

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 658.562:681.3

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ПРИ СТРУКТУРНО-  
АНАЛИТИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ  
ИЗМЕРЕНИЙ**

© 2017 Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева, А.Д. Королев

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия*

Создание сложных измерительных средств (ИС), да и в целом измерительных и управляющих систем, осуществляется на основе аналитических, структурных, структурно-аналитических методов. Отмечается, что при проектировании ИС сначала выбирают алгоритмы (функции), реализуемые измерительной системой, а затем выбирается или создается аппаратура для реализации алгоритмов. При этом отсутствуют идеология и формализмы метрологического описания, соответствующие процессу синтеза сложных информационно-измерительных систем (ИИС). Особенно для технологии структурно-аналитического проектирования. Отсутствует вообще задача разработки оценочных соотношений для анализа текущего проектирования и результата проектирования. В том числе и метрологических оценок. Задача уменьшения общей погрешности результатов измерений – это задача актуальная всегда. Поэтому и понижение общей погрешности еще на этапе проектирования за счет уменьшения методической погрешности также актуальна. Предпочтительным методом синтеза сложных ИИС является структурно-аналитический, реализуемый по схеме: аналитическая форма → категория → граф с оптимизацией структуры → аналитические формы, распределенные графы → категории → графы с оптимизацией структуры → ... → финальная аналитическая форма с аналитической оптимизацией. Инновационной компонентой является технология метрологического анализа сложной измерительной системы. Результатом исследований является синтез уравнений методической погрешности для одномерной четырехпараметрической ИИС в мультиплицированном варианте коммутации входных каналов.

*Ключевые слова:* структурно-аналитическое проектирование системы, сложная измерительная система, полная погрешность измерения, метрологическая оценка погрешности измерения.

Поступила в редакцию: 08.05.2017

**ВВЕДЕНИЕ**

Как известно [1,2], полная погрешность результатов измерений любого измерительного средства определяется многочисленными источниками. Очевидно, что чем сложнее измерительное средство (например, сложные измерительно-вычислительные комплексы для различных промышленных производств, распределенные измерительно-вычислительные системы экологического назначения, сложные программно-технические измерительные системы для медицинских целей и так далее), тем больше таких источников.

Значительную часть полной погрешности, при этом, составляют комплексные методические погрешности, которые сопровождают и измерительную процедуру [1] в целом, и проявляются на всех этапах измерительной процедуры: в рамках каждого

измерительного преобразования, в рамках алгоритмов управления субпроцессами измерения в сложных измерительных системах, в рамках алгоритмов представления выходных результатов измерения в виде разнообразных графиков, диаграмм, сложных образов и так далее.

При этом создание сложных измерительных средств, да и в целом измерительных и управляющих систем, осуществляется на основе аналитических [3], структурных [4], структурно-аналитических [4] методов. В [5] отмечается, что при проектировании ИС сначала выбирают алгоритмы (функции), реализуемые измерительной системой, а затем выбирается или создается аппаратура для реализации алгоритмов. При этом отсутствуют идеология и формализмы метрологического описания, соответствующие процессу синтеза сложных ИИС. Особенно для технологии структурно-аналитического проектирования. Отсутствует вообще задача разработки оценочных соотношений для анализа текущего проектирования и результата проектирования. В том числе и метрологических оценок.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Очевидно, что задача уменьшения общей погрешности результатов измерений – это задача актуальная всегда. Поэтому и понижение общей погрешности еще на этапе проектирования за счет уменьшения методической погрешности также актуальна.

С этой целью можно синтезировать процедуру разбиения передаточного отношения всей системы на отдельные составляющие модули, которые вносят наименьший методический вклад в полную методическую погрешность при условии сохранения неизменной внешней функции системы [4]. Там же было показано, что предпочтительным методом синтеза сложных ИИС является структурно-аналитический, реализуемый по схеме: аналитическая форма → категория → граф с оптимизацией структуры → аналитические формы, распределенные на графе → категории → графы с оптимизацией структуры → ... → финальная аналитическая форма с аналитической оптимизацией.

