

Прикладні аспекти: вимірювальні канали та системи

УДК 621.317

Д.А. Бережной, К.Н. Маловик, А.Н. Мирошниченко

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Рассматривается вопрос применения теории неопределенности измерений для оценки нестабильности метрологических характеристик измерительных каналов. Представлены основные причины параметрических отказов основных типов датчиков измерительных каналов. Сформулированы факторы, влияющие на нестабильность метрологических характеристик измерительных каналов. Предложена группа воздействий для исследования нестабильности метрологических характеристик измерительных каналов. Предложено рассмотреть метрологическую модель измерительного канала на основе теории неопределенности измерений.

Ключевые слова: измерительный канал, нестабильность метрологических характеристик, неопределенность измерений, метрологическая модель.

Введение

Измерительный канал (ИК) представляет собой нестандартное средство измерений, предназначенное для измерения, преобразования, передачи и представления в требуемом виде непрерывного сигнала, однозначно определяющего параметры технологического процесса[1].

При проектировании ИК одним из важных вопросов является обеспечение их метрологической стабильности в течении всего времени эксплуатации, так как доля метрологических отказов в общем потоке отказов ИК составляет, по разным оценкам от 40% до 100% [1]. Поэтому, можно считать, что показателем, определяющим качество функционирования ИК отражающим неизменность во времени его метрологических характеристик (МХ) является стабильность. При этом количественной оценкой стабильности ИК служит нестабильность МХ ИК, которая оказывает влияние на результат измерений и его оценку технического уровня и качества СИ.

Прогнозирование метрологической нестабильности ИК, с учетом случайных процессов изменения их метрологических характеристик в процессе эксплуатации, является сложной и малоисследованной задачей, основные трудности, в решении которой обусловлены дефицитом информации о закономерностях процессов протекающих внутри элементов ИК и вероятностным характером этих процессов.

Применение классической теории погрешности не всегда дает возможность качественно оценить нестабильность МХ ИК, что обусловлено, прежде всего тем, что она может быть вызвана неизвестны-

ми и малоисследованными влияющими факторами. Поэтому предлагается применение теории неопределенности измерений для более качественной оценки нестабильности МХ ИК, учитывая известную метрологическую модель ИК.

Основная часть

Изменение значения метрологических характеристик ИК во времени обусловлено процессами старения, износа и накопления физико-химических отклонений в узлах и элементах ИК, вызванных взаимодействием с окружающей средой.

При эксплуатации ИК канала наблюдаются как критические, так и параметрические отказы.

Основным источником нестабильности МХ ИК являются параметрические отказы его элементов, осуществляющих обработку сигнала в аналоговой форме.

Это подтверждается обобщенным анализом, табл. 1, где представлены причины параметрических отказов наиболее распространенных типов датчиков, применяемых в ИК.

Анализируя данные, представленные в табл. 1, можно сформулировать ряд обобщенных факторов, влияющих на нестабильность МХ ИК.

- влияние температуры;
- влияние электрических шумов и помех;
- эксплуатация датчика ИК в предельных условиях эксплуатации.

На основе представленных факторов можно сформировать группы воздействий необходимых для исследования нестабильности МХ ИК, как показано на рис. 1.

