И СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ОБЩИХ ПРАВИЛ ВЫВОДА УРАВНЕНИЙ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КРУТИЗНЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СООБЩЕНИЕ 4

В настоящем сообщении формализовано описаны субблоки, группы и подгруппы правил вывода уравнений избыточных измерений, их свойства и особенности, дано определение общему правилу вывода уравнений избыточных измерений при линейной функции преобразования измерительного канала.

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

Ключевые слова: правила вывода, уравнения избыточных измерений, формализованное описание.

V.T.KONDRATOV

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

THE THEORY OF REDUNDANT AND SUPER-REDUNDANT MEASUREMENTS: A FORMALIZED DESCRIPTION OF THE GENERAL RULES OF INFERENCE OF THE EQUATIONS OF REDUNDANT MEASUREMENTS OF THE STEEPNESS OF TRANSFORMATION THE MESSAGE 4

Abstract – In the theory of super-redundant measurements the important role is played by formation of necessary set (ensemble) of the equations of redundant measurements the steepness of transformation which is used for a derivation of the equations of redundant measurements of required physical quantity for the purpose of definition their quasi-true or true values.

For the first time in metrology for the decision of metrological problems the combinatorics, its laws and regularities began to be used.

The process of derivation and busting of the equations of redundant measurements are most difficult of all functions of intelligence and are defined as cognitive processes of higher order.

Classification of derivation rules of redundant measurements equations in general and steepness of transformation of the measuring channel in particular, on the following hierarchy is presented: blocks, subblocks, groups, subgroups with their dependence on the input of physical quantities.

Generalized analytical expression for determining the steepness of transformation in a general way is received. This making it possible to describe formalized block, sub-block, groups and subgroups of inference rules of equations of redundant measurements the steepness of transformation and to formulate the general derivation rules of equations of redundant measurements.

It is shown, that the derivation of the equations of redundant measurements a steepness of transformation is carried out by serial subtraction of one sum of combinations of products of heteronymic or with the same name of quantities output and factors from other sum of combinations of products of not repeating heteronymic or with the same name of quantities output entering into system, and factors with the subsequent division of the received differences into measured physical quantities, — on one or on some, which are combined by certain way (for example, sum-difference).

It is noticed, that the derivation of the equations of redundant measurements a steepness of transformation should be begun with search of all variants of differences of two not repeating sums of products of factors and the quantities output entering into system which describes a condition of the measuring channel in time.

It is shown, that the basic requirement to the derivation of the equations of redundant measurements a steepness of transformation is prime use of those quantities output of the left part of the quantities equations of system which contain the physical quantities normalized on value.

At linear measuring transformation of numbers of physical quantities the derivation of the equations of redundant measurements a steepness of transformation is carried out by the rules considering a difference of not repeating the sums of products of n factors and m heteronymic or with the same name of quantities output which are combined (re-arranged and rearranged in the every possible way) on one, on two, on three etc.

It is established, that the total of heteronymic quantities output in both sums should not exceed m . The choice of this or that quantity of factors is connected with maintenance of demanded quantity of the equations of redundant measurements.

It is established five variants of use of quantities output at a derivation of rules and the equations of redundant measurements a steepness of transformation.

As a result of researches the conditions of fulfillment of a inference rules of an ensemble of equations of redundant measurements a steepness of transformation are received.

Affirms, that it is practically expedient to allocate the ensembles (associations) of rules naturally connected, first of all, with normalized quantities x_0 and Δx_0 .

The formalized representation of rules, allows to optimize approaches to a derivation of the equations of redundant measurements, to enhance the responsibility for their formulation, to define every possible interrelations between the equations, to establish resource rules and, finally, necessary set of the equations of redundant measurements.

The formalized description of a inference rules gives the chance to use effectively the chosen numbers of entrance physical quantities, hardware and time expenses for realization of super-redundant measurements.

The formalized description allows to eliminate low efficiency of separate rules and the equations of redundant measurements regarding ultimate goal achievement, — value reduction of standard deviation of result of super-redundant measurements from true value of required physical quantities at optimum hardware and time expenses.

Введение

Теория сверхизбыточных измерений является новейшим и стратегически важным направлением развития современной фундаментальной метрологии. Она является основой для достижения голубой мечты

Особенностью настоящего периода развития теории сверхизбыточных измерений является то, что впервые в метрологии стала использоваться комбинаторика, ее законы и закономерности для решения метрологических задач. На сегодня нам не известно использование комбинаторики для решения и измерительных задач, отсутствует соответствующее программное обеспечение. В этой связи вывод всевозможных вариантов уравнений избыточных измерений нами осуществлен на основе логического перебора возможных сочетаний выходных величин, описывающих реакцию измерительной системы на входные воздействия.

Процессы вывода и перебора уравнений избыточных измерений являются наиболее сложными из всех функций интеллекта и определяются как когнитивные процессы более высокого порядка, требующие согласования и управления более элементарными или фундаментальными навыками [1]. Для приобретения фундаментальных навыков изложим основные правила вывода уравнений избыточных измерений исследуемых величин и параметров, без которых невозможно оперативное определение квазиистинных и истинных значений физических величин.

Объект исследований — процедура вывода уравнений избыточных измерений для решения метрологических задач.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с общими подходами и правилами вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования измерительного канала и их формализация.

1. Использование расширенных рядов физических величин в метрологических задачах сверхизбыточных измерений

Система линейных уравнений величин, описывающая состояние измерительной системы, для рассматриваемого случая примет вид:

где $x_1, \dots, x_6, \dots, x_m$ — входные величины системы; $U'_1, \dots, U'_6, \dots, U'_m$ — выходные величины; S'_n —

крутизна линейной функции преобразования; $\Delta U'_\Delta$ — смещение линейной функции преобразования.

Наличие штрихов в (1) указывает на то, что значения выходных величин $U'_1, \dots, U'_6, \dots, U'_m$ и параметров S'_Δ и $\Delta U'_\Delta$ не равны номинальным значениям, т.е. определяются с погрешностью.

В основу исследований положены эвристические методы исследований и элементы комбинаторики: перестановки, размещения и сочетания без повторения и с повторением одного или нескольких элементов заданной совокупности величин и коэффициентов.

Для решения метрологических задач сверхизбыточных измерений физических величин необходимо сформулировать правила вывода уравнений избыточных измерений параметров функции преобразования и физических величин неизвестного и заданных значений. Все они имеют свои особенности и специфику вывода.

В настоящей статье рассматриваются только обобщенные правила вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования S'_Δ .

Вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования S'_Δ связан с нахождением обобщенного аналитического выражения, представленного в виде частного от деления разности двух сумм произведений соответствующих коэффициентов и выходных величин, входящих в систему уравнений величин, описывающей процесс сверхизбыточных измерений, на конечную совокупность коэффициентов и входных величин, размеры которых связаны между собой определенной закономерностью.

Основным требованием к выводу является первоочередное использование в качестве выходных величин левой части уравнений величин системы (1), содержащих нормированные по значению физические величины. Возможны варианты вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования с использованием и других физических величин ряда или их сочетаний, для которых уже выведены уравнения избыточных измерений.