При этом в процессе структурных преобразований формируются замещающие структуры. Каждая замещающая структура может быть описана промежуточной измерительной ситуацией [1], т.е. уравнениями  $L_{ij}, M_{\gamma ij}, M_{\gamma cij}, M_{mij}$ . Граничные условия для  $ij$ -го замещения совпадают с граничными условиями «внешнего» индекса  $i$ . Законы распределения и плотностей вероятности определяются из условий композиции. В целом возникает возможность оценивать влияние оптимального алгоритмического разбиения на выбор и использование инструментальной базы, в том числе и на инструментальную погрешность. Таким образом, методика метрологических оценок сводится к описанию измерительной ситуации в иерархических вариантах структурно-аналитического синтеза и введению критерия минимума методической погрешности текущих и заключительных функций измерительных преобразований  $R_i$  и измерительной процедуры  $L$ , формирующих финальную измерительную структуру ИИС.

### ТЕХНОЛОГИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЛОЖНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

1) Для многомерной многопараметрической ИИС записываются уравнения «шкал» по всем измеряемым параметрам в виде аналитических уравнений, собранных в систему:

$$\begin{cases} \lambda_1(t) = F_1(a_1^1, \dots, a_n^1, \gamma_1(t)), \\ \dots \dots \dots \\ \lambda_m(t) = F_m(a_1^m, \dots, a_n^m, \gamma_m(t)). \end{cases} \quad (1)$$

2) Каждое уравнение «шкалы» переводится в категорную форму, и образуются множества всех компонентов категорий «шкал»:

$$\left. \begin{matrix} F_j^o: (G_1, \Lambda_1); \\ \dots \dots \dots \\ F_m^o: ((G_m, \Lambda_m)). \end{matrix} \right\} \rightarrow \left. \begin{matrix} f_1: \text{Hom}_{\mathbb{C}_1}(G_1, \Lambda_1); \\ \dots \dots \dots \\ f_m: \text{Hom}_{\mathbb{C}_m}(G_m, \Lambda_m). \end{matrix} \right\}. \quad (2)$$

3) Категории измерительных «шкал» представляют в виде графов с распределением функций и множеств из состава категорий, относящихся вершинам графа:

$$\left. \begin{matrix} F_1^o: (G_1, \Lambda_1) \leftrightarrow (G_1 \cup \Lambda_1, H_{F_1}), \\ \dots \dots \dots \\ F_m^o: (G_m, \Lambda_m) \leftrightarrow (G_m \cup \Lambda_m, H_{F_m}) \end{matrix} \right\}. \quad (3)$$

4) Оптимизируются структуры всех графов с перераспределением функций и формируются уравнения для каждой вершины графа:

$$\left. \begin{matrix} (G_1 \cup \Lambda_1, H_{F_1}) \xrightarrow{opt} [(G_1 \cup \Lambda_1)_{opt}, (H_{F_1})_{opt}], \\ \dots \dots \dots \\ (G_m \cup \Lambda_m, H_{F_m}) \xrightarrow{opt} [(G_m \cup \Lambda_m)_{opt}, (H_{F_m})_{opt}] \end{matrix} \right\} \rightarrow \times$$

$$\times \rightarrow \left\{ \begin{matrix} [G'_{1i} \in (G_1 \cup \Lambda_1)_{opt}, H'_{F_{1i}} \in (H_{F_1})_{opt}] \rightarrow (G'_{1i} \xrightarrow{H'_{F_{1i}}} G''_{1i}) \rightarrow G''_{1i} = \\ = F'_{1i} \dots (G'_{1i}) \\ \dots \dots \dots \\ [G'_{mi} \in (G_m \cup \Lambda_m)_{opt}, H'_{F_{mi}} \in (H_{F_m})_{opt}] \rightarrow (G'_{mi} \xrightarrow{H'_{F_{mi}}} G''_{mi}) \rightarrow G''_{mi} = \\ = F'_{mi} \dots (G'_{mi}) \end{matrix} \right. \quad (4)$$

5) Формируются категории преобразований в вершинах и устанавливаются все компоненты категорий:

$$\left. \begin{matrix} G''_{1i} = F'_{1i} \dots (G'_{1i}) \rightarrow F'_{1i}: (G'_{1i}, G''_{1i}), \\ \dots \dots \dots \\ G''_{mi} = F'_{mi} \dots (G'_{mi}) \rightarrow F'_{mi}: (G'_{mi}, G''_{mi}). \end{matrix} \right\}. \quad (5)$$