Причины параметрических отказов различных типов датчиков

№	Тип датчика	Причины параметрических отказов
1	Термопара	1. Возникновение термоэлектрической неоднородности по длине термоэлектродов и изменение градуировочной характеристики термопары. 2. Электрическое шунтирование проводников изоляцией и возможное возникновение гальванического эффекта. 3. Тепловое шунтирование. 4. Температурная погрешность холодного спая. 5. Электрические шумы и помехи.
2	Термосопротивление	1. Случайная погрешность, вызванная технологическим разбросом сопротивлений и температурных коэффициентов датчиков. 2. Систематическая погрешность, вызванная термоэлектрическим эффектом, когда к платиновому или никелевому датчику подключают обычные медные провода, и их соединения имеют разную температуру. Термоэдс возникает также в контактах меди и свинцово-оловянного припоя (величина термоэдс составляет 1...3 мкВ/°С). 3. Тепловой и фликкер-шум измеряемого сопротивления. 4. Саморазогрев датчика. 5. Погрешность метода (схемы измерения) сопротивления, зависящая от длины проводов от модуля до датчика.
3	Газоанализатор	1. Электрические шумы и помехи. 2. Влияния температуры анализируемых газов и окружающей среды на результат измерений.
4	Расходомер	1. Электрические шумы и помехи. 2. Влияние конфигурации трубопровода. 3. Влияние несоответствия внутренних диаметров трубопровода и проточной части расходомера, а также несоосности установки расходомера. 4. Влияние температуры рабочей среды на показания ультразвукового расходомера.
5	Датчик давления	1. Влияние температуры измеряемой среды на погрешность датчиков давления. 2. Электрические шумы и помехи. 3. Подача давления выше допустимого, замерзание или застывание измеряемой среды, повреждение мембраны твердыми предметами.
6	Кондуктометр	1. Влияние термо-ЭДС на точность измерения. 2. Потенциальные и токовые влияния приэлектродных процессов. 3. Появление пузырьков воздуха в краевых углах ячейки при заполнении. 4. Нелинейность при определении константы ячейки. 5. Электрические шумы и помехи (нелинейность силовых линий электрического поля).
7	Уровнемер	1. Изменение электропроводности рабочей жидкости, поляризация среды вблизи электродов. Вследствие этого погрешности кондуктометрических методов измерения уровня (даже при использовании различных компенсационных схем) достаточно высоки (5—10 %), поэтому они находят преимущественное применение в качестве сигнализаторов уровня проводящих жидкостей. 2. Основной недостаток трансформаторных преобразователей уровня — влияние изменения температуры контролируемой среды на результат измерения. Это влияние обусловлено изменением активного сопротивления обмоток в зависимости от изменения температуры и изменением их индуктивности в связи с линейным расширением провода, а также изменением проводимости чехла и контролируемой среды.

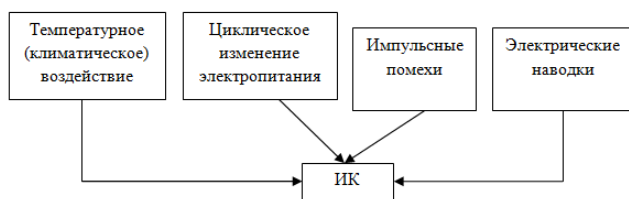


Рис. 1. Группа воздействий, влияющих на нестабильность МХ ИК

Данные воздействия на нестабильность МХ ИК можно реализовать с помощью проведенных испытаний в составе информационно-измерительных комплексов либо с применением специальных температурных и климатических камер, источников (имитаторов) наводок и помех, генератора циклического изменения электропитания и т.д.

Таким образом уравнение измерения $y_p(t)$ аналоговой части ИК может иметь следующий вид:

$$y_p(t) = x(t) + n(t) + g(t) + s(t), \quad (1)$$

где t – время наблюдений и появления флуктуаций; $x(t)$ – полезный сигнал; $n(t)$ – помеха в результате

температурной или временной нестабильности; $g(t)$ – помеха в виде шума; $s(t)$ – помехи в виде наводки.

При исследовании нестабильности МХ ИК следует четко определить, что понимать под цифровой частью ИК, а что под аналоговой. Если за признак разделения взять вид сигнала (аналоговый, цифровой), то граница раздела между аналоговой и цифровой частями может проходить через АЦП (ЦАП).

В настоящее время одним из возможных описаний метрологической модели ИК может быть последовательное соединение нескольких преобразователей и АЦП, что показано на рис. 2 [2].

Представленная на рис. 2 метрологическая модель ИК раскрывает составляющие полезного сигнала $x(t)$, но при этом не учитывает факторы, показанные в выражении (1). Для устранения этого недостатка можно воспользоваться преимуществами, связанными с реализацией концепции неопределенности измерений [3]:

-возможность управления риском и степенью доверия к результатам оценки нестабильности ИК;