Без получения ансамбля уравнений избыточных измерений крутизны преобразования, невозможен вывод ансамбля уравнений избыточных измерений искомой физической величины и определение ее квазиистинного и истинного значений. Данная особенность связана с решением метрологической задачи, обратной измерительной, а не прямой задачи, имеющей место при прямых измерениях.

При линейном измерительном преобразовании рядов физических величин вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования S'_Δ осуществляется по правилам, учитывающим разность неповторяющихся сумм произведений n коэффициентов и m разноименных¹ или одноименных выходных величин, сочетанных (переставленных и перегруппированных всевозможным способом) по одному, по два, по три и т.д. Дадим полное определение данным правилам, представим их в формализованном виде и приведем ряд практических аналитических выражений для вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

Обобщенное аналитическое выражение для определения крутизны преобразования

Практическое решение систем линейных уравнений величин вида (1) показало возможность получения большого числа уравнений избыточных измерений и формализованного описания правил вывода этих уравнений даже при $m = 6$. В результате решения большого числа систем линейных уравнений величин было установлено, что обобщенное аналитическое выражение для определения крутизны преобразования в общем виде может быть записано следующим образом:

$$S'_{\Delta(n/m)} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(\begin{matrix} k_0 \\ \dots \\ k_{t_i} \\ \dots \\ k_n \end{matrix} \right) \times U_{1i} + k_{t_i} \times U_{2i} + \dots + k_{t_i} \times U_{mi} - \sum_{v_j=1}^{v_2} \left(\begin{matrix} k_0 \\ \dots \\ k_{t_j} \\ \dots \\ k_n \end{matrix} \right) \times U_{1j} + k_{t_j} \times U_{2j} + \dots + k_{t_j} \times U_{mj} \right] \quad (2)$$

или

$$S'_{\Delta(n/m)} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(U_{(m-1)i} \times \sum_{t=0}^{t=n_1} k_{t_i} + \dots + U_{1i} \times \sum_{t=0}^{t=n_1} k_{t_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_2} \left(U_{1j} \times \sum_{t=0}^{t=n_2} k_{t_j} + \dots + U_{(m-1)j} \times \sum_{t=0}^{t=n_2} k_{t_j} \right) \right], \quad (3)$$

где i и j — индексы, характеризующие весовые коэффициенты и выходные величины отдельно в уменьшаемом (индекс i) и отдельно в вычитаемом (индекс j); $k_{t_i v_i}$ — t_i -й весовой коэффициент при выходных величинах уменьшаемого, изменяющийся (при $v_i = 1$) от $k_0 = 0$ при $t_i = 0$ до $k_{n_1} = n_1$ при $t_i = n_1$; $k_{t_j v_j}$ — t_j -й весовой коэффициент при выходных величинах вычитаемого, изменяющийся (при $v_j = 1$) от $k_0 = 0$ при $t_j = 0$ до $k_{n_2} = n_2$ при $t_j = n_2$; v_i и v_j — число суммируемых произведений в уменьшаемом и

вычи-таемом (выбирается в пределах от $v_i=1$ до $v_i=v_1$ и от $v_j=1$ до $v_j=v_2$); x^* — одна или несколько измеряемых (входных) физических величин ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$), объединенных между собой и с коэффициентами пропорциональности $k_0 = 0, \dots, k_1 = 1, \dots, k_2 = 2, \dots, k_n = n$ элементарными арифметическими операциями, или, через разницу сумм произведений, как

$$S_{\text{л}(n/m)}^{v_1 \times n_1 \times m_1} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(\sum_{t=0}^{n_1} k_{t_i} \times \sum_{i=1}^{m_1} U'_i \right) - \sum_{v_j=1}^{v_2} \left(\sum_{t=0}^{n_2} k_{t_j} \times \sum_{j=1}^{m_2} U'_j \right) \right]. \quad (4)$$

где i -я и j -я выходные величины U'_i и U'_j принадлежат конечной совокупности (множеству M_{U_m}) из m выход-ных величин ($\forall U'_i \in \{U'_1, U'_2, \dots, U'_m\}$ и $\forall U'_j \in \{U'_1, U'_2, \dots, U'_m\}$ или $\forall U'_i \in M_{U_m}$ и $\forall U'_j \in M_{U_m}$), но $i \neq j \neq 0$.

Исследования показали, что в (2), (3) и (4), общее количество разноименных выходных величин в обеих суммах не должно превышать m . Выбор того или иного числа значений коэффициентов связан с обеспечением требуемого количества уравнений избыточных измерений.

Формализованное описание дает возможность изучать соотношения между уравнениями избыточных измерений разного уровня иерархии, внутри блоков, субблоков, групп и подгрупп правил с целью анализа их на предмет полноты и непротиворечивости.

Главной задачей вывода уравнений избыточных измерений является получение их требуемого количества (от 1000 до 10000 и более). При этом все уравнения избыточных измерений должны обеспечивать определение действительных значений крутизны преобразования с разным рассеянием или среднеквадратическим отклонением.

Пять вариантов использования выходных физических величин

Для получения требуемого ансамбля уравнений избыточных измерений без расширения рядов входных физических величин установлено пять вариантов использования выходных физических величин:

1-й вариант (простой)

Использование только m выходных физических величин U'_1, U'_2, \dots, U'_m , полученных при однократных измерительных преобразованиях m входных физических величин x_1, x_2, \dots, x_m .

Данный вариант является самым простым, поскольку предусматривает непосредственное использование выходных величин.

2-й вариант (простой с усреднением)

Использование только m усредненных величин $\overline{U'_1}, \overline{U'_2}, \dots, \overline{U'_m}$, полученных в результате многократного измерительного преобразования входных величин и их усреднения. В общем случае осуществляется разное количество преобразований каждой физической величины, т.е. $l_1 \neq l_2 \neq \dots \neq l_k$ раз, но в частных случаях их количества равны между собой. При этом имеют место следующие сочетания количества преобразуемых величин: все равны ($l_1 = l_2 = \dots = l_k$), попарно равны ($l_1 = l_2, \dots, l_k = l_{k+1}$ при четном количестве входных величин), равны для каждой тройки величин (например, $l_1 = l_2 = l_3, l_4 = l_5 = l_6$), равные при разных сочетаниях величин — для нечетных и четных ($l_1 = l_3 = l_5, l_2 = l_4 = l_6$) и т.д. Второй вариант используется при большом уровне нестационарных помех.

3-й вариант (с целью увеличения в 2 и более раз числа уравнений избыточных измерений в ансамбле)

Совместное использование m неусредненных (U'_1, U'_2, \dots, U'_m) и m усредненных ($\overline{U'_1}, \overline{U'_2}, \dots, \overline{U'_m}$) по значениям выходных физических величин, полученных при многократных и ограниченных по числу (по $l_0 = 2-10$ раз) измерительных преобразований входных величин x_1, x_2, \dots, x_m . При этом возможны подварианты, связанные с использованием части неусредненных и части усредненных по значению выходных величин при том же количестве m выбранных величин.