6) По сформированным категориям строятся графы и восстанавливаются новые распределения функций в вершинах графов:

$$\left. \begin{matrix} F'_{1i}: (G'_{1i}, G''_{1i}) \leftrightarrow (G'_{1i} \cup G''_{1i}, H_{F'_{1i}}), \\ \dots \dots \dots \\ F'_{mi}: (G'_{mi}, G''_{mi}) \leftrightarrow (G'_{mi} \cup G''_{mi}, H_{F'_{mi}}). \end{matrix} \right\}. \quad (6)$$

7) Оптимизируются структуры графов, и происходит перераспределение функций по вершинам:

$$\left. \begin{aligned} & (G'_{1i} \cup G''_{1i}, H_{F'_{1i}}) \xrightarrow{opt} \left[ (G'_{1i} \cup G''_{1i})_{opt}, (H_{F'_{1i}})_{opt} \right], \\ & \dots \dots \dots \\ & (G'_{mi} \cup G''_{mi}, H_{F'_{mi}}) \xrightarrow{opt} \left[ (G'_{mi} \cup G''_{mi})_{opt}, (H_{F'_{mi}})_{opt} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

8) И так далее ...

N. Выполняется аналитическая оптимизация заключительных уравнений шкалы:

$$\left. \begin{aligned} & F_{1i}^N: (G'_{1i}, G''_{1i}), \\ & \dots \dots \dots \\ & F_{mi}^N: (G'_{mi}, G''_{mi}). \end{aligned} \right\} \xrightarrow{opt} \left\{ \begin{aligned} & \lambda_{1opt} = F_{1opt}^N(a_1^1, a_2^1, \dots, a_n^1, t), \\ & \dots \dots \dots \\ & \lambda_{mopt} = F_{mopt}^N(a_1^m, a_2^m, \dots, a_n^m, t). \end{aligned} \right. \quad (8)$$

Завершающая совокупность уравнений шкалы является основанием для составления структуры системы мониторинга и служит для записи системы измерительных уравнений мониторинга.

N+1. Формируется система уравнений погрешностей для всех структурных компонентов уравнений мониторинга.

В соотношениях (1)-(9) приняты следующие обозначения:

- $\lambda_i(t)_{i=1 \div m}$  – выходная измеряемая величина  $i$  – го измерительного канала;
- $a_j^i$  –  $j$ -й конструктивный параметр ( $j = 1 \div n$ )  $i$ -го измерительного канала ;
- $\gamma_i(t)$  –  $i$  – я наблюдаемая (входная) величина;
- $F_i(t)$  – аналитическая функция связи входной величины  $\gamma_i(t)$  с выходной величиной  $\lambda_i(t)$  ;
- $G_i$  – множество значений входной величины  $i$ -го измерительного канала;
- $\Lambda_i$  – множество значений выходной величины  $i$  –го измерительного канала;
- $f_i$  – отображение, реализуемое  $i$ -м измерительным каналом;
- $\mathfrak{C}_i$  –  $i$ -я категория измерений, реализуемая  $i$ - м каналом измерений;
- $Hom_{\mathfrak{C}_i}$  – морфизм категории  $\mathfrak{C}_i$  ;
- $H_{F_i}$  – сеть аналитических функций  $F_i(t)$ , выбираемая в соответствии с принимаемой структурой системы (многоканальная, многопараметрическая, многоточечная, статистическая).

По функциям, полученным на 4, 6, и т.д. шагах, можно определить функции методической погрешности, соответствующие этим вариантам распределений в процессе проектирования. Таким образом, реализуется процедура иерархического метрологического анализа, т.е. в целом структурно-аналитический синтез (САС) – это процедура с шаговым метрологическим анализом, который позволяет оценивать качество выбора элементов (инструментальных модулей) проекта на базе более низких уровней иерархии. САС позволяет находить оптимальные структуры на всех уровнях иерархии. Финиш проектирования определяется минимумом достигнутой методической погрешности.