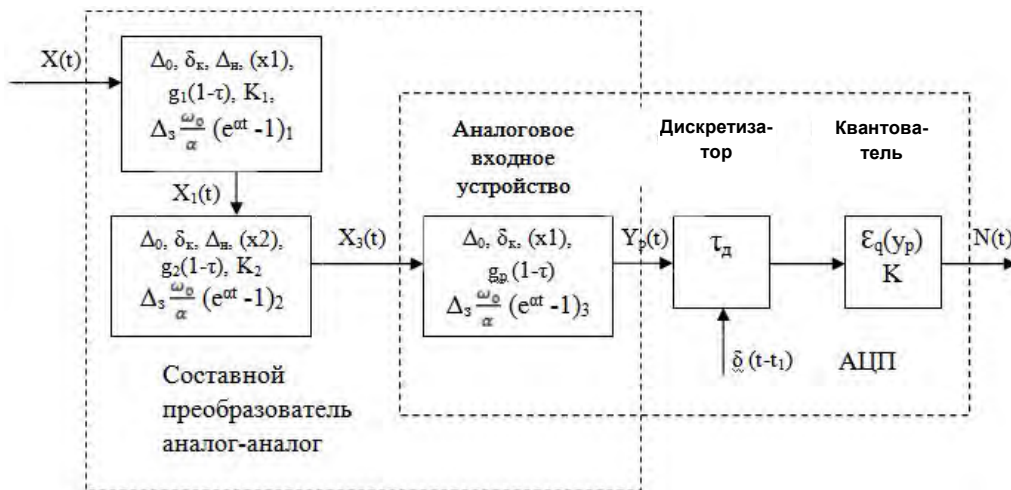


Рис. 2. Метрологическая модель измерительного канала: $x(t)$ – полезный сигнал; $N(t)$ – результат преобразования, отнесенный к моменту времени; q – шаг квантования; K – коэффициент преобразования; ε_q – функция погрешности; Δ_0 – аддитивная погрешность; Δ_3 – абсолютный запас погрешности; δ_k – мультипликативная погрешность; Δ_n – погрешность нелинейности; $g(t, \tau)$ – импульсная переходная функция; $y_p(t)$ – сигнал на входе дискретизатора; α – ускорение процесса старения; ω_0 – начальная частота метрологических отказов; τ_d – время дискретизации

- обеспечение дополнительной информацией о нестабильности МХ ИК;

- знание о количественном результате воздействия каждого из влияющих факторов на точность оценки нестабильности МХ ИК.

При переходе от определения погрешности к оценке неопределенности при измерении нестабильности МХ ИК можно воспользоваться следующими сравнительными данными[4]:

- неопределенность по типу А, которая оценивается на основе статистических методов, может быть сопоставима с СКО случайной составляющей погрешности измерений [3, 4];

- неопределенность по типу В, которая оценивается на основе предполагаемой функции плотностей вероятностей, основанной на степени уверенности в том, что событие произойдет, может быть сопоставима с СКО систематической составляющей погрешности измерений [3, 4];

- суммарная стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин, может быть сопоставима с СКО суммарной погрешности измерений;

- расширенная неопределенность, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине, может быть сопоставима с доверительными границами погрешности измерений.

Применяя теорию неопределенности усовершенствованная метрологическая модель ИК может быть представлена на рис. 3.

При этом необходимо отметить, что расширенная неопределенность u_t является интервальной оценкой неопределенности измерений, представляющая собой произведение стандартной неопределенности u_c на коэффициент охвата Q , зависящий от вида распределения и уровня доверия [3, 4]:

$$u_t = u_c \cdot Q. \quad (2)$$

Стандартная неопределенность по типу А, обусловленная факторами, имеющими случайный характер вычисляется по формуле[3, 5]:

$$u_a = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n(n-1))}, \quad (3)$$

где n – совокупность измерений на фиксированном интервале времени.

Суммарная стандартная неопределенность, выраженная по типу В, для полученной метрологической модели может быть найдена по формуле [3]:

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{df_1}{dx_1}\right)^2 u_{B1}^2 + \left(\frac{df_2}{dx_2}\right)^2 u_{B2}^2 + \left(\frac{df_3}{dx_3}\right)^2 u_{B3}^2 + \left(\frac{df_D}{dx_D}\right)^2 u_{BД}^2 + \left(\frac{df_K}{dx_K}\right)^2 u_{BK}^2}. \quad (4)$$

Выводы

На основе анализа параметрических отказов наиболее распространенных типов датчиков ИК выявлены основные факторы, влияющие на нестабильность МХ ИК.

Предложена группа воздействий для исследования нестабильности МХ ИК.

