

РАБОЧИЕ ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ И МЕТОДИКА ИХ ПОСТРОЕНИЯ

Докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л., ЧЕРВЯКОВСКАЯ Н. Н.

*Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный институт метрологии*

Единство измерений достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц физических величин посредством эталонов и передачи их размеров применяемым рабочим средствам измерений. Порядок передачи размера единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений законодательно установлен в поверочных схемах, утвержденных нормативными документами (государственных стандартах либо методических инструкциях).

Наличие поверочной схемы – обязательное, но не достаточное условие для проведения поверки средств измерений. Любая поверочная схема, определяющая порядок передачи размера единицы физической величины при поверке, является плоской (одновекторной) системой, законодательно реализованной в нормативном документе. Реальная процедура поверки, функционирующая с целью обеспечения передачи размера единиц физических величин, хранимых и воспроизводимых конкретными средствами измерений, на практике является более сложной и разнообразной.

В МОЗМ Д5 [1] указано, что для реализации поверочной схемы, кроме поверочных цепей, отражающих метрологическую соподчиненность средств измерений при передаче размера единицы физической величины, необходимо учитывать число эталонов, хранящих и воспроизводящих единицу физической величины, число и достаточность рабочих эталонов, участвующих в передаче размера единицы физической величины, расположение организаций-хранителей эталонов и так далее.

Органы государственной метрологической службы, одной из основных функций которых являются организация и проведение поверки средств измерений, находящихся в области государственного метрологического надзора, решают вопросы рационального обеспечения поверкой всего парка эксплуатируемых средств измерений. Кроме того, рациональная организация поверки актуальна с учетом постоянно увеличивающихся объемов средств измерений, представляемых на поверку.

Организация эффективного проведения поверки средств измерений (заданного количества средств измерений в установленные сроки с оптимальными затратами) для органов государственной метрологической службы становится не только метрологической, но и организационно-технической и экономической задачей [2...4]. Для практической организации поверки необходимо располагать информацией об организационно-технических и экономических параметрах поверочных схем.

В настоящее время в прикладной метрологии отсутствуют единые методики, позволяющие комплексно решать данную задачу, хотя актуальность такого подхода очевидна. Для ее решения предлагается создавать рабочие поверочные схемы, которые бы несли информацию о необходимом количестве эталонных средств измерений, участвующих в передаче размера единицы физических величин, конфигурации поверочных потоков, безусловно обеспечивающих пропускную способность эталонного оборудования, и так далее. Цель разработки рабочих поверочных схем – обеспечение ра-

ционального проведения поверки средств измерений и повышение эффективности метрологических работ.

Для создания рабочих поверочных схем предлагается использовать методику синтеза и анализа на основе принципа многокритериальности, позволяющего комплексно подойти к вопросу их построения.

Принцип многокритериальности можно сформулировать следующим образом: для максимально эффективного проведения поверки заданного количества средств измерений в установленные сроки с оптимальными затратами необходимо учитывать комплекс взаимосвязанных параметров: метрологических, структурных, организационно-технических и экономических (рис. 1).

Метрологические параметры определяют уровень точности передачи размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений в поверочной схеме.

Структурные параметры определяют число ступеней передачи для построения оптимизированной системы передачи размера единиц физической величины. В рабочей поверочной схеме, т. е. пространственной системе

передачи размера единицы, необходимо учитывать географическое распределение эталонных средств измерений, их количество, рационально распределить поверочные потоки по территории республики с учетом их географического расположения и пропускной способности.

Организационно-технические параметры предусматривают условия, которые обеспечивают безусловную поверку определенного парка рабочих средств измерений в течение межповерочного интервала с минимально возможными затратами.

Экономические параметры определяют стоимость создания и затраты на функционирование рабочих поверочных схем.

Предлагаемая методика синтеза и анализа рабочих поверочных схем включает разработку поверочной схемы, законодательно отражающей порядок передачи размера единицы физической величины (включение средств измерений в ранее утвержденную поверочную схему) и расчет параметров рабочей поверочной схемы согласно принципу многокритериальности. Алгоритм синтеза и анализа рабочих поверочных схем приведен на рис. 2.



Рис. 1. Факторы, учитываемые при реализации принципа многокритериальности в ходе построения рабочих поверочных схем



Рис. 2. Алгоритм разработки рабочих поверочных схем на основе принципа многокритериальности

Алгоритм включает разработку поверочной схемы (плоской или одновекторной системы передачи размера единицы физической величины), отражающей порядок передачи размера единицы физической величины от эталона к рабочим средствам измерений, и создание рабочей поверочной схемы (модели пространственной системы передачи размера единицы физической величины, реально функционирующей на практике).