В соответствии с высказанными соображениями, в процессе САС получается последовательность функций методической погрешности, начиная с начального уровня и до финального:

$$\Delta_{мет}F_0 \rightarrow \Delta_{мет}F_1 \rightarrow \{\Delta_{мет}F_i\} \rightarrow \dots \rightarrow \Delta_{мет}F_{закл}, \quad (9)$$

что отвечает следующей структуре образования вариантов распределения:

$$F_0[F_0^1, \dots, F_0^k] - \left[ \begin{array}{c} \rightarrow F_1^1 \rightarrow \\ \rightarrow F_1^2 \rightarrow \\ \dots \\ \rightarrow F_1^n \rightarrow \end{array} \left[ \begin{array}{c} \rightarrow \dots \rightarrow F_m^1 \rightarrow \\ \rightarrow \dots \rightarrow F_p^1 \rightarrow \\ \rightarrow \dots \rightarrow F_l^2 \rightarrow \\ \rightarrow \dots \rightarrow F_k^2 \rightarrow \\ \dots \\ \rightarrow \dots \rightarrow F_r^n \rightarrow \\ \rightarrow \dots \rightarrow F_t^n \rightarrow \end{array} \right] \rightarrow \right] \rightarrow F_{\text{ЗАКЛ}}[F_m^1, F_k^2, \dots, F_t^n]. \quad (10)$$

На основании (10) можно записать:

$$\lambda_{\text{ЗАКЛ}}(t) = F_{\text{ЗАКЛ}}[R_m^1, R_k^2, \dots, R_t^n]. \quad (11)$$

Здесь принято:

- $F_j^i$  –  $i$ -й вариант функции  $j$ -го структурного элемента, получаемый в процессе структурных сверток ;
- $R_j^i$  – функция  $j$ -го измерительного преобразования, присвоенного  $i$ -му элементу измерительной структуры, соответствующей структуре (10) в варианте  $F_{\text{ЗАКЛ}}$ .

Так как  $\Delta_{\text{МЕТ}}F_i$  из (9) определяется на каждом шаге структурных сверток, то предположительно существует шаг, на котором  $\Delta_{\text{МЕТ}}F_i = \min$ . В таком случае целесообразно остановить процесс сверток на шаге  $j$  и считать, что полученная структура оптимальна по минимуму методической погрешности. То есть в соответствии с природой методической погрешности следует существование некоторой зависимости между функцией методической погрешности и структурой системы и ее компонентов. Действительно, структурный оптимум [4] определяется в зависимости от однородности функциональной представимости, которая определяется вычислительной сложностью, то есть количественной оценкой используемых арифметических операций (+, – ×, :). При этом все арифметические операции могут быть приведены к операции суммирования и далее к сдвиговым операциям. Таким образом, всякая вычисляемая функция по сложности оценивается отношением  $Sl = f(N)$ , где  $N$  – число используемых сдвигов. Сдвиги реализуются внешними управляющими воздействиями на аппаратную (регистровую) структуру. Таким образом, на одном сдвиговом регистре число функциональных (воздействия) и аппаратных (регистровая структура) компонент совпадает. Поэтому в рамках достигаемого оптимума [4] элементы аппаратной структуры, адекватные элементам множества  $T_{\min}$  (наименьшего множества внешней устойчивости [Берж]), близки по функциональной и аппаратной сложности, то есть по величинам полной погрешности. В этих условиях критерием достижения финала процесса структурно-аналитического проектирования может служить достигнутая полная погрешность, которая определяет операции преобразования в составе измерительной процедуры. Поэтому необходимо связывать операции преобразования  $R_i$  с функциями  $F_i$ , распределяемыми в процессе блочно-функционального распределения [4].

Обратимся к *примеру*. Предположим, что необходимо синтезировать одномерную четырехпараметрическую ИИС. Изберем мультиплицированный вариант системы с четырьмя входами, для которой справедлива следующая система уравнений шкал:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1(t) &= F_1(a_1^1, a_2^1, \dots, a_n^1, \gamma_1(t)) \\ \lambda_2(t) &= F_2(a_1^2, a_2^2, \dots, a_n^2, \gamma_2(t)) \\ \lambda_3(t) &= F_3(a_1^3, a_2^3, \dots, a_n^3, \gamma_3(t)) \\ \lambda_4(t) &= F_4(a_1^4, a_2^4, \dots, a_n^4, \gamma_4(t)) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В соответствии с *шагом 2* систему (12) переведем в категорную форму:

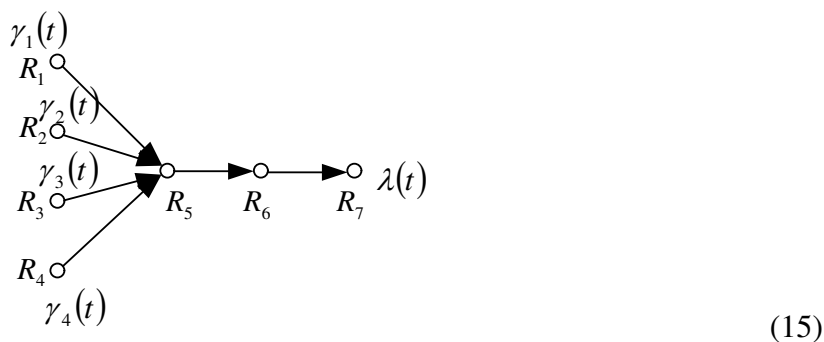
$$\left. \begin{aligned} F_1^0: (G_1, \Lambda_1), \\ F_2^0: (G_2, \Lambda_2), \\ F_3^0: (G_3, \Lambda_3), \\ F_4^0: (G_4, \Lambda_4) \end{aligned} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{aligned} f_1: \text{Hom}_{\mathbb{C}_1}(G_1, \Lambda_1), \\ f_2: \text{Hom}_{\mathbb{C}_2}(G_2, \Lambda_2), \\ f_3: \text{Hom}_{\mathbb{C}_3}(G_3, \Lambda_3), \\ f_4: \text{Hom}_{\mathbb{C}_4}(G_4, \Lambda_4). \end{aligned} \right. \quad (13)$$

Теперь реализуем *шаг 3*:

$$\left. \begin{aligned} F_1^0: (G_1, \Lambda_1) &\leftrightarrow (G_1 \cup \Lambda_1, H_{F_1}), \\ F_2^0: (G_2, \Lambda_2) &\leftrightarrow (G_2 \cup \Lambda_2, H_{F_2}), \\ F_3^0: (G_3, \Lambda_3) &\leftrightarrow (G_3 \cup \Lambda_3, H_{F_3}), \\ F_4^0: (G_4, \Lambda_4) &\leftrightarrow (G_4 \cup \Lambda_4, H_{F_4}). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

В качестве сетей  $H_{F_i}$  ( $i = \overline{1,4}$ ) выбирается структура мультиплицированных каналов  $\{H_{F_i}, (i = \overline{1,4})\}$  с коммутацией на единый измерительный тракт с общим АЦ-преобразованием и формированием общей шкалы результатов измерений за счет реализации программных модулей для обратных преобразований и масштабирования по каждому информативному параметру.

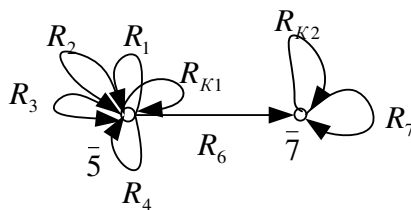
Отсюда *шаг 4* реализуется следующим образом: строится граф



что соответствует уравнению сети:

$$\lambda(t) = R_7 R_6 R_5 R_{K2} (R_4 + R_3 + R_2 + R_1) R_{K1} \{\gamma_i(t)\}. \quad (16)$$

Здесь  $R_i$  – это преобразования, соответствующие структуре мультиплицирующей сети  $\{H_{F_i}\}$ ;  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  – коммутирующие (развертывающие) преобразования. Согласно [4] осуществим структурную оптимизацию. В результате появляется следующая структура:



(17)

Структура (17) адекватна уравнению сети:

$$\lambda_j(t) = R_{\bar{7}}R_{\bar{5}}\{\gamma_i(t)\}. \quad (18)$$

где  $R_{\bar{5}} = R_5R_{K2}(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)R_{K1}$  и  $R_{\bar{7}} = R_7R_6$ .