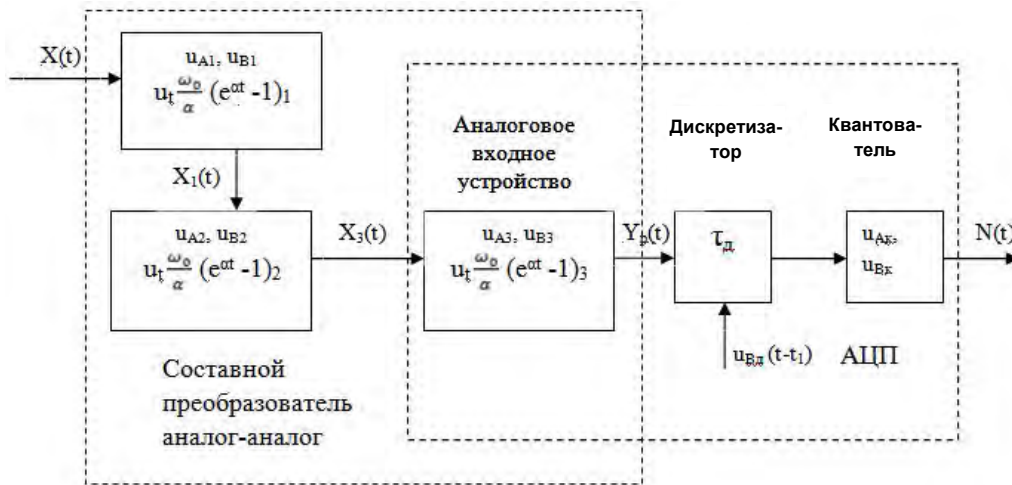


Рис. 3. Метрологическая модель ИК с применением теории неопределенности измерения:

$u_{A1}, u_{A2}, u_{A3}, u_{Ak}$ – стандартная неопределенность по типу А каждого элемента ИК соответственно;
 $u_{B1}, u_{B2}, u_{B3}, u_{Bд}, u_{Bк}$ – суммарная стандартная неопределенность по типу В;
 u_t – расширенная неопределенность измерений

Предложена метрологическая модель с применением теории неопределенности измерений, что позволяет более качественно оценить нестабильность метрологических характеристик измерительных каналов.

Список литературы

1. Сергеев А.Г. Метрология: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. -М.: Логос, 2001. – 408 с.
2. Маловик К.Н. Усовершенствованная метрологическая модель измерительного канала / К.Н. Маловик, А.В. Юдин // Сборник научных трудов.- Севастополь: СНУЯЭ-иП, 2008. – С. 149-153.
3. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях. Учебное пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002 – 256 с.

4. РМГ 43-2001 Применение руководства по выражению неопределенности измерений. – ИПК Издательство стандартов, 2002.

5. РМГ 115-2011 ГСИ Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности. – ИПК Издательство стандартов, 2012.

Поступила в редколлегию 28.03.2014

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

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ

Д.А. Бережний, К.М. Маловик, А.М. Мірошніченко

Розглядається питання використання теорії невизначеності вимірювань для оцінки нестабільності метрологічних характеристик вимірювальних каналів. Представлені основні причини параметричних відмов основних типів датчиків вимірювальних каналів. Сформульовані фактори, які впливають на нестабільність метрологічних характеристик вимірювальних каналів. Запропонована група впливів для дослідження нестабільності метрологічних характеристик вимірювальних каналів. Запропоновано розглядати метрологічну модель вимірювального каналу на основі теорії невизначеності вимірювань.

Ключові слова: вимірювальний канал, нестабільність метрологічних характеристик, невизначеність вимірювань, метрологічна модель.

UNCERTAINTY OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING CHANNELS

D.A. Berezhnoi, K.N. Malovik, A.N. Miroshnichenko

The problem of an application of the theory of measurement uncertainty for assessment of the instability of the metrological characteristics of measuring channels was considered. The main reasons of the parametric failures of the main types of sensors of measuring channels were presented. The factors affecting the instability of metrological characteristics of measuring channels were formulated. The group of the impacts for investigation of instability of metrological characteristics of measuring channels was proposed. Pre-invited to consider the metrological model of the measurement channel based on the theory of uncertainty of measurements.

Keywords: the measurement channel, the instability of metrological characteristics of uncertainty of measurements, the metrological model.