

Лекция 9

СОЗДАНИЕ НЕСТАНДАРТИЗОВАННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Метрологические работы, связанные с созданием и применением НСИ

Экспериментальная деятельность непременно связана с созданием новых и расширением функциональных возможностей известных средств измерений (СИ). При этом встает проблема обоснования достоверности полученных с помощью этих СИ результатов, т.е. оценки их метрологических характеристик.

К нестандартизованным СИ относят:

Новые СИ

СИ, ввезенные в РБ из-за границы в одном или нескольких экземплярах, метрологические характеристики которых не установлены или не подтверждены в установленном порядке

СИ общего применения, которые должны использовать в целях или в условиях, не соответствующих их назначению

Виды метрологических работ, связанные с разработкой и созданием НСИ:

1

- Разработка и метрологическая экспертиза технического задания;

2

- Разработка проекта эксплуатационной документации;

3

- Градуировка технического устройства;

4

- Исследование погрешности НСИ и других метрологических свойств;

5

- Уточнение проекта эксплуатационной документации по результатам исследования;

6

- Разработка и реализация программы метрологической аттестации и представление НСИ на аттестацию;

7

- Метрологическая аттестация НСИ;

8

- Метрологическое обеспечение эксплуатации НСИ (периодические поверки, включая при необходимости корректировку эксплуатационной документации).

9.2 Разработка и метрологическая экспертиза технического задания

Техническое задание (ТЗ) устанавливает исходные требования к разрабатываемому НСИ.

В общем случае техническое задание должно содержать следующие разделы:

Наименование, назначение, область и условия применения.

- В данном разделе указывают наименование, назначение разрабатываемого нестандартизованного средства измерений, дают краткую характеристику области и условий его применения (образцовое или рабочее, стационарное или переносное, лабораторное или предназначенное для работы в полевых условиях, используемое самостоятельно или входящее в состав измерительной установки, измерительного канала);

Основание для разработки.

- Приводят наименование документа, которым предусмотрена данная разработка и шифр темы разработки;



Цель и технико-экономическое обоснование разработки.

- Излагают конкретное функциональное назначение НСИ; определяют множество физических величин, которое можно измерять этим средством, диапазон измерений, выполняемые функции (измерение с отсчитыванием показаний, с регистрацией показаний, измерение воспроизведенной физической величины и т.д.); для преобразователей и каналов измерительных систем, кроме этого, определяют информативный параметр выходного измерительного сигнала. В данном пункте также указывают перечень аналогов НСИ и дают обоснование невозможности или нецелесообразности их применения, указывают предположительную потребность в разрабатываемых средствах;

Источники разработки.

- В настоящем пункте приводится перечень научно-исследовательских работ, предшествующих данной разработке, а также образцов и макетов, на базе которых выполняют разработку;



Технические требования.

- В данном пункте приводятся рабочие условия применения; содержатся требования к точности НСИ, номенклатуре подлежащих регламентации метрологических характеристик; надежности, времени измерений, степени автоматизации измерений, конструкции (габаритным размерам, массе и т.д.); метрологическому обеспечению изготовления и эксплуатации НСИ;

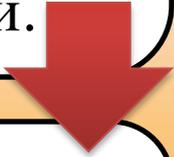
Этапы разработки.

- В этом пункте устанавливают необходимые этапы разработки, сроки их выполнения, состав документации, представляемой на метрологическую экспертизу на каждом этапе;

Порядок контроля и приемки.

- В данном пункте приводится перечень конструкторских и технологических документов, подлежащих разработке; общие требования к приемке работы на этапах; требования к разработке программы метрологической аттестации и месту ее проведения.

Метрологическая экспертиза - это анализ технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности измерений и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта продукции.



Цели метрологической экспертизы: выявление ошибочных или необоснованных решений по метрологическому обеспечению и оказание помощи разработчику в поиске наиболее рациональных решений.



Метрологической экспертизе подвергаются: техническое задание; конструкторская и технологическая документация на продукцию основного и вспомогательного производств, содержащая требования к средствам измерений, условиям и процедуре измерений, нормы и показатели точности измерений.

9.3 Разработка проекта эксплуатационной документации

На нестандартизованное средство измерений оформляют, как правило, один эксплуатационный документ, который объединяет техническое описание, инструкцию по эксплуатации и формуляр. Методика поверки является составной частью этого документа.

Структура проекта эксплуатационной документации:

1 раздел регламентирует назначение и условия эксплуатации НСИ.