4-й вариант (с целью увеличения в l_0 раз числа уравнений избыточных измерений в ансамбле)

Поочередное использование каждой совокупности из m выходных физических величин, т.е. $(U'_1, U'_2, \dots, U'_m)_{l=1}, (U'_1, U'_2, \dots, U'_m)_{l=2}, \dots, (U'_1, U'_2, \dots, U'_m)_{l=l_0}$, полученной при однократных измерительных преобразованиях каждой из m входных физических величин в течение цикла, состоящего из l_0 преобразований), или при многократных измерительных преобразованиях каждой входной физической величины по l_0 раз: $U'_{11}, U'_{12}, \dots, U'_{1l_0}; U'_{21}, U'_{22}, \dots, U'_{2l_0}; \dots, U'_{m1}, U'_{m2}, \dots, U'_{ml_0}$. Данный вариант обеспечивает увеличение числа уравнений избыточных измерений в l_0 раз.

5-й вариант (с целью увеличения в $m \times m$ раз числа уравнений избыточных измерений в ансамбле)

Совместное использование m неусредненных и m усредненных по значениям выходных физических величин, полученных при многократных и ограниченных по числу (по $l_0 = 2-10$ раз) измерительных

преобразований входных величин, т.е. $(U'_1, U'_2, \dots, U'_m)|_{l=1}, (U'_1, U'_2, \dots, U'_m)|_{l=2}, \dots, (U'_1, U'_2, \dots, U'_m)|_{l=l_0}$ и $\overline{U'_1}, \overline{U'_2}, \dots, \overline{U'_m}$ или $U'_{11}, U'_{12}, \dots, U'_{1l_0}, U'_{21}, U'_{22}, \dots, U'_{2l_0}, \dots, U'_{m1}, U'_{m2}, \dots, U'_{ml_0}$ и $\overline{U'_1}, \overline{U'_2}, \dots, \overline{U'_m}$. Данный вариант обеспечивает существенное увеличение в $m \times m$ числа уравнений избыточных измерений при неизменном числе входных физических величин.

Возможны и другие варианты использования выходных физических величин для определения S'_l .

2. Формализованное описание правил вывода ансамбля уравнений избыточных измерений крутизны преобразования

Без знания правил вывода уравнений избыточных измерений трудно получить заданное количество уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

Представим аналитическое выражение (4), описывающее всевозможные варианты уравнений избыточных измерений крутизны преобразования, в виде всеобщего правила вывода уравнений избыточных измерений S'_l , формализовано описываемого следующим образом:

$$R_{S'_l(n/m)}^{v_1 \times n_1 \times m_1} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(\sum_{t=0}^{n_1} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^{m_1} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_2} \left(\sum_{t=0}^{n_2} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^{m_2} N_{jv_j} \right) \right], \quad (5)$$

где N_{iv_i} — число выходных физических величин в уменьшаемом (при $v_i = 1$ и $i = 1$ $N_{11} = I_{11}$, при $i = 2$ $N_{21} = II_{11}$, при $i = 3$ $N_{31} = III_{11}$, при $i = 4$ $N_{41} = IV_{11}$, при $i = 5$ $N_{51} = V_{11}$..., при $i = m_1$ $N_{m11} = \dots_{11}$); N_{jv_j} — число выходных физических величин в вычитаемом (при $j = 1$ $N_{11} = I_{j1}$, при $j = 2$ $N_{21} = II_{j1}$, при $j = 3$ $N_{31} = III_{j1}$, при $j = 4$ $N_{41} = IV_{j1}$, при $j = 5$ $N_{51} = V_{j1}$..., при $j = m_2$ $N_{m21} = \dots_{j1}$); $I_i, II_i, III_i, IV_i, V_i, VI_i$ и т.д., $I_j, II_j, III_j, IV_j, V_j, VI_j$ и т.д. — римские числа, характеризующие число выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом, соответственно; N_m — общее число выходных величин, равное числу входных величин, причем сумма максимально допустимого количества выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом равна числу входных величин, т.е. $N_m = N_{m1} + N_{m2}$ или $m = m_1 + m_2$; v_i и v_j — число суммируемых произведений в уменьшаемом и вычитаемом (выбирается в пределах от $v_i = 1$ до $v_i = v_1$ и от $v_j = 1$ до $v_j = v_2$).

Для различения формализованных выражений для общих правил вывода и для уравнений избыточных измерений крутизны преобразования при разном числе входных физических величин, введены соответствующие верхний ($v_1 \times n_1 \times m_1$) и нижний (n/m) индексы при S'_l и $R_{S'_l}$. Верхний индекс характеризует структуру аналитического выражения, а нижний — общее число выходных величин в вычитаемом и уменьшаемом (индекс « n »), а также общее число входных величин (индекс « m »), подлежащих измерительному преобразованию.

Верхний индекс указывает также на конкретное число коэффициентов и выходных величин в аналитическом выражении, например, в $R_{S'_l(12/6)}^{2 \times 3 \times 2}$ верхний индекс означает, что число коэффициентов пропорциональности равно двум, число весовых коэффициентов равно трем, а число используемых выходных величин равно двум. Всего используется по 12 выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом.

Обозначение $R_{S'_l(12/6)}^{2 \times 3 \times 2}$ левой части формализованного правила означает, что в правой части формализованного описания некоторой группы общих правил максимальное число различных сочетаний выходных величин в каждой сумме равно двенадцати при общем числе преобразуемых входных величин (или выходных) равном шести. Если речь идет о конкретном пятом частном правиле из рассматриваемой группы, то дополнительно можно указать число 5 (см. нижний индекс), т.е. использовать запись $R_{S'_l(10/6/5)}^{2 \times 3 \times 2}$.

Возможны и другие условные обозначения правил и уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

Приведем две формулировки общего правила вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования на основании формализованной записи (5).

Определение 1 (всеобщее)

Вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования S'_l осуществляется путем поочередного вычитания одной суммы сочетаний разноименных или одноименных выходных величин и коэффициентов из другой суммы сочетаний неповторяющихся разноименных или одноименных выходных величин, входящих в систему, и коэффициентов с последующим делением полученных разностей на измеряемые физические величины, — на одну или на несколько, сочетанных определенным способом (например, суммо-разностным).

Приведем еще одно, более лаконичное, определение общего правила.

Определение 2 (всеобщее)

Вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования следует начинать с перебора всех вариантов разностей двух неповторяющихся сумм выходных величин согласно (5).

Нижче, на рис. 1 приведена классификация правил вывода с использованием следующей иерархии: блоки, субблоки, группы, подгруппы и их зависимость от входных величин, а на рис. 2 — структура правил вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

Согласно данному рисунку, блок правил (и, соответственно, блок всех уравнений избыточных измерений параметра S'_L) состоит из нескольких субблоков, каждый из которых включает в себя группы правил (и соответствующие группы уравнений избыточных измерений). Группы правил, в свою очередь, делятся на подгруппы, объединяющие простые правила вывода (и, соответственно, конкретные подгруппы уравнений избыточных измерений), зависящие от той или иной входной физической величины.

