

УДК 389.1

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРОЧНЫХ СХЕМ ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*Асп. ЧЕРВЯКОВСКАЯ Н. Н., докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л.*

*Белорусский национальный технический университет*

Главной задачей государственной метрологической службы Республики Беларусь является обеспечение единства измерений, практическая реализация которой в различных областях измерений достигается путем разработки и внедрения поверочных схем, законодательно устанавливающих порядок передачи размера единиц физических величин (ФВ) от государственных (национальных) либо исходных эталонов к рабочим средствам измерений (СИ).

Поверочная деятельность в Республике Беларусь регламентируется Законом Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», СТБ 8003 [1]. Она направлена на обеспечение единства измерений в стране, которое достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц ФВ. Порядок передачи размера единиц ФВ от эталонов к рабочим СИ законодательно установлен в поверочных схемах, утвержденных в виде технических нормативно-правовых актов (ТНПА).

Поверочные схемы разрабатывают для решения задач метрологического обеспечения СИ, находящихся в области государственного контроля и надзора, при их производстве и эксплуатации, а также для отдельных единиц ФВ. Однако иногда одна поверочная схема может распространяться на целый вид измерений. Возможны случаи, когда для одного вида измерений могут действовать несколько поверочных схем.

Государственные и локальные поверочные схемы Республики Беларусь разрабатываются согласно СТБ 8025 [2] и определяют порядок передачи размера единицы ФВ от государственного (национального) или исходного эталона к рабочим СИ. Классификация повероч-

ных схем в зависимости от вида эталона, находящегося во главе поверочной схемы, приведена на рис. 1.

Вид эталона	Вид поверочной схемы
Международный	Международная поверочная схема МОЗМ Д5
Межгосударственный	Межгосударственная поверочная схема ГОСТ 8.061, ПМГ 35
Национальный (исходный) Республики Беларусь	Государственная поверочная схема СТБ 8025
Исходный предприятий, организаций Республики Беларусь	Локальная поверочная схема СТБ 8025

*Рис. 1. Классификация поверочных схем в зависимости от вида эталонов*

Необходимо отметить увеличение утверждаемых национальных эталонов и поверочных схем, что связано с развитием науки и техники, расширением области измерений и использованием современной измерительной техники в различных областях хозяйственной деятельности.

Наличие поверочной схемы является обязательным условием для практического проведения поверки и передачи размера единицы ФВ от эталона к рабочим СИ, но недостаточным в условиях постоянного увеличения парка пове-

ряемых СИ, расширения круга решаемых метрологических задач. Любая поверочная схема содержит сведения о средствах, методах и точности передачи размера единиц ФВ от национального (исходного) эталона к рабочим СИ и представляет собой один из возможных вариантов системы передачи размера единицы ФВ (СПРЕФВ), реализованный с помощью конкретных СИ требуемой точности.

На практике для проведения поверки заданного количества рабочих СИ в установленные сроки с минимальными затратами, наряду с метрологическими параметрами, характеризующими уровень точности передачи размера единицы ФВ от национального эталона к рабочим СИ, необходимо учитывать организационно-технические и экономические параметры.

В настоящее время в прикладной метрологии отсутствуют единые методики комплексного решения вопросов рациональной организации и проведения поверки СИ. Для решения таких задач предлагается разрабатывать рабочие поверочные схемы, представляющие собой пространственные схемы, отражающие реальный порядок передачи размера единицы ФВ в соответствии с поверочной схемой и содержащие информацию о необходимом количестве эталонных СИ, участвующих в СПРЕФВ, распределении поверочных потоков с учетом географического расположения эталонных СИ, пропускной способности эталонного оборудования и т. д.

Целью разработки рабочих поверочных схем является обеспечение рационального проведения поверки СИ и повышение эффективности метрологических работ.