Определить назначение НСИ – это указать множество физических величин, сведения о которых можно получить, применяя это средство измерений, при известных характеристиках их погрешностей.

Необходимо определить условия эксплуатации НСИ, при которых метрологические характеристики с гарантированной точностью и достоверностью выражают его метрологические свойства и, как следствие, вырабатываемый сигнал является измерительным сигналом, соответствующим назначению НСИ. Условия эксплуатации определяют, указывая нижнюю и верхнюю границы интервала допустимых значений физических величин, являющихся свойствами окружающей среды или свойствами технических устройств, которые могут взаимодействовать с НСИ во время эксплуатации. Отсутствие ограничения допустимых значений определенной влияющей величины рассматривают как допущение любого ее значения.

2 раздел регламентирует комплектность изделия.

В комплект поставки НСИ включают составные его части, сменные блоки, принадлежности и запасные части, необходимые для выполнения измерений в соответствии с назначением, поверки и технического обслуживания НСИ в процессе эксплуатации, а также все эксплуатационные документы.

3 раздел регламентирует порядок работы.

В данном разделе излагаются требования ко всем действиям операторов по подготовке и проведению измерений:

- правила соединения НСИ с другой аппаратурой и подключения его к объекту;
- исходные положения органов управления и настройки;
- продолжительность времени установления рабочего режима;
- меры по защите от помех и устранению влияния внешних факторов;
- порядок настройки НСИ перед работой;
- порядок действий оператора при выполнении измерений.

Здесь же должны быть приведены алгоритмы расчета инструментальной составляющей погрешности измерений, выполняемых с помощью НСИ. Если нестандартизованное средство измерений предназначено для измерений нескольких величин, то такие алгоритмы должны быть указаны для каждой из этих величин.

4 раздел регламентирует поверку НСИ.

В разделе должны быть установлены операции поверки (и, тем самым, номенклатура метрологических свойств, контролируемых при поверке), методы, средства и условия поверки, порядок подготовки к поверке, порядок проведения поверки, периодичность поверки, порядок оформления результатов поверки.

На первом этапе разрабатывают проект эксплуатационной документации, который обязательно должен подвергаться метрологической экспертизе.

Метрологическая экспертиза проекта эксплуатационной документации заключается в анализе решений по установлению норм точности НСИ и обеспечению методами измерений процессов эксплуатации разрабатываемого средства измерений.

9.4 Градуировка технического устройства

Чтобы выполнить градуировку измерительного преобразователя или канала измерительной системы, необходимы, как минимум, два образцовых средства измерений (ОСИ): с помощью ОСИ-1 измеряют или воспроизводят физическую величину x а с помощью ОСИ-2 измеряют информативный параметр НСИ y (см. рис.9.1).

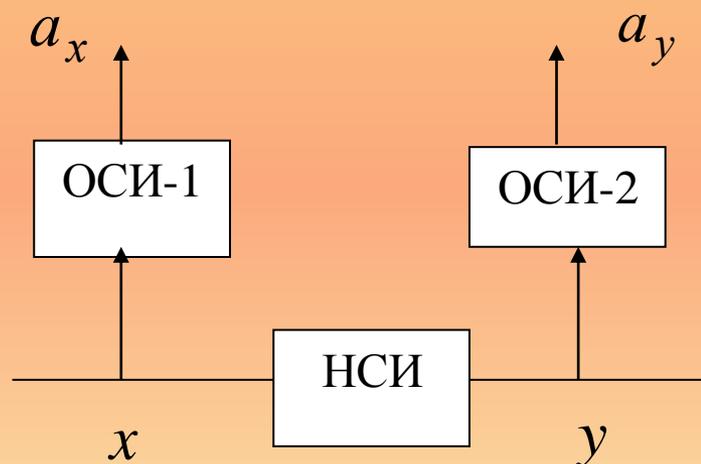


Рисунок 9.1 - Схема градуировки
технического устройства

Если градуируемое НСИ имеет отсчетное устройство, то ОСИ-2 не применяют, а в качестве a_y непосредственно берут отсчет. Величины x и y измеряют в достаточно большом числе точек диапазона измерений НСИ и, задавшись некоторой моделью $\varphi(x, y, v_1, v_2 \dots) = 0$ зависимости информативного параметра сигнала НСИ от измеряемой (воспроизводимой) физической величины x , результаты их измерений a_x и a_y используют, как экспериментальные данные для измерения совместных величин $v_1, v_2 \dots$

Градуировочной характеристикой НСИ считают уравнение:

$$\varphi(x, y, a_{v_1}, a_{v_2} \dots) = 0 \quad (9.1)$$

где $a_{v_1}, a_{v_2} \dots$ - результаты совместных измерений величин $v_1, v_2 \dots$
Погрешность совместных измерений, выполняемых при градуировке, не оценивают.