Полученные операции преобразования  $R_{\bar{5}}$  и  $R_{\bar{7}}$  приводят к необходимости анализа их реализации, а значит к выполнению дополнительной проектной доработки на уровнях более низкой структурной иерархии.

Составим уравнения методических погрешностей [5] для вариантов систем, которые адекватны структурам (14) и (17), используя уравнения сети (15) и (18):

$$\Delta_{\text{МЕТ}}\lambda_{ij}(t) = R_7^{\text{И}}R_6^{\text{И}}R_5^{\text{И}}R_{K2}^{\text{И}} \begin{Bmatrix} R_1^{\text{И}} \\ R_2^{\text{И}} \\ R_3^{\text{И}} \\ R_4^{\text{И}} \end{Bmatrix} R_{K1}^{\text{И}}\{\gamma_{ij}(t)\} - R_7^{\text{Г}}R_6^{\text{Г}}R_5^{\text{Г}} \begin{Bmatrix} R_1^{\text{Г}} \\ R_2^{\text{Г}} \\ R_3^{\text{Г}} \\ R_4^{\text{Г}} \end{Bmatrix} R_{K1}^{\text{Г}}\{\gamma_{ij}(t)\} \quad (19)$$

и 
$$\Delta_{\text{МЕТ}}\lambda_{ij}(t) = R_7^{\text{И}}R_5^{\text{И}}\{\gamma_{ij}(t)\} - R_7^{\text{Г}}R_5^{\text{Г}}\{\gamma_{ij}(t)\}. \quad (20)$$

В данном случае индексы «и» и «г» соответствуют принятой и номинальной реализации преобразований  $R_i^{\text{И}}$  и  $R_i^{\text{Г}}$ . Принятая реализация отличается отсутствием инструментальной составляющей погрешности [1]. Видно, что выражение (20) отличается большей вычислительной компактностью, чем выражение (19). Следовательно, можно ожидать в конечном итоге снижение методической погрешности измерительной процедуры, адекватной структуре (14).

## ВЫВОДЫ

1) Структурно-аналитическое проектирование очень приспособлено, направлено на «манипуляции», «маневрирование» распределением блочных функций в процессе структурных преобразований. Поэтому здесь уместна оценка эффективности перераспределений не только по сложности (однородности сложности) функциональной представимости, но и по методической (алгоритмической) погрешности, достижимой на каждом шаге преобразований.

2) Вместе с методической погрешностью меняется и динамическая погрешность инструмента преобразования, достигаемая на каждом шаге структурной свертки, и том числе погрешность датирования, сопровождающая цифровую часть измерительной процедуры [7].

3) В блок-схеме процесса проектирования возможна коррекция цикла блочно-функционального проектирования [4] за счет использования второго критерия по оценке погрешности.

4) Целесообразно использовать методические погрешности для оценки и выбора числа шагов по структурной свертке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цветков, Э.И.* Основы математической метрологии [Текст] / Э.И. Цветков. – СПб.: Политехника, 2005. – 510 с.
2. *Фридман, А.Э.* Основы метрологии. Современный курс [Текст] / А.Э. Фридман. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.
3. *Соколов, Н.И.* Аналитический метод синтеза линеаризованных систем автоматического регулирования [Текст] / Н.И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1966. – 328 с.
4. *Муха, Ю.П. и др.* Алгебраическая теория синтеза сложных систем: Монография [Текст] / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева. – ВолгГТУ. Волгоград, 2003. – 320 с.
5. *Цветков, Э.И.* Метрология. Модели. Метрологический анализ. Метрологический синтез [Текст] / Э.И. Цветков. – Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 293 с.
6. *Берж, К.* Теория графов и ее применение [Текст] / К. Берж. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 319 с.
7. *Муха, Ю.П. и др.* Погрешность датирования (сдвига) результатов измерений и её связь с характеристиками интерфейса [Текст] / Ю.П. Муха, Э.И. Цветков, И.Ю. Королева // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 50–58.