Главное требование, предъявляемое к рабочим поверочным схемам, – обеспечение необходимого уровня точности передачи размера единицы от национального эталона к рабочим СИ при поверке и обеспечение поверкой заданного количества рабочих СИ  $n$  в установленные сроки  $t$  с минимальными затратами  $Z_{\Sigma}$ :

$$\begin{cases} A = \text{const}; \\ Z_{\Sigma} \rightarrow \min; \\ t \leq T \text{ (МПИ)}; \\ n \leq N_{\Sigma}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $A$  – требуемый уровень точности передачи размера единицы ФВ от национального (исходного) эталона к рабочим СИ;  $Z_{\Sigma}$  – суммарные экономические затраты на проведение поверки заданного количества рабочих СИ в установленные сроки с минимальными затратами;  $N_{\Sigma}$  – общее количество рабочих СИ, которое может быть поверено в рабочей поверочной схеме для СИ;  $T$  – значение межповерочного интервала (МПИ), в течение которого должно быть поверено установленное количество рабочих СИ.

В общем виде уровень точности передачи размера единицы ФВ в поверочной схеме является функцией ряда влияющих величин:

$$A = f(X_1, X_2, X_3, X_4), \quad (2)$$

где  $X_1$  – погрешности СИ, участвующих в передаче размера единицы ФВ;  $X_2$  – то же методов передачи размера;  $X_3$  – соотношения допустимых (пределов) погрешностей эталонных и поверяемых СИ, находящихся на соседних ступенях передачи размера единицы ФВ;  $X_4$  – критерии достоверности поверки (вероятность признания годными негодных СИ и процент забраковки годных СИ).

Зависимости (1), (2) представляют собой математическую модель, отражающую требования, предъявляемые к рабочим поверочным схемам для СИ при проведении поверки заданного парка рабочих СИ. Данную зависимость будем рассматривать как постановку задачи в формализованном виде для определения оптимальных параметров рабочих поверочных схем для СИ, выполняющих данные требования.

Поскольку проведение поверки заданного количества рабочих СИ является комплексной проблемой, ее реализацию необходимо рассматривать как многокритериальную оптимизационную задачу. Для ее решения необходима разработка методик расчета и построения математических моделей отдельных параметров, описывающих рабочие поверочные схемы, с целью создания общей математической модели параметров рабочей поверочной схемы для СИ и проведения возможной оптимизации данной модели.

Для построения рабочих поверочных схем и обоснования рассматриваемых параметров предлагается использовать принцип многокритериальности, позволяющий комплексно по-

дойти к вопросу их построения и определения необходимого и достаточного набора параметров, задающих данные схемы.

С точки зрения комплексного подхода принцип многокритериальности формулируется следующим образом: для максимально эффективного проведения поверки заданного количества СИ в установленные сроки с оптимальными затратами необходимо учитывать комплекс взаимосвязанных критериев: метрологических, структурных, организационно-технических и экономических, необходимых для практического обеспечения единообразия СИ.

Для построения рабочих поверочных схем для СИ предлагается методика, требующая решения двух основных теоретических задач:

- разработки собственно поверочной схемы, законодательно отражающей порядок передачи размера единицы ФВ от национального эталона к рабочим СИ;
- разработки рабочей поверочной схемы для СИ, т. е. конкретизированной пространственной СПРЕФВ, отражающей на практике порядок передачи размера единицы ФВ от национального эталона к рабочим СИ при поверке и содержащей подробную информацию о структурных, организационно-технических и экономических параметрах, необходимых для организации и рационального проведения поверки заданного количества рабочих СИ в установленные сроки с минимальными затратами.

Для решения первой теоретической задачи предлагается следующий алгоритм (рис. 2), включающий:

- синтез структуры поверочной схемы, отражающей порядок передачи размера единицы ФВ от национального (исходного) эталона к рабочим СИ;
- метрологический расчет, позволяющий построить правильную с метрологической точки зрения поверочную схему;
- размерный расчет структуры поверочной схемы с целью анализа и обоснования правильности ее построения и возможной оптимизации в части числа ступеней передачи размера единицы, соотношений допустимых погрешностей между поверяемыми и эталонными СИ, ранжирования СИ по точности и присвоения им разрядов, использование других эталонных СИ, обеспечивающих заданную точность.

