

К ВОПРОСУ ОБ АПРИОРНОМ ОЦЕНИВАНИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, РЕАЛИЗУЕМЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КАНАЛОМ

Рассмотрены общие вопросы оценивания неопределенности измерений, реализованных с помощью измерительных каналов измерительных информационных систем или автоматизированных систем управления технологическими процессами производства, и априорного оценивания неопределенности измерений. Рассмотрен способ синтеза номинальной статической характеристики преобразования измерительного канала и ее применения при формировании функциональной зависимости выходной (измеряемой) величины от входных величин.

измерительный канал, статическая характеристика преобразования, выходная величина, входная величина, погрешность измерения, неопределенность измерения, приписанная неопределенность, методика выполнения измерений

В соответствии с Законом Украины о метрологии и метрологической деятельности [1] результат измерения физической величины необходимо представить с одной из характеристик точности: с погрешностью измерения [2] или неопределенностью измерения [3]. На сегодняшний день хорошо разработаны теоретические основы, практические рекомендации и нормативные документы как по общим вопросам оценивания погрешностей измерений, так и по вопросам определения погрешностей измерений, реализованных с помощью измерительных каналов (ИК) измерительных информационных систем (ИИС) и автоматизированных систем управления технологическими процессами производства (АСУ ТП) [4, 5]. Что же касается оценивания неопределенности реализованного с помощью ИК измерения, то тут есть целый ряд проблемных вопросов, которые возникли при внедрении указанной новой формы выражения точности реализации измерительной функции в связи с принципиальными отличиями ИК от локальных средств измерительной техники по построению, организации функционирования и условиям эксплуатации [6].

В соответствии с введенным в Украине государственным стандартом [7] результаты измерений, полученные при испытаниях продукции, должны включать характеристики неопределенности. Не являются исключением и результаты измерений, полученные с помощью ИК. Задача внедрения новых форм выражения точности измерения особенно актуальна для ИК, применяемых в АСУ ТП, поскольку контролируемые параметры технологического объекта непосредственно влияют на качество выпускаемой продукции, а измеряемые характеристики продукции прямо используются в процессе формирования ее качества.

ИК автоматизированной системы, как правило, проектируется под конкретные технологические задачи. Соответственно исходные требования к метрологическим характеристикам (МХ) ИК как составной части погрешности реализации измеритель-

ной функции системы должны согласовываться с заданными допускаемыми отклонениями конкретной характеристики продукции от номинального значения. Аналогичным образом следует поступать и при регламентации МХ ИК в случае, когда требования к точности реализации измерительной функции установлены в виде неопределенности. В связи с этим в плане обеспечения единства измерений, реализуемых с помощью ИК, необходимо выполнить определенные работы по метрологическому обеспечению, в том числе такие основные:

априорное оценивание расширенной неопределенности измерения (т.е. расчет максимально возможной при заданном уровне доверия интервальной оценки неопределенности), исходя из установленных требований к точности реализации измерительной функции системы или с учетом допускаемых отклонений от номинального значения подлежащей измерению технической характеристики продукции, и регламентация ее в методике выполнения измерений (МВИ) по форме, аналогичной той, которая рекомендуется межгосударственным стандартом [8] для погрешности измерения (например, пределы допускаемой неопределенности или в виде приписанной неопределенности МВИ);

установление исходных требований к МХ ИК (норм МХ ИК) на основании априорной оценки неопределенности измерения;

проектирование ИК (на базе как серийно выпускаемых компонентов, так и разработанных по спецзаказу), расчетное оценивание МХ для конкретной структурной схемы ИК. При этом следует учитывать то обстоятельство, что линии связи, соединяющие отдельные компоненты, иногда являются пассивными преобразователями сигнала измерительной информации, поэтому их необходимо рассматривать как компоненты ИК и нормировать для них соответствующие МХ;

техническая реализация ИК, монтаж ИК на технологическом объекте и его испытания (с целью

метрологической аттестации), оценивание действительных значений характеристик погрешности ИК в реальных условиях его эксплуатации;

оценивание с учетом действительных значений МХ ИК неопределенности измерения (т.е. неопределенности результата измерения) в реальных условиях технологического объекта, представление ее в виде суммарной стандартной неопределенности и обязательно в виде расширенной неопределенности.