Формализованная запись (5) правил вывода записана для самого всеобъемлющего случая получения всего ансамбля уравнений избыточных измерений S'_L или для блока закономерностей ¹². Выражение (5) можно записать при $v_i = 1, 2, \dots, v_1$, $v_j = 1, 2, \dots, v_2$. Для первых семи частных значений коэффициенты пропорциональности v_i и v_j примем равными: $v_{i1} = v_{11}$, $v_{i2} = v_{12}, \dots$, $v_{i7} = v_{17}$, а $v_{j1} = v_{21}$, $v_{j2} = v_{22}, \dots$, $v_{j7} = v_{27}$.

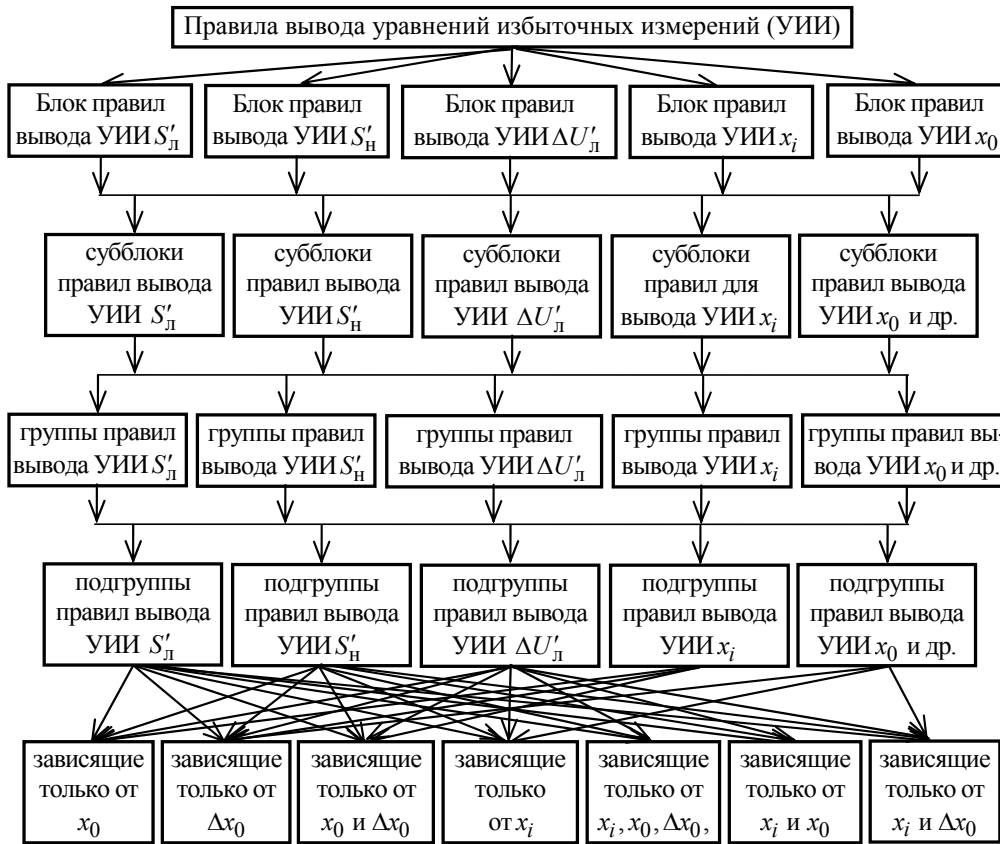


Рис. 1. Классификация правил вывода уравнений избыточных измерений

В этом случае, для первых семи частных значений коэффициентов пропорциональности, субблоки общих правил в формализованном виде опишутся выражениями:

$$R_{S'_L(n/m)}^{v_{11} \times n_{11} \times m_{11}} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(\sum_{t=0}^{n_{11}} k_{ti} v_i \times \sum_{i=1}^{m_{11}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{21}} \left(\sum_{t=0}^{n_{21}} k_{tj} v_j \times \sum_{j=1}^{m_{21}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (6)$$

$$R_{S'_H(n/m)}^{v_{17} \times n_{17} \times m_{17}} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_7} \left(\sum_{t=0}^{n_{17}} k_{ti} v_i \times \sum_{i=1}^{m_{17}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{27}} \left(\sum_{t=0}^{n_{27}} k_{tj} v_j \times \sum_{j=1}^{m_{27}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (7)$$

где $v_{11} \times n_{11} \times m_{11} = v_{21} \times n_{21} \times m_{21}, \dots, v_{17} \times n_{17} \times m_{17} = v_{27} \times n_{27} \times m_{27}$.

¹² Так будем называть ансамбль уравнений избыточных измерений параметра S'_L

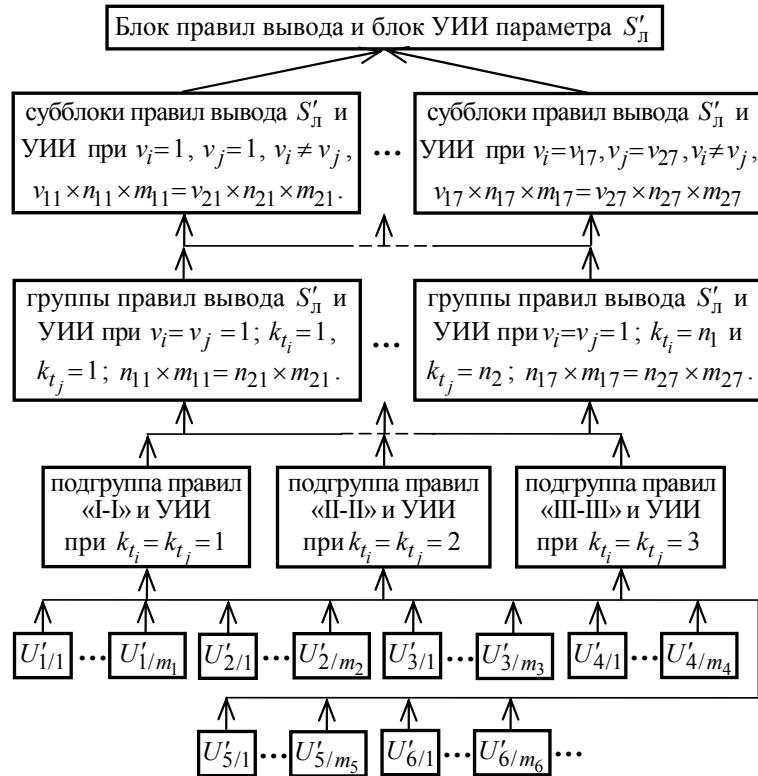


Рис. 2. Структура правил вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования

Каждый субблок состоит из множества групп общих правил. Формализовано они могут быть представлены, например, для первых семи частных случаев (при $v_i = 1$ и $v_j = 1$), следующим образом:

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times n_{11} \times m_{11}} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{i=0}^{n_{11}} k_{t_i} \times \sum_{i=1}^{m_{11}} N_i - \sum_{i=0}^{n_{21}} k_{t_j} \times \sum_{j=1}^{m_{21}} N_j \right], \quad (8)$$

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times n_{17} \times m_{17}} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{i=0}^{n_{17}} k_{t_i} \times \sum_{i=1}^{m_{17}} N_i - \sum_{i=0}^{n_{27}} k_{t_j} \times \sum_{j=1}^{m_{27}} N_j \right], \quad (9)$$

где $n_{11} \times m_{11} = n_{21} \times m_{21}, \dots, n_{17} \times m_{17} = n_{27} \times m_{27}$.