## REFERENCES

- [1] Tsvetkov E.I. Osnovy matematicheskoi metrologii [Fundamentals of Mathematical Metrology]. Sankt-Peterburg. Pub. Politekhnik [Polytechnics], 2005, ISBN 5-7325-0793-0, 510 p. (in Russian)
- [2] Fridman A.E. Osnovy metrologii. Sovremenniy kurs [Fundamentals of Metrology. Modern Course]. Sankt-Peterburg. Pub. NPO «Professional» [Scientific and Production Center "Professional", 2008, ISBN 978-5-91259-018-4, 284 p. (in Russian)
- [3] Sokolov, N.I. Analiticheskii metod sinteza linearizovannykh sistem avtomaticheskogo regulirovaniia [Analytical Method of Synthesis of the Linearized Systems of Automatic Regulation]. M. Pub. Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1966. 328 p. (in Russian)
- [4] Mukha Yu.P., Avdeyuk O.A., Koroleva I.Yu. Algebraicheskaia teoriia sinteza slozhnykh sistem: Monografiia [Algebraic Theory of Synthesis of Difficult Systems: Monograph]. Volgograd. Pub. VolgGTU [Volgograd State Technical University], 2003, 320 s. (in Russian)
- [5] Tsvetkov E.I. Metrologiia. Modeli. Metrologicheskii analiz. Metrologicheskii sintez [Metrology. Models. Metrological Analysis. Metrological Synthesis]. Sankt-Peterburg. Pub. Izdatelstvo SPbGETU «LETI» [Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"], 2014, 293 p. (in Russian)
- [6] Berzh K. Teoriia grafov i ee primeneniye [Graph Theory and its Application]. M. Pub. Izdatelstvo inostrannoi literatury [Foreign Literature Publishing House], 1962, 319 p. (in Russian)
- [7] Mukha Iu.P., Tsvetkov E.I., Koroleva I.Iu. Pogreshnost datirovaniia (sdviga) rezultatov izmerenii i ee sviaz s kharakteristikami interfeisa [The Error in the Dating (Shift) of Measurement Results and its Relationship to the Characteristics of the Interface]. Globalnaya yadernaya bezopasnost [Global nuclear safety], 2016, №2, eISSN 2499-9733, ISSN 2305-414X, pp. 50–58. (in Russian)

### Metrological Estimates For Structural and Analytical Design of Complex Measurement Systems

**Y.P. Mucha\*, O.A. Avdeuk\*\*, I.Y. Koroleva\*\*\*, A.D. Korolev\*\*\*\***

*Volgograd state technical university,  
Lenin, 28, Volgograd, Russia, 400005*

*\* e-mail: muxaup@mail.ru*

*ORCID: 0000-0003-0919-5732*

*WoS Researcher ID: M-4084-2015;*

*\*\* e-mail: oxal2@mail.ru*

*ORCID: 0000-0001-6201-8773*

*WoS Researcher ID: L-9862-2015*

*\*\*\* e-mail: artmd64@rambler.ru*

*ORCID: 0000-0002-9185-6976*

*WoS Researcher ID: N-4037-2015;*

*\*\*\*\* e-mail: artmd64@mail.ru*

*ORCID: 0000-0003-2175-2204*



*WoS Researcher ID: G-21091-2017*

**Abstract** – The creation of complex measuring devices and control systems is carried out based on analytical, structural, structural and analytical methods. It is noted that at design of measuring means algorithms (functions) are chosen at first implemented by measuring system and then the equipment for realization of algorithms is selected or created. At the same time there are no ideology and formalism of the metrological description corresponding to process of synthesis of difficult information and measuring systems. There is no problem of development of estimated ratios for the analysis of the current design and result of design in general. The problem of the general error reduction of measurement results is a problem urgent always. Therefore, also kickdown of the general error at a design stage due to a methodical error reduction is also urgent. Preferable method of synthesis of difficult information and measuring systems is structural and analytical, realized according to the scheme: an analytical form  $\rightarrow$  category  $\rightarrow$  the graph with optimization of structure  $\rightarrow$  the analytical forms distributed to the column  $\rightarrow$  categories  $\rightarrow$  columns with optimization of structure  $\rightarrow$  ...  $\rightarrow$  a final analytical form with analytical optimization. An innovative component is the technology of metrological analysis of a complex measuring system. The result of the research is the synthesis of the equations of methodical error for one-dimensional four-parameter information and measuring systems in the multiplexed version of commutation of input channels.

*Keywords:* structural and analytical design of the system, complex measuring system, total measurement error, metrological evaluation of measurement error.