Наиболее простой является градуировочная характеристика вида:

$$x = a_v y, a_v = \frac{\sum_{j=1}^N a_{x_j} a_{y_j}}{\sum_{j=1}^N a_{y_j}}, \quad (9.2)$$

где a_{x_j}, a_{y_j} - результаты измерений величин x и y в j -ой точке диапазона измерений, N - число точек, в которых измеряют величины x и y .

Часто применяют градуировочную характеристику НСИ в виде $x = a_{v_1} + a_{v_2} y$. Здесь a_{v_1}, a_{v_2} определяют как результаты совместных измерений.

При необходимости учета нелинейных свойств НСИ градуировочную характеристику представляют следующей зависимостью:

$$x = a_{v_1} + a_{v_2} y + a_{v_3} y^2, \quad (9.3)$$

где коэффициенты представления (9.3) находят из системы уравнений:

$$\begin{aligned} a_{v_1} N + a_{v_2} \sum_{j=1}^N a_{y_j} + a_{v_3} \sum_{j=1}^N a_{y_j}^2 &= \sum_{j=1}^N a_{x_j} \\ a_{v_1} \sum_{j=1}^N a_{y_j} + a_{v_2} \sum_{j=1}^N a_{y_j}^2 + a_{v_3} \sum_{j=1}^N a_{y_j}^3 &= \sum_{j=1}^N a_{x_j} a_{y_j}, \quad (9.4) \\ a_{v_1} \sum_{j=1}^N a_{y_j}^2 + a_{v_2} \sum_{j=1}^N a_{y_j}^3 + a_{v_3} \sum_{j=1}^N a_{y_j}^4 &= \sum_{j=1}^N a_{x_j} a_{y_j}^2. \end{aligned}$$

Градуировку НСИ проводят в нормальных условиях его применения, предусматривая измерение всех существенно влияющих на нестандартизованное средство измерений величин и их стабилизацию в процессе градуировки. Величины x и y измеряют методом многократных наблюдений.

При градуировке выполняют все указания, содержащиеся в проекте инструкции по эксплуатации НСИ. В частности, если создаваемое НСИ предназначено для измерения или воспроизведения только таких физических величин, которые перед измерением медленно и плавно увеличиваются, то и при градуировке a_{x_j}, a_{y_j} получают, устанавливая физическую величину x только таким образом. Если НСИ предназначено для измерения физических величин, направление изменения которых непостоянно, то за результаты измерений a_{x_j}, a_{y_j} принимают средние арифметические двух результатов. Один из них получен при измерении после медленного и плавного увеличения измеряемой или воспроизводимой физической величины, а другой – после медленного и плавного ее уменьшения.

9.5 Исследование основной погрешности в точке диапазона измерений при фиксированных нормальных условиях

Конечной целью исследования погрешности НСИ следует считать регламентацию его метрологических характеристик, которые бы достаточно полно и достоверно характеризовали погрешность НСИ не только во время исследований, но и во время всего периода его эксплуатации.

Погрешность исследуют в достаточно большом числе точек диапазона измерений. При этом, поскольку погрешность НСИ зависит от условий применения, ее исследуют при определенных условиях.

Последовательность исследования погрешности такова:

1

- Исследование погрешности в определенных точках диапазона измерений при фиксированных нормальных условиях;

2

- Исследование влияния на погрешность НСИ изменения условий его применения;

3

- Определение погрешности для всего диапазона измерений.

Рассмотрим первый этап. Схема исследования погрешности в точке диапазона измерений такая же, как и для градуировки технического устройства (см. рис.9.1).

В первом приближении $\Delta \approx a_y - a_x$. Это дает основания, основываясь на методах теоретической метрологии, принять в качестве простейших оценок характеристик погрешности НСИ принять следующие:

Точечная оценка систематической составляющей погрешности НСИ:

$$\Delta_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (9.5)$$

где $\Delta_i \approx a_{y_i} - a_{x_i}$, $i=1..n$ - номер измерения в точке диапазона



Точечная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) случайной погрешности:

$$S_{\Delta^0} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \Delta_c)^2} \quad (9.6)$$

Оценка сверху СКО случайной погрешности:

$$\tilde{\sigma}_{\Delta^0} = k S_{\Delta^0}, \quad k = \sqrt{l / \chi_p^2} \quad (9.7)$$

где $l = n - 1$ - число степеней свободы; χ_p^2 - квантиль распределения χ^2 при доверительной вероятности p .