При этом возможны два частных случая:

1) в группе общих правил (8) число коэффициентов пропорциональности и выходных величин в уменьшаемом и вычитаеом не равно между собой, т.е. $n_{11} \neq n_{21}, m_{11} \neq m_{21}$, но $n_{11} \times m_{11} = n_{21} \times m_{21}$;

2) в группе общих правил (8) число коэффициентов пропорциональности и выходных величин в уменьшаемом и вычитаеом равно между собой: $n_{11} = n_{21}, m_{11} = m_{21}$, но $n_{11} \times m_{11} = n_{21} \times m_{21}$.

Для группы общих правил (9) аналогично имеем: 1) $n_{17} \neq n_{27}, m_{17} \neq m_{27}$, но $n_{17} \times m_{17} = n_{27} \times m_{27}$ и 2) $n_{17} = n_{27}, m_{17} = m_{27}$, но $n_{17} \times m_{17} = n_{27} \times m_{27}$.

Все группы правил включают в себя множество подгрупп, число которых соответствует числу всевозможных сочетаний входных физических величин. Формализовано подгруппы общих правил могут быть представлены, например, для первых семи частных случаев (при $v_i = 1$ и $v_j = 1, k_{t_i} = 1$ и $k_{t_j} = 1$) следующим образом:

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times 1 \times m_{11}} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{i=1}^{m_{11}} N_i - \sum_{j=1}^{m_{21}} N_j \right], \quad (10)$$

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times 1 \times m_{17}} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{i=1}^{m_{17}} N_i - \sum_{j=1}^{m_{27}} N_j \right], \quad (11)$$

при условии, что число выходных величин в уменьшаемом и вычитаеом не равно между собой, т.е. $m_{11} \neq m_{21}, \dots, m_{17} \neq m_{27}$.

При $m_{11} = m_{21} = 1, m_{11} = m_{21} = 2$ и $m_{11} = m_{21} = 3$ для указанных частных случаев (10) – (11) получим, дополнительно, следующие формализованные записи подгрупп общих правил (вырхний индекс записан также в виде римских чисел, характеризующих число используемых выходных величин в

уменьшаемом и вычитаемом):

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times 1 \times 1} = R_{S'_n(n/m)}^{I-I} = \frac{1}{x^*} [I_i - I_j], \quad (12)$$

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times 1 \times 2} = R_{S'_n(n/m)}^{II-II} = \frac{1}{x^*} [\Pi_i - \Pi_j], \quad (13)$$

$$R_{S'_n(n/m)}^{1 \times 1 \times 3} = R_{S'_n(n/m)}^{III-III} = \frac{1}{x^*} [\Pi_i - \Pi_j]. \quad (14)$$

Согласно (12) – (14), для вывода уравнений избыточных измерений необходимо, прежде всего, использовать различные сочетания выходных величин по одной, по две и по три, соответственно (см. рис. 2, на котором приведены используемые выходные величины $U'_1, U'_2, U'_3, U'_4, U'_5, U'_6, \dots$).

Формализованная запись (5) описывает всевозможные общие правила вывода уравнений избыточных измерений, в основу которых положено определение разностей сумм³ произведений весовых коэффициентов на одну величину или на сумму выходных величин и получение одной или нескольких неповторяющихся разностей для разных вариантов перебора выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом с учетом накладываемых ограничений на значения весовых коэффициентов и числа выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом.

Например, при $i = 2$ $N_{2v_i} = \Pi_{iv_i}$ и $N_{3v_j} = \Pi_{jv_j}$ при $j = 3$ (или, упрощенно, $N_2 = \Pi_i$ и $N_3 = \Pi_j$ (при максимальном значении $N_m = m = VI$)) формализованная запись (3) примет вид:

$$\begin{aligned} R_{S'_n(n/6)}^{v_i \times n_i \times 2} &= \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(\sum_{t=0}^{n_1} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^2 N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_2} \left(\sum_{t=0}^{n_2} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^3 N_{jv_j} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_1} \left(\sum_{t=0}^{n_1} k_{t,v_i} \times \sum \Pi_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_2} \left(\sum_{t=0}^{n_2} k_{t,v_j} \times \sum \Pi_{jv_j} \right) \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

В (15) запись $\sum \Pi_{i1}$ и $\sum \Pi_{j1}$ читается так: «сумма двух выходных величин уменьшаемого (индекс «i») и вычитаемого (индекс «j»))».

Приведем еще несколько примеров субблоков общих правил для случая формирования нескольких слагаемых или разностей с последующим их суммированием:

1. *Субблоки правил, основанные на суммировании двух разностей с разными значениями весовых коэффициентов и равным числом выходных величин*

При получении первого слагаемого ($v_i = 1$ при $i = 1$ и $v_j = 1$ при $j = 1$) в уменьшаемом, например, весовой коэффициент устанавливается равным $k_{11} = 1$ при $i = 1$ и $t_i = 1$, а число выходных величин $N_{21} = \Pi_{i1}$; в вычитаемом весовой коэффициент $k_{01} = 0$ при $t_j = 0$. При формировании второго слагаемого ($v_i = 2$ и $t_i = 2$ при $i = 2$) в уменьшаемом весовой коэффициент устанавливается равным двум ($k_{22} = 2$), а число выходных величин — $N_{22} = \Pi_{i2}$; в вычитаемом второго слагаемого ($v_j = 2$ и $j = 2$) весовой коэффициент $k_{32} = 3$ при $t_j = 3$ и $v_j = 2$, а число выходных величин равно двум ($N_{22} = \Pi_{j2}$). В рассматриваемом случае получим формализованное описание субблоков общих правил, —

$$R_{S'_n(6/6)}^{1 \times 1 \times 6} = \left[\left(\sum \Pi_{i1} + 2 \times \sum \Pi_{i2} \right) - 3 \times \sum \Pi_{j2} \right] / x^*, \quad (16)$$

включающих все варианты перестановок выходных величин, согласно которых уменьшаемое (индекс i) представляет собой сумму пар выходных величин с весовым коэффициентом $k_{11} = 1$ и сумму пар выходных величин с весовым коэффициентом $k_{22} = 2$, а вычитаемое (индекс j) — одну пару выходных величин с весовым коэффициентом $k_{31} = 3$.