Первым этапом создания поверочной схемы является построение схем прослеживаемости до национальных эталонов единицы, для которой разрабатывается поверочная схема. Полученные схемы прослеживаемости являются «каркасом» разрабатываемой поверочной схемы. Выбор оптимизированных ветвей передачи размера единиц в поверочной схеме из возможных альтернативных вариантов осуществляется путем оценки потери точности в ветвях поверочной схемы с использованием аппарата многомерного статистического суммирования.

После построения структуры поверочной схемы проводим ее размерный анализ, который заключается в выделении и расчете размерных цепей по передаче размера в поверочной схеме с целью ее дальнейшей оптимизации.

Отдельные ветви передачи размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений представляют собой размерные цепи. При пе-

редаче размера единицы физической величины от эталона вниз по поверочной схеме происходит потеря точности (так называемый эффект размножения погрешностей – propagation error law). Для расчета размерных цепей рекомендуется использовать положения теории размерных цепей [5].

Размерный анализ состоит из двух основных этапов: первый, собственно построение и расчет размерных цепей. Он сводится к оптимизации таких параметров поверочных схем, как соотношение допустимых погрешностей, число ступеней передачи размера единицы; присвоение разрядов эталонам, выбор альтернативных эталонов. Затем проводится оценка потери точности в отдельных ветвях поверочной схемы с целью выбора оптимизированных ветвей передачи размера единицы.

Для присвоения разрядов рабочим эталонам в поверочной схеме предлагается провести изучение стабильности их метрологических характеристик. Ввиду отсутствия нормативного документа, устанавливающего порядок присвоения разрядов средствам измерений, для исследования стабильности предлагается построить матрицы значений для каждого средства измерений, в которых будут приведены результаты не менее трех метрологических проверок этого средства измерений (калибровки, государственных испытаний, метрологической аттестации, проверки и так далее). На основе

значений дрейфа метрологических характеристик рабочих эталонов для каждого типа построим матрицы стабильности. Рассчитав их числовые характеристики (определители и следы матриц), сравним их между собой. Если полученное соотношение составит более $1/2 \dots 1/3$, то можно выдвигать гипотезу о возможности присвоения разрядов рабочим эталонам в поверочной схеме.

Оценка потери точности в поверочной схеме проводится путем статистического многомерного суммирования. Конечный размер, переданный от эталона к рабочим средствам измерений на нижние ступени поверочной схемы, является многомерной случайной величиной, условное распределение которой представляет композицию распределений значений передаваемого размера на отдельных ступенях поверочной схемы. Рассматривая числовые характеристики условного распределения конечного размера на самой нижней ступени передачи размера каждой ветви, можно выбрать ее оптимальную ветвь. В качестве оптимальной принимается ветвь с минимальными погрешностями накопления.

Для расчета организационно-технических, структурных и экономических параметров рабочих поверочных схем согласно принципу многокритериальности предлагаются отдельные методики расчета:

- расчет показателей эффективности функционирования рабочих поверочных схем (количество необходимого эталонного оборудования для поверки средств измерений данной поверочной схемы, рабочих мест поверителей, интенсивность поступления заявок в рабочую поверочную схему, необходимость создания резервного фонда) проводится с использованием теории массового обслуживания; для расчета интенсивности поступления заявок на поверку проводится статистический эксперимент

с целью установления закона их распределения;

- анализ достаточности количества эталонных СИ на каждой ступени поверочной схемы, реально участвующих в рабочей поверочной схеме, проводится с использованием теории множеств [6];

- расчет структурных параметров проводится путем определения области максимально допустимых и минимально возможных ступеней передачи размера единиц согласно стандартной методике МИ 83–76 [7];

- оптимизация поверочных потоков средств измерений в рабочей поверочной схеме проводится с использованием теории графов, информационной логистики и теоремы Фалькерсона о максимальном потоке, проходящем через рабочую поверочную схему.

Данная методика опробована на примере тахографов, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. **МОЗМ Д5–1987.** Принципы создания поверочных схем-средств измерений. – М.: Стандарты, 1988.
2. **Селиванов М. Н., Фридман А. Э., Кудряшова Ж. Ф.** Качество измерений: Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с.
3. **Фрумкин В. Д., Рубичев Н. А.** Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике. – М.: Машиностроение, 1987. – 167 с.
4. **Фридман А. Э.** Концепция построения перспективных поверочных схем // Измерительная техника. – 1988. – № 10. – С. 3–5.
5. **Дунаев П. Ф.** Размерные цепи. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроит. лит., 1963. – 308 с.
6. **Резник К. М.** Определение числа ступеней поверочных схем // Труды метрологических институтов СССР: Общие вопросы метрологии. – Л.: Энергия, 1977. – Вып. 200 (260). – С. 106–112.
7. **МИ 83–76.** Государственная система обеспечения единства измерений: Методика определения параметров поверочных схем. – М.: Стандарты, 1977.