Однако в настоящее время вопросы оценивания неопределенности измерения для ИК (как на различных стадиях их создания, так и в процессе их эксплуатации) являются постановочными, пока еще нет пригодных для практического применения методических рекомендаций и соответствующих нормативных документов в этой области. В этом докладе предлагаются вашему вниманию некоторые аспекты априорного оценивания неопределенности измерения, реализуемого с помощью ИК, в частности рассмотрена методика формирования номинальной статической характеристики преобразования (НСХП) ИК. НСХП предлагается использовать при разработке формулы функциональной зависимости выходной (измеряемой) величины от входных величин и при составлении списка предельных отклонений и допускаемых погрешностей входных величин, а также при формировании перечня других величин, которые являются возможными источниками и причинами неопределенности измерения – с целью последующего их оценивания.

Определяющими факторами при априорном оценивании неопределенности измерения являются:

правильный выбор – в строгом соответствии с применяемым методом измерения – основного уравнения измерения;

разработка структуры ИК (последовательная или последовательно-параллельная схема);

регламентация рабочих условий эксплуатации ИК (в соответствии с реальными условиями окружающей среды на технологическом объекте).

В случае прямого измерения, например, методом непосредственного оценивания выходная величина Y – это та же входная величина X , а функция, отражающая зависимость этих величин, в общем виде может быть представлена как $Y = f(X)$.

Применяемый при этом ИК имеет только один первичный измерительный преобразователь (ПИП) и выполнен по последовательной структурной схеме. Его НСХП является, так сказать, в чистом виде необходимой и достаточной формой интерпретации указанной функциональной зависимости.

Для реализации, например, косвенного измерения разрабатывают ИК, который включает несколько ПИП и выполнен по последовательно-параллельной структурной схеме. Функциональная зависимость выходной величины от нескольких входных величин имеет такой общий вид:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n).$$

При этом НСХП ИК может быть использована в целом как формула функциональной зависимости выходной величины от входных величин или может являться частью этой формулы (это зависит от основного уравнения измерения).

НСХП ИК составляют на основе соответствующих характеристик отдельных компонентов ИК: статических характеристик преобразования (при градуировке технического средства по выходу) или градуировочных характеристик (при градуировке технического средства по входу). Если располагают градуировочной характеристикой, то ее необходимо привести к виду статической характеристики преобразования. Формулу НСХП ИК формируют, начиная с выходного компонента ИК (с выходного сигнала ИК), и наращивают ее, продвигаясь от выхода ИК к его входу. При этом в формуле статической характеристики преобразования каждого отдельного компонента вместо обозначения (символа) входного сигнала подставляют значение (выражение) выходного сигнала предшествующего ему (в структурной схеме ИК) компонента.

Составление НСХП для ИК с различной структурой рассмотрим на примере ИК, предназначенного для прямых измерений некоторой величины методом непосредственного оценивания. Канал имеет один ПИП, выходной сигнал которого преобразуется в два выходных сигнала ИК:

сигнал отображения на шкале аналогового показывающего прибора результата измерения контролируемой величины;

сигнал отображения на шкале цифрового индикатора отклонения действительного значения измеряемой величины от ее номинального значения (например, в относительных единицах). Этот сигнал (в виде цифрового кода) также используют и для управления технологическим процессом. Указанный канал имеет две функциональные части, каждая из которых выполняет самостоятельную измерительную функцию. Следовательно для каждой части необходимо разрабатывать отдельную НСХП. Структура этого ИК приведена на рис. 1. ИК включает следующие компоненты: 1 – первичный измерительный преобразователь (ПИП); 2 – аналоговый преобразователь (АП); 3 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 4 – масштабирующий преобразователь (МП); 5 – компаратор (К); 6 – блок технологической установки (БТУ); 7 – блок цифровой индикации (БЦИ); 8 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 9 – блок аналоговой индикации (БАИ).