2. *Субблоки правил, основанные на суммировании двух разностей с разными значениями весовых коэффициентов и разным числом выходных величин*

При получении первого слагаемого ($v_i = 1$, $v_j = 1$ при $i = 1$ и $j = 1$) в уменьшаемом весовой коэффициент устанавливается равным трем (при $t_i = 3$ $k_{31} = 3$), как и число выходных величин $N_{31} = \Pi_{i1}$ при $i = 3$. В вычитаемом при $t_j = 1$ и $i = 1$ весовой коэффициент $k_{11} = 1$, а число используемых выходных величин $N_{11} = I_{i1}$. При получении второго слагаемого ($v_i = 2$ при $i = 2$) весовой коэффициент в уменьшаемом равен нулю ($k_{01} = 0$), а в вычитаемом — $k_{42} = 4$ при $t_i = 4$. Число выходных величин $N_{22} = \Pi_{j2}$. В данном случае получим формализованное описание субблока общих правил, —

$$R_{S'_n(9/6)}^{1 \times 3 \times 3} = \left[3 \times \sum \Pi_{i1} - (1 \times I_{j1} + 4 \times \sum \Pi_{j2}) \right] / x^*, \quad (17)$$

³ В правой части приводимых уравнений величин вида (3) одна сумма является уменьшаемым, а вторая — вычитаемым.

включаючи все варіанти перестановок вихідних величин. Согласно (17) уменшаемое представляет собой сумму трех выходных величин с одинаковыми весовыми коэффициентами $k_{31} = 3$, а вычитаемое — сумму одной выходной величины с весовым коэффициентом $k_{11} = 1$ и двух выходных величин с весовыми коэффициентами $k_{42} = 4$.

3. Субблоки общих правил без суммирования разностей, т.е. с одной разностью

Вариант без суммирования разностей имеет место при $v_i = 1$ при $i = 1$ и $v_j = 1$ при $j = 1$. В уменшаемом весовой коэффициент устанавливается равным трем ($k_{31} = 3$) при $t_i = 3$, а используемое число выходных величин — двум ($N_{21} = \Pi_{i1}$), при $i = 2$. В вычитаемом весовой коэффициент устанавливается равным двум ($k_{21} = 2$) при $t_j = 2$, а число выходных величин — трем ($N_{31} = \Pi_{j1}$ при $i = 3$). В данном случае получим формализованное описание группы общих правил, —

$$R_{S'_a(9/6)}^{1 \times 3 \times 2} = \left[3 \times \sum \Pi_i - (2 \times \sum \Pi_j) \right] / x^*, \quad (18)$$

Одно из частных правил, описываемых выражением (18) для конкретных шести преобразуемых входных величин, может быть представлено через выходные величины в виде, например,

$$R_{S'_a(6/6)}^{1 \times 3 \times 2} = \left[3 \times (U'_5 + U'_6) - 2 \times (U'_2 + U'_3 + U'_4) \right] / x^*. \quad (19)$$

На основании (18), новое частное правило может быть получено после перестановки местами выходных величин U'_6 и U'_2 в (19):

$$R_{S'_a(6/6)}^{1 \times 3 \times 2} = \left[3 \times (U'_5 + U'_2) - 2 \times (U'_6 + U'_3 + U'_4) \right] / x^*. \quad (20)$$

Как в случае (18), так и в случае (19) конечный результат определения крутизны преобразования будет отличаться значениями погрешностей.

Согласно (19) и (20), уменшаемое определяется как утроенная сумма двух разноименных выходных величин системы (1), а вычитаемое, — как удвоенная сумма трех неповторяющихся выходных величин той же системы.

4. Субблоки общих правил, основанные на суммировании трех слагаемых (в виде разностей) с разными значениями весовых коэффициентов и равным числом выходных величин

При формировании первого слагаемого (при $v_i = 1$, $i = 1$) в уменшаемом весовой коэффициент устанавливают равным, например, шести ($k_{61} = 6$ при $t_i = 6$), при одной выходной величине ($N_{11} = I_{i1}$ при $i = 1$). В вычитаемом весовой коэффициент выбирают равным $k_{21} = 2$ при $v_j = 1$ и $t_j = 2$, а при $j = 1$ $N_{11} = I_{j1}$. При формировании второго слагаемого ($v_i = 2$, $v_j = 2$ при $i = 2$ и $j = 2$) в уменшаемом весовой коэффициент устанавливают равным, например, четырем ($k_{42} = 4$ при $t_i = 4$) при одной выходной величине ($N_{12} = I_i$ при $i = 1$ и $v_i = 2$). В вычитаемом устанавливают весовой коэффициент, равный двум ($k_{32} = 3$ при $t_i = 3$ и $v_i = 2$) при также одной выходной величине ($N_{12} = I_{j2}$ при $j = 1$, $v_i = 2$). При формировании третьего слагаемого в уменшаемом устанавливают нулевое значение весового коэффициента ($k_{03} = 0$ при $v_i = 3$ и $t_i = 0$) при любом числе выходных величин, а в вычитаемом — значение весового коэффициента, равное пяти ($k_{53} = 5$ при $t_i = 5$) и также при одном значении выходной величины ($N_{13} = I_j$ при $v_j = 3$, $j = 1$). Это объясняется тем, что общее число выходных величин в уменшаемом и в вычитаемом должно быть равными между собой.

В данном случае субблоков общих правил формализовано опишется аналитическим выражением

$$R_{S'_a(10/6)}^{1 \times (6+4) \times 1} = \left[(6 \times I_{i1} + 4 \times I_{i2}) - (2 \times I_{j1} + 3 \times I_{j2} + 5 \times I_{j3}) \right] / x^*, \quad (21)$$

характеризующим все варианты перестановок выходных величин при трех значениях v_i и v_j .

Согласно (21), уменшаемое представляет собой сумму двух выходных величин с весовыми коэффициентами $k_{61} = 6$ и $k_{42} = 4$, а вычитаемое — сумму трех выходной величины с весовыми коэффициентами $k_{11} = 1$, $k_{32} = 3$ и $k_{51} = 5$ соответственно. Первое слагаемое или первая разность получена при $v_i = 1$ и $v_j = 1$, а второе — при $v_i = 2$ и $v_j = 2$, а третье — при $v_i = 3$ и $v_j = 3$. В последнем случае уменшаемое равно нулю, а вычитаемое — $5 \times I_{j3}$.