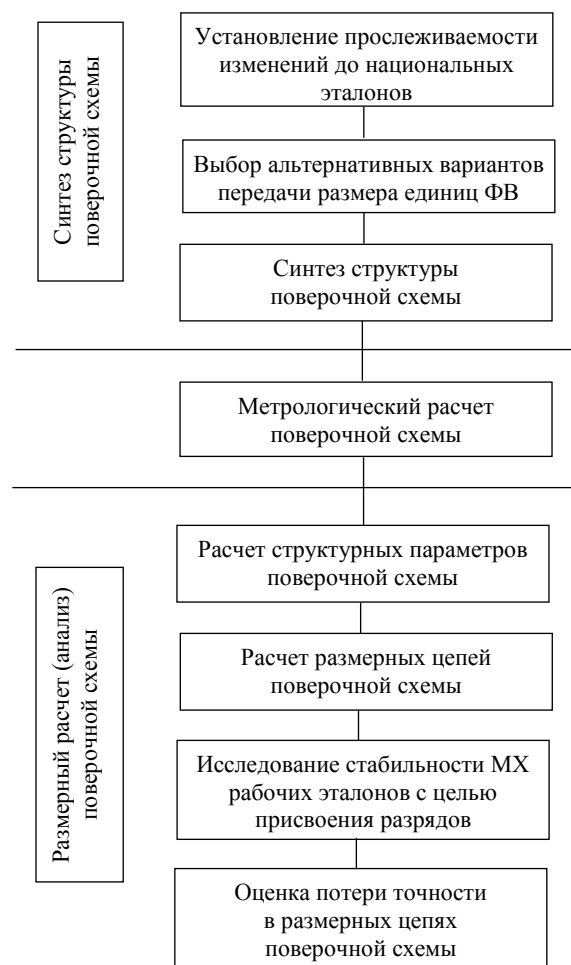


Рис. 2. Алгоритм синтеза и анализа поверочных схем

Рассмотрим более подробно размерный расчет поверочной схемы, который предполагает:

- 1) расчет структурных параметров поверочной схемы, позволяющий определить область допустимых значений числа ступеней передачи размера единицы ФВ в поверочной схеме и установить оптимальность числа ступеней разрабатываемой поверочной схемы;
- 2) расчет размерных цепей поверочной схемы, позволяющий проверить правильность построения поверочной схемы;
- 3) исследование стабильности МХ рабочих эталонов с целью их ранжирования по точности и возможности распределения по разрядам;
- 4) оценку потери точности в поверочных схемах с целью определения оптимальной ветви поверочной схемы, реализующей оптимальный вариант передачи размера от национального (исходного) эталона к рабочим СИ с минимальными погрешностями накопления.

Расчет структурных параметров поверочной схемы заключается в определении числа ступеней  $Q$  передачи размера единицы ФВ, которое должно быть в поверочной схеме, чтобы ее структура была оптимальной с точки зрения соблюдения принципа точности при передаче размера единицы ФВ от национального эталона к рабочим и обеспечения поверкой заданного количества рабочих СИ.

Количество ступеней  $Q$  передачи размера единицы ФВ определяется на этапе синтеза структуры поверочной схемы как ориентировочное и при размерном расчете (размерном анализе) уточняется. Оптимальное число ступеней  $Q$  передачи размера единицы ФВ должно находиться в области допустимых значений, которое характеризуется минимально возможным  $Q_{\min}$  и максимально допустимым  $Q_{\max}$  числом ступеней передачи размера:

$$Q \in [Q_{\min}; Q_{\max}]. \quad (3)$$

Расчет размерных цепей заключается в выделении и расчете размерных цепей по передаче размера в поверочной схеме. Отдельные ветви передачи размера единицы от национального эталона к рабочим СИ представляют собой размерные цепи, отличающиеся используемыми СИ, методами передачи размера, количеством ступеней передачи размера и т. д. Для расчета размерных цепей поверочных схем предлагается методика с использованием положений теории размерных цепей

$$Y = A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n, \quad (4)$$

где  $Y$  – конечный размер единицы ФВ, переданный от эталона к рабочим СИ на самой нижней ступени передачи размера;  $X_n$  – размер единицы ФВ на  $n$ -й ступени передачи;  $A_n$  – соотношение допустимых погрешностей (пределов) СИ (эталонного и поверяемого), находящихся на соседних ступенях передачи размера.

Исследование стабильности метрологических характеристик МХ СИ, участвующих в поверочной схеме, проводится с целью оценки стабильности МХ и возможности их ранжирования по показателям нестабильности для присвоения разрядов. Задача исследования стабильности МХ СИ в метрологической практике может решаться как для рабочих СИ, рабочих эталонов, так и верхних звеньев поверочных

схем (национальных либо исходных) эталонов с целью подтверждения их высокой долговременной стабильности.