Статические характеристики преобразования компонентов ИК приведены в табл. 1.

Сначала составим формулу НСХП для функциональной части ИК, предназначенной для измерения технической характеристики продукции, начиная с выходного компонента 9 ИК:

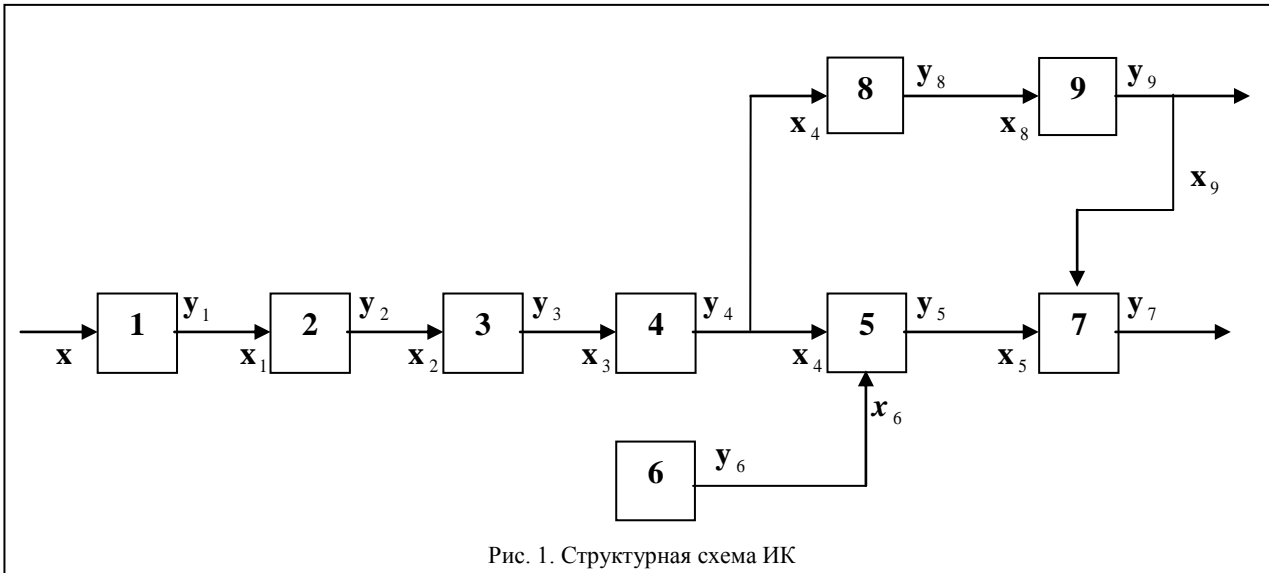


Рис. 1. Структурная схема ИК

Таблица 1

Статические характеристики преобразования компонентов ИК

Обозначение ком-та	ПИП	АП	АЦП	МП	К	БТУ	БЦИ	ЦАП	БАИ
Статич. хар-ка преобразования	$y_1 = x^2$	$y_2 = k_1 \cdot x_1$	$y_3 = x_2$	$y_4 = \sqrt{x_3}$	$y_5 = x_4 - x_6$	$y_6 = x_6$	$y_7 = k_2 \cdot x_8 \cdot x_9^{-1}$	$y_8 = x_4$	$y_9 = x_8$

$$y_9 = x_8 = y_8 = x_4 = y_4 = \sqrt{x_3} = \sqrt{y_3} = \sqrt{x_2} = \sqrt{y_2} = \sqrt{k_1 x_1} = \sqrt{k_1 y_1} = \sqrt{k_1 x^2} = x \sqrt{k_1}.$$