Частное правило вывода, формализовано описываемое аналитическим выражением (21), для выбранных шести выходных величин имеет вид:

$$R_{S'_a(10/6)}^{1 \times (6+4) \times 1} = \left[(6 \times U_5 + 4 \times U_6) - (2 \times U_2 + 3 \times U_3 + 5 \times U_4) \right] / x^*. \quad (22)$$

3. Условия написания или составления правил вывода ансамбля уравнений избыточных измерений крутизны преобразования

В результате исследований выделены и сформулированы следующие условия написания или составления общих правил вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования:

1) число выходных величин в уменшаемом m_i и вычитаемом m_j выбирается из условия

$m_i + m_j = m$, где m — число входных (выходных) физических величин или число уравнений величин, описывающих состояние измерительной системы. Если вычитаемое содержит, например, m_j выходных величин из m , то уменьшаемое — $m_i = m - m_j$ величин;

2) произведения значений весовых коэффициентов на число выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом должны быть равны между собой, т.е. $n_1 \times m_1 = n_2 \times m_2$;

3) если $n_1 \times m_1 \neq n_2 \times m_2$, то сумма произведений значений весовых коэффициентов на число выходных величин в уменьшаемом и вычитаемом должны быть равны между собой, т.е. $v_1 \times n_1 \times m_1 = v_2 \times n_2 \times m_2$ (см. (5));

4) если числа (v_1 и v_2) суммируемых произведений в уменьшаемом и вычитаемом по каким-то причинам должны быть выбраны равными между собой, т.е. ($v_1 = v_2$), то значения весовых коэффициентов k_{t_i} и k_{t_j} изменяются там (в уменьшаемом или вычитаемом), где их можно уменьшить по значению.

Изменения проводятся до тех пор, пока не будет обеспечено условие $v_1 \times n_1 \times m_1 = v_2 \times n_2 \times m_2$. При этом используются только целочисленные значения;

5) наличие одной и той же выходной величины в уменьшаемом и вычитаемом не допускается;

6) знак формализованного описания (5) правил всегда должен быть положительным. Это достигается, при необходимости, путем перемены местами сумм вычитаемого и уменьшаемого и соответствующего изменения знаков при входных физических величинах x^* .

Согласно второму и третьему условий, всегда количество выходных величин в вычитаемом и уменьшаемом должно быть равно между собой. Эти условия обеспечивают исключение влияния смещения на количество и качество вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

В общем случае выполнение второго и третьего условий практически осуществляется следующим образом:

а) при $v_i = v_j \neq 1$.

Определяется сумма значений коэффициентов, например, в вычитаемом формализованного выражения (5). Предположим, что $k_{\Sigma j} = v_2 \times n_2 \times m_2$. Полученное значение присваивается сумме коэффициентов при выходных величинах, составляющих уменьшаемое, т.е. $k_{\Sigma i} = k_{\Sigma j}$. Но $k_{\Sigma i} = v_1 \times n_1 \times m_1$. Значения коэффициентов, например, в уменьшаемом (v_1, n_1 и m_1) распределяются таким образом, чтобы сумма их значений была равна сумме значений коэффициентов при величинах, составляющих вычитаемое, т.е. обеспечилось выполнение третьего условия $v_1 \times n_1 \times m_1 = v_2 \times n_2 \times m_2$. При этом условии всегда должно выполняться и первое условие ($m_1 + m_2 = m$).

б) при $v_i = v_j = 1$ выражение (5) примет вид:

$$R_{S'_a(n/m)}^{1 \times n_1 \times m_1} = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{t=0}^{n_1} k_{t_i v_i} \times \sum_{i=1}^{m_1} N_{i v_i} - \sum_{t=0}^{n_2} k_{t_j v_j} \times \sum_{j=1}^{m_2} N_{j v_j} \right]. \quad (23)$$

В этом случае количество выходных величин в вычитаемом и уменьшаемом также должно быть равное между собой. Здесь весовые коэффициенты распределяются между выходными величинами уменьшаемого таким образом, чтобы сумма их значений была равна сумме значений коэффициентов при величинах, составляющих вычитаемое, т.е. обеспечилось выполнение условия $n_1 \times m_1 = n_2 \times m_2$ при ($m_1 + m_2 = m$).

Из общего правила (5) могут быть выделены частные, составляющие ансамбли, и сгруппированные по признаку функциональной зависимости от входных величин или по признаку «используемые входные величины в знаменателе» (см. рис. 1). Практически целесообразно выделять следующие ансамбли (объединения) правил:

1) закономерно связанные только с x_0 , —

$$R_{S'_a(n/m)}^{v_{11} \times n_{11} \times m_{11}}(x_0) = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{11}} \left(\sum_{t=0}^{n_{11}} k_{t_i v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{11}} N_{i v_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{21}} \left(\sum_{t=0}^{n_{21}} k_{t_j v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{21}} N_{j v_j} \right) \right], \quad (24)$$

2) закономерно связанные только с Δx_0 , —

$$R_{S'_a(n/m)}^{v_{12} \times n_{12} \times m_{12}}(\Delta x_0) = \frac{1}{x^*(\Delta x_0)} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{12}} \left(\sum_{t=0}^{n_{12}} k_{t_i v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{12}} N_{i v_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{22}} \left(\sum_{t=0}^{n_{22}} k_{t_j v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{22}} N_{j v_j} \right) \right], \quad (25)$$

3) закономерно связанные с x_0 и Δx_0 , —

$$R_{S'_n(n/m)}^{v_{13} \times n_{13} \times m_{13}}(x_0, \Delta x_0) = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{13}} \left(\sum_{t=0}^{n_{13}} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{13}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{23}} \left(\sum_{t=0}^{n_{23}} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{23}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (26)$$

4) закономірно пов'язані тільки з x_i ;

$$R_{S'_n(n/m)}^{v_{14} \times n_{14} \times m_{14}}(x_i) = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{14}} \left(\sum_{t=0}^{n_{14}} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{14}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{24}} \left(\sum_{t=0}^{n_{24}} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{24}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (27)$$

5) закономірно пов'язані тільки з x_i, x_0 і Δx_0 , —

$$R_{S'_n(n/m)}^{v_{15} \times n_{15} \times m_{15}}(x_i, x_0, \Delta x_0) = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{15}} \left(\sum_{t=0}^{n_{15}} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{15}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{25}} \left(\sum_{t=0}^{n_{25}} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{25}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (28)$$

6) закономірно пов'язані тільки з x_i і x_0 , —

$$R_{S'_n(n/m)}^{v_{16} \times n_{16} \times m_{16}}(x_i, x_0) = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{16}} \left(\sum_{t=0}^{n_{16}} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{16}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{26}} \left(\sum_{t=0}^{n_{26}} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{26}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (29)$$

7) закономірно пов'язані тільки з x_i і Δx_0 , —

$$R_{S'_n(n/m)}^{v_{17} \times n_{17} \times m_{17}}(x_i, \Delta x_0) = \frac{1}{x^*} \left[\sum_{v_i=1}^{v_{17}} \left(\sum_{t=0}^{n_{17}} k_{t,v_i} \times \sum_{i=1}^{m_{17}} N_{iv_i} \right) - \sum_{v_j=1}^{v_{27}} \left(\sum_{t=0}^{n_{27}} k_{t,v_j} \times \sum_{j=1}^{m_{27}} N_{jv_j} \right) \right], \quad (30)$$

где $n_{11} \neq n_{12} \neq n_{13} \neq n_{14} \neq n_{15} \neq n_{16} \neq n_{17}$ и $n_{21} \neq n_{22} \neq n_{23} \neq n_{24} \neq n_{25} \neq n_{26} \neq n_{27}$ — в общем случае не равные между собой значения весовых коэффициентов при выходных величинах в уменьшаемом и вычитаемом, соответственно; $v_{11} \neq v_{12} \neq v_{13} \neq v_{14} \neq v_{15} \neq v_{16} \neq v_{17}$ и $v_{21} \neq v_{22} \neq v_{23} \neq v_{24} \neq v_{25} \neq v_{26} \neq v_{27}$ — не равные между собой коэффициенты пропорциональности, представляющие число сумм произведений весовых коэффициентов и выходных величин; $m_{11} \neq m_{12} \neq m_{13} \neq m_{14} \neq m_{15} \neq m_{16} \neq m_{17}$ и $m_{21} \neq m_{22} \neq m_{23} \neq m_{24} \neq m_{25} \neq m_{26} \neq m_{27}$ — не равные между собой, в общем случае, число выходных величин, причем $m_{11} + m_{21} = m_{12} + m_{22} = m_{13} + m_{23} =$

$= m_{14} + m_{24} = m_{15} + m_{25} = m_{16} + m_{26} = m_{17} + m_{27} = m$.