Оценка сверху СКО возможных значений систематической составляющей погрешности НСИ:

$$\tilde{\sigma}_{\Delta_c} = \kappa S_{\Delta_0} / \sqrt{n}, \kappa = \sqrt{l / \chi_p^2} \quad (9.8)$$

Наличие существенной вариации обуславливает изменение в расчете погрешности нестандартизованного средства измерений. Сохраняя ту же схему эксперимента, что и в предыдущем случае (см. рис.7.1), в каждой исследуемой точке диапазона измерений выполняют два ряда наблюдений величины x и фиксируют два ряда оценок погрешности: ряд $\Delta'_i (i=1,2...n)$ при медленном и плавном установлении измеряемой величины со стороны ее малых значений и ряд $\Delta''_i (i=1,2...n)$ при установлении измеряемой величины со стороны ее больших значений. За оценки погрешности в точке диапазона измерений НСИ принимают:

Точечная оценка систематической составляющей погрешности НСИ:

$$\Delta_c = (\Delta'_c + \Delta''_c) / 2, \quad (9.9)$$
$$\Delta'_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_i, \Delta''_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta''_i$$

Точечная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) случайной погрешности:

$$S_{\Delta^0} = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \left[\sum_{i=1}^n (\Delta'_i - \Delta'_c)^2 + \sum (\Delta''_i - \Delta''_c)^2 \right]},$$

Оценка сверху СКО случайной погрешности:

$$\tilde{\sigma}_{\Delta^0} = \kappa S_{\Delta^0}, \kappa = \sqrt{l / \chi_p^2}$$

где $l = 2(n-1)$ - число степеней свободы; χ_p^2 - квантиль распределения χ^2 при доверительной вероятности p .

Оценка сверху СКО возможных значений систематической составляющей погрешности НСИ:

$$\sigma_{\Delta_c}^{\sim} = \kappa S_{\Delta^0} / \sqrt{2n}, \kappa = \sqrt{l / \chi_p^2} \quad (9.12)$$

Точечная оценка вариации:

$$V = \left| \Delta'_c - \Delta''_c \right| \quad (9.13)$$

Оценка сверху вариации:

$$V_b = V + t_p \sqrt{\frac{2}{n}} S_{\Delta^0} \quad (9.14)$$

9.6 Выбор образцовых средств измерений для исследования погрешности НСИ, Требования к измерениям

При исследованиях погрешности НСИ не удастся разделить его погрешность и погрешность образцовых средств измерений, участвующих в эксперименте. Вместо погрешности исследуемого средства измерений удастся найти характеристики суммы *его* погрешности и погрешности измерений *ОСИ*. Поэтому исследуемому *СВИ* приходится приписывать в качестве его метрологических характеристик характеристики суммы погрешностей. Как следствие, *какой бы малой погрешностью ни обладало исследуемое средство измерений, ему не может быть приписана погрешность, меньшая некоторой, обусловленной погрешностями измерений ОСИ.*



**Требования к образцовым
средствам измерений, которые
необходимо соблюдать при
исследованиях погрешности
НСИ:**



Достаточно малая
погрешность



Возможность медленного
плавного уменьшения и
увеличения измеряемой
физической величины для
исследования вариации

В практической деятельности руководствуются также следующими правилами:

В большинстве случаев погрешность исследуют в пяти точках, соответствующих 5; 25; 50; 75; 97% диапазона измерений;

Фиксировать установленное значение измеряемой физической величины x целесообразно по отсчетному устройству того из средств измерений, отсчетное устройство которого является причиной возникновения наиболее значительной составляющей погрешности измерений физической величины x от считывания;

Обычно выбирают число наблюдений в пределах от 5 до 50;

Интервал времени между наблюдениями должен быть в несколько раз больше времени установления показаний каждого из применяемых средств измерений. Однако этот интервал не должен быть и слишком большим, чтобы ограничить медленные изменения систематической погрешности СИ из-за изменений внешних влияющих величин.

БЛАГОДАРЮ

ЗА

ВНИМАНИЕ