Следовательно функция зависимости выходной и входной величин имеет такой вид:

$$Y = X \sqrt{k_1}. \quad (1)$$

Следующий этап – разработка формулы НСХП для функциональной части ИК, которая предназначена для измерения отклонения параметра продукции от заданного значения, начиная с выходного компонента 7:

$$\begin{aligned} y_7 &= k_2 x_5 x_9^{-1} = k_2 y_5 y_9^{-1} = k_2 (x_4 - x_6) x_8^{-1} = \\ &= k_2 (y_4 - y_6) y_8^{-1} = k_2 (\sqrt{x_3} - x_6) x_4^{-1} = \\ &= k_2 (\sqrt{y_3} - y_6) y_4^{-1} = k_2 (\sqrt{x_2} - x_6) x_3^{-1/2} = \\ &= k_2 (\sqrt{y_2} - X_0) y_3^{-1/2} = k_2 (\sqrt{k_1 x_1} - X_0) x_2^{-1/2} = \\ &= k_2 (\sqrt{k_1 y_1} - X_0) y_2^{-1/2} = k_2 (\sqrt{k_1 x^2} - X_0) \times \\ &\times k_1^{-1/2} x_1^{-1/2} = k_2 (\sqrt{k_1} x - X_0) k_1^{-1/2} y_1^{-1/2} = \\ &= k_2 (\sqrt{k_1} x - X_0) k_1^{-1/2} x^{-1}, \end{aligned}$$

где X_0 – номинальное (заданное) значение контролируемой величины (технологическая установка), которое воспроизводится с помощью БТУ (компонент 6 ИК). На основании этой НСХП запишем функцию зависимости выходной величины от входных величин:

$$Y = k_1^{-1/2} k_2 (\sqrt{k_1} X - X_0) X^{-1} \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) функциональной зависимости не присутствуют величины промежуточные: выходные и входные сигналы промежуточных (между ПИП и выходными блоками) компонентов ИК. Тем не менее, погрешности преобразования этих сигналов являются источниками неопределенности измерения и их следует выявить и оценить. Задача эта непростая, поскольку зачастую отдельные компоненты (или группы компонентов) расположены в различных помещениях и эксплуатируются в различных условиях окружающей среды. В этом состоит одно из основных отличий ИК от локальных средств измерительной техники, вследствие которого алгоритм оценивания неопределенности измерения для ИК имеет принципиальные отличия.

Следует указать на одну особенность оценивания неопределенности измерения для ИК, которые имеют один ПИП и несколько выходов. В этом случае в различные функциональные части ИК входят общие компоненты. Поэтому целесообразно сначала выделить группу общих блоков и для нее составить локальную НСХП. При разработке «сквозной» НСХП для каждой функционально законченной части ИК такую группу можно рассматривать как один компонент. Это существенно упростит расчет неопределенности и позволит избежать ошибки вследствие возможного двукратного учета одной и той же погрешности.

В статье рассмотрены актуальные вопросы априорного оценивания неопределенности выполняемых ИК измерений. Не менее важными являются задачи апостериорного оценивания неопределенности из-

мерений с помощью ИК на действующем технологическом объекте. Сейчас необходимо комплексное решение проблем оценивания неопределенности измерений, которые выполняются рассредоточенными в пространстве системами. К приоритетным задачам для работников метрологической науки и метрологов-практиков Украины следует отнести:

разработка теоретических основ и создание соответствующих нормативных документов в части оценивания (как априори, так и апостериори) неопределенности измерений, реализуемых ИК;

создание методических рекомендаций по метрологическому контролю и надзору за единством выполняемых с помощью ИК измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15 червня 2004 року № 1765-IV.

2. МИ 1317-86. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их качества.

3. РМГ 43-2001. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

4. ДСТУ 4134-2002. Вимірювальні канали вимірювальних інформаційних систем та автоматизованих систем керування технологічними процесами виробництва. Вимоги до структури та змісту методик виконання вимірювань.

5. РМУ 010-2003. Метрологія. Вимірювальні інформаційні системи та автоматизовані системи керування технологічними процесами. Типова програма та методика метрологічної атестації. Вимоги до побудови та змісту.

6. Чубатенко В.Я. Особливості оцінювання невизначеності вимірювань, реалізованих вимірювальними каналами.// Тези доповідей IV міжн. НТК «Метрологія та вимірювальна техніка». – Х., 2004. – Т. I. – С.88-90.

7. ДСТУ ISO/IEC 17025-2001. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

8. ГОСТ 8.010-99. ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения.

Поступила 21.03.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.