При ином числе рядов физических величин в решаемой метрологической задаче возможно получение и других ансамблей правил.

На практике вывод ансамблей уравнений избыточных измерений крутизны преобразования начинают с реализации правил, обеспечивающих минимальное число операций над величинами и коэффициентами. Это обусловлено необходимостью минимизации числа арифметических операций, осуществляемых при обработке результатов измерительного преобразования рядов физических величин. Правила вывода «от простого к сложному», а также очередность их применения для вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования будут рассмотрены в следующем сообщении.

Формализованное представление общих правил в виде аналитического выражения, характеризующего основные связи и отношения между величинами и коэффициентами, позволяет оптимизировать подходы к выводу уравнений избыточных измерений, повысить ответственность за их формулирование, определить всевозможные взаимосвязи между уравнениями, установить ресурс правил и, в конечном счете, необходимую совокупность уравнений избыточных измерений.

Кроме того, формализованное описание общих правил вывода дает возможность эффективно использовать выбранные ряды входных физических величин, оптимизировать аппаратные и временные затраты на реализацию сверхизбыточных измерений.

Формализованное представление дает возможность устранить низкую эффективность отдельных правил и уравнений избыточных измерений в части достижения конечной цели, — сведения к нулю значения среднеквадратического отклонения результата сверхизбыточных измерений от истинного значения искомой физической величины при оптимальных аппаратных и временных затратах.

Выводы

В теории сверхизбыточных измерений важную роль играет формирование необходимой совокупности (ансамбля) уравнений избыточных измерений крутизны преобразования, которая используется для вывода уравнений избыточных измерений искомой физической величины с целью определения его квази-истинного или истинного значений.

Впервые в метрологии для решения метрологических задач стала использоваться комбинаторика, ее законы и закономерности.

Процессы вывода и перебора уравнений избыточных измерений являются наиболее сложными из всех функций интеллекта и определяются как когнитивные процессы более высокого порядка.

Приведена классификация общих правил вывода уравнений избыточных измерений вообще и крутизны преобразования измерительного канала в частности, по следующей иерархии: блоки, субблоки, группы, подгруппы с указанием их зависимости от входных величин.

Получено обобщенное аналитическое выражение для определения крутизны преобразования в общем виде, что дало возможность формализовано описать блоки, субблоки, группы и подгруппы общих правил вывода уравнений избыточных измерений крутизны преобразования и сформулировать общее правило вывода уравнений избыточных измерений.

Показано, что вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования осуществляется путем поочередного вычитания одной суммы сочетаний произведений разноименных или одноименных выходных величин и коэффициентов из другой суммы сочетаний произведений неповторяющихся разноименных или одноименных выходных величин, входящих в систему, и коэффициентов с последующим делением полученных разностей на измеряемые физические величины, — на одну или на несколько, сочетанных определенным способом (например, суммо-разностным).

Отмечается, что вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования следует начинать с перебора всех вариантов разностей двух неповторяющихся сумм произведений коэффициентов и выходных величин, входящих в систему, которая описывает состояние измерительного канала во времени.

Показано, что основным требованием к выводу уравнений избыточных измерений крутизны преобразования является первоочередное использование тех выходных величин левой части уравнений величин системы, которые содержат нормированные по значению физические величины.

При линейном измерительном преобразовании рядов физических величин вывод уравнений избыточных измерений крутизны преобразования S'_d осуществляется по правилам, учитывающим разность неповторяющихся сумм произведений n коэффициентов и m разноименных* или одноименных выходных величин, сочетанных (переставленных и перегруппированных всевозможным способом) по одному, по два, по три и т.д.

Установлено, что общее количество разноименных выходных величин в обеих суммах не должно превышать m . Выбор того или иного числа значений коэффициентов связан с обеспечением требуемого количества уравнений избыточных измерений.

Установлено пять вариантов использования выходных физических величин при выводе общих правил и уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

В результате исследований получены условия составления или написания общих правил вывода ансамбля уравнений избыточных измерений крутизны преобразования.

Утверждается, что практически целесообразно выделять ансамбли (объединения) правил, закономерно связанные, прежде всего, с нормированными величинами x_0 и Δx_0 .

Формализованное представление общих правил, позволяет оптимизировать подходы к выводу уравнений избыточных измерений, повысить ответственность за их формулирование, определить всевозможные взаимосвязи между уравнениями, установить ресурс правил и, в конечном счете, необходимую совокупность уравнений избыточных измерений.

Формализованное описание общих правил вывода дает возможность эффективно использовать выбранные ряды входных физических величин, аппаратные и временные затраты на реализацию сверхизбыточных измерений.

Формализованное описание позволяет устранить низкую эффективность отдельных правил и уравнений избыточных измерений в части достижения конечной цели, — уменьшения значения среднеквадратического отклонения результата сверхизбыточных измерений от истинного значения искомой физической величины при оптимальных аппаратных и временных затратах.

Литература

1. 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.
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. — № 3. — С. 225-235.
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. — № 4. — С. 217-226.
4. Кондратов В.Т. Теория избыточных и сверхизбыточных измерений: сущность сверхизбыточных измерений. Сообщение 3 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2013. — № 6. — С. 174-185.

References

1. Reshenie zadach. Rezhim 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.
2. Teorija izbytochnykh izmerenij: sverkhizbytochnye izmerenija — vtoroj kachestvennyj skachok v fundamentalnoj metrologii. Soobshhenie 1/ V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkogo naczionalnogo universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013.— № 3. — С. 222-229.
3. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: filosofskie aspekty sverkhizbytochnykh izmerenij. Soobshhenie 2. Philisifskie aspekty / V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkogo naczionalnogo universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013.— № 4. — С. 237-244.
4. Teorija izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij: sushnost sverkhizbytochnykh izmerenij. Soobshhenie 3/ V. T. Kondratov // Visnyk Khmelniczkogo naczionalnogo universitetu. Tekhnichni nauky. — 2013.— № 6. — С. 174-185.

Рецензія/Peer review : 6.7.2013 р. Надрукована/Printed :20.12.2013 р.