Оценка потери точности в поверочных схемах проводится с целью установления оптимальной ветви передачи размера единицы ФВ, т. е. ветви передачи размера единицы, имеющей наименьшие погрешности накопления:

$$\begin{aligned} \Sigma M[X_i] &= \min; \\ \Sigma S_{ij} &= \min. \end{aligned} \quad (5)$$

Оценка потери точности в поверочных схемах проводится на основе вероятностного подхода с учетом того, что конечный размер, переданный от национального (исходного) эталона к рабочим СИ, является композицией распределений размеров предыдущих ступеней передачи размера. Для определения параметров условного распределения конечного размера используется аппарат математической статистики и теории вероятности.

Для расчета организационно-технических, структурных и экономических параметров рабочих поверочных схем для СИ в соответствии с принципом многокритериальности предлагаются отдельные методики расчета:

- расчет показателей эффективности функционирования рабочих поверочных схем (количество необходимого эталонного оборудования для поверки СИ данной поверочной схемы, рабочих мест поверителей, интенсивность поступления заявок в рабочую поверочную схему, необходимость создания резервного фонда); его осуществляют с использованием теории массового обслуживания; для расчета интенсивности поступления заявок на поверку проводят статистический эксперимент с целью установления закона их распределения;
- анализ достаточности количества эталонных СИ на каждой ступени поверочной схемы, реально участвующих в рабочей поверочной схеме;
- расчет структурных параметров проводится путем определения области максимально допустимых и минимально возможных ступеней передачи размера единиц согласно стандартной методике МИ 83 [3];
- расчет экономических затрат на создание, внедрение и эксплуатацию СИ, участвующих в рабочей поверочной схеме для СИ;

- оптимизация поверочных потоков СИ в рабочей поверочной схеме с учетом географического расположения эталонных СИ и их пропускной способности; она проводится путем построения ориентированного графа состояний рабочей поверочной схемы, использования алгоритма Фалькерсона для упорядочения элементов графа и решения задачи о максимальном потоке, проходящем через рабочую поверочную схему [4].

### ВЫВОД

Таким образом, на основе предложенных методик расчета параметров рабочих поверочных схем для СИ с помощью принципа многокритериальности возможно построить математические модели определения оптимальных па-

раметров рабочих поверочных схем для СИ с целью эффективного управления ими.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка СИ. Организация и порядок проведения; СТБ 8003–93: Введ. 01.07.1994. – Минск: Белстандарт, 1993. – 62 с.
2. Поверочные схемы. Построение и содержание; СТБ 8025–2005 ГСИ: Введ. 01.05.2006. – Минск: Госстандарт, 2005. – 9 с.
3. Методика определения параметров поверочных схем / МИ 83–76 ГСИ // Утв. Научно-техническим советом ВНИИМ от 18.12.1974. – Введ. впервые; Введ. с 01.01.1976. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 67 с.
4. Червяковская, Н. Н. Разработка рабочих поверочных схем для средств измерений на основе принципа многокритериальности / Н. Н. Червяковская // Отчет о НИР. – Минск: БелГИМ, 2003. – 47 с.

Поступила 26.12.2006

УДК 621.317.001.891.573

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНИЗОТРОПИИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОГО ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*Канд. техн. наук, доц. ДЖЕЖОРА А. А., докт. техн. наук РУБАНИК В. В.*

*Витебский государственный технологический университет,  
Институт технической акустики НАН Беларуси*

Для неразрушающего контроля изделий электроемкостными методами в последнее время широко используют зеркально-симметричные конструкции преобразователей [1, 2], которые обладают широкими функциональными возможностями: позволяют контролировать анизотропию физических свойств плоских материалов [3], осуществлять послойный контроль [4], устранять погрешности, обусловленные температурными изменениями геометрических размеров электродов и диэлектрических

свойств подложек электроемкостных преобразователей [5]. Для практической реализации таких конструкций требуется построение математической модели, позволяющей оптимизировать параметры преобразователя.

В данной статье приводится расчет математической модели многосекционного ленточного зеркально-симметричного накладного измерительного конденсатора (ЗСНИК) с дополнительным охранным электродом. Рассматривается случай, когда исследуемый матери-