DOI 10.28983/asj.y2019i4pp87-89 УДК 004.942, 006.91, 51-74

РАЗРАБОТКА ИСХОДНЫХ КОНЦЕПЦИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

МОРОЗОВ Сергей Михайлович, *Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)*

КУЗЬМИН Константин Анатольевич, *Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)*

КОЧЕТКОВА Людмила Ивановна, *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

БАЛМАШНОВА Елена Витальевна, *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

В статье рассматриваются метрологическое обеспечение автоматизированной системы контроля и задача повышения достоверности измеряемых параметров за счет повышения точности измерений в необходимости определения условий, при которых соблюдается корректность применимости вероятностно-статистических методов к оценкам погрешности измерений и выполняется гарантированность показателей достоверности контроля.

Введение. Современное производство выдвигает достаточно жесткие требования к точности измеряемых параметров, тем более, что и сами технические средства вносят погрешность в результат измерений. В этих условиях возникает необходимость в разработке метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации измерений.

Задача повышения достоверности контроля и эффективности управления технологическим процессом за счет повышения точности измерений технологических параметров оказывается в центре внимания при работе над автоматизацией измерений. Вопросы о потерях, обусловленных погрешностью измерений параметров в условиях функционирования информационно-технологических систем, закономерно приводят к пониманию необходимости рассматривать исходную концепцию в метрологическом обеспечении технологической операции как системную задачу.

Возможность технической реализации этой задачи ведет к достижению цели: обеспечению гарантированности показателей достоверности контроля на всех этапах производства продукции.

Задача состоит в необходимости определения условий, при которых соблюдается корректность применимости вероятностно-статистических методов к оценкам погрешности измерений и выполняется гарантированность показателей достоверности контроля в современных технологиях [1–3].

Обращаясь к операции автоматического контроля технологического процесса и следуя уточненному понятию ее метрологического обеспечения, становится вполне очевидным, что необходимо решить задачу о допустимой погрешности измерений технологических параметров, например, по условию технологического допуска на отклонения параметра от номинала; найти подход к оцениванию технической погрешности, вносимой техническими средствами, при измерении технологических параметров; сопоставить ожидаемую техническую погрешность измерений с допустимой погрешностью и решить задачу ее поддержания в пределах допустимой погрешности путем введения, например, управления точностью технических измерений.

Методика исследований. Известно, что наилучший путь осмысления любой сложной задачи – это ее математическое моделирование [5]. Рассмотрим процедуру составления математического алгоритма преобразования измерительных сигналов некоторой технической системой, имеющей реальный аналог, и расчета ожидаемой погрешности измерений контролируемого параметра. Наиболее полной для нее является динамическая характеристика преобразования, которую удобно определять с позиции восстановления неизвестного входного процесса $x(t)$ по известному выходному процессу $y(t)$, представив дифференциальным уравнением первого или второго порядка.

Погрешность технического средства измерений, приведенную ко входу, принято выражать в виде

$$\delta[x(t)] = f_{\text{н}}^{-1}\{F[x(t)]\} - x(t), \qquad (1)$$

где $x(t)$ – истинное значение сигнала на входе технического средства измерения; $f_{\text{н}}^{-1}$ – оператор, обратный номинальной статистической характеристике преобразования средства измерения; $F[x(t)]$ – неизвестная реальная функция динамического преобразования [4].

Воспользоваться выражением (1) при моделировании процесса преобразования $x(t)$ не удается, ибо функционал $F[x(t)]$ и функция $x(t)$ неизвестны. Очевидно, что это тождество не нарушится, если представить его следующим образом:

$$\delta[x(t)] = f_{\text{н}}^{-1}\{F[x(t)]\} - F^{-1}\{F[x(t)]\}, \qquad (2)$$

где f^{-1} – оператор, обратный реальной функции динамического преобразования.

Из (2) следует, что погрешность $\delta[x(t)]$ определяется отличием между двумя функциями преобразования, т.е. $f_{\text{Н}}^{-1} \neq F^{-1}$.

Выразим в (1) неизвестный функционал $F[x(t)]$ математической моделью, воспользовавшись оценкой неадекватности модели $\Delta(y)$ следующим образом [3, 4]:

$$\Delta(y) = F_{\text{М}}[x(t)] - F[x(t)], \qquad (3)$$

где $F_{\text{М}}[x(t)]$, обозначенная $F_{\text{М}}(\bullet)$ – модель функции прямого динамического преобразования технического средства измерения. С учетом (3) выражение (2) преобразуется к виду:

$$\delta[x(t)] = \{f_{\text{Н}}^{-1}[F_{\text{М}}(\bullet) - \Delta(y)]\}^{-1}\{F_{\text{М}}(\bullet) - \Delta(y)\}. \qquad (4)$$

После преобразований, окончательно получим:

$$\delta[x(t)] = f_{\text{П}}^{-1}[F_{\text{М}}(\bullet)] - x - f_{\text{П}}^{-1}[\Delta(y)] = \\ = \delta^{*}[x(t)] - f_{\text{П}}^{-1}[\Delta(y)]. \qquad (5)$$

Результаты исследований. При моделировании процесса преобразования с использованием моделей $F_{\text{М}}(\bullet)$ и $f_{\text{Н}}(\bullet)$ расчетное значение погрешности $\delta^{*}[x(t)]$ по (5) будет иметь остаточную погрешность, равную $\eta = f_{\text{П}}^{-1}[\Delta(y)]$.

Например, при допущении, что

$$f_{\text{П}} = Ax(t) + B, \qquad (6)$$

числовые характеристики распределения погрешности η расчетной погрешности $\delta^{*}[x(t)]$ будут равны [4]:

математическое ожидание:

$$m[r] = \frac{m[\Delta]}{A} - \frac{B}{A}; \qquad (7)$$

дисперсия:

$$\mu_2[r] = \frac{\mu_2[\Delta]}{A^2}, \qquad (8)$$

где $m[\Delta]$ и $\mu_2[\Delta]$ – соответственно первый и второй центральные моменты распределения $\Delta(y)$.

Из (7) и (8) следует, что числовые характеристики распределения погрешности оценки погрешности $\delta^{*}[x(t)]$ существенным образом зависят от параметров номинальной характеристики преобразования технического средства измерений и числовых характеристик распределения неадекватности модели. Сами параметры зависят от закона распределения $x(t)$ и его числовых характеристик. Следовательно, в процедуре моделирования прямого преобразования, приближенного к реальному, потребуется имитация входного процесса [8].

Восстановление неизвестного входного процесса по известному выходному процессу с использованием обратных моделей, в общем, является некорректно поставленной задачей. Однако, если реализацию выходного процесса с известной реальной корреляционной функцией и первым моментом распределения $y(t)$ представить моделью авторегрессии первого или второго порядков, например, в виде

$$y(k) = a_{11}\xi(k) + d_{12}y(k-1) + m_{13} \qquad (9)$$

или

$$y(k) = a_{21}\xi(k) + d_{22}y(k-1) - \gamma_{23}y(k-2) + m_{24}, \qquad (10)$$

то условие некорректности можно устранить, если перейти от генерируемых по (9) или (10) дискретных значений $y(k)$ к дифференцируемым гладким функциям наименее уклоняющимся от $y(k)$ на отрезке, разбитом по кускам, которые склеиваются между собой кусочнополиномиальными функциям j-го порядка. Иными словами, значения $y(k)$ могут использоваться в дальнейшем как узлы интерполяции с равномерной сеткой для формирования интерполяционного дифференцируемого (гладкого) полиномиального сплайна, значения которого обозначим через $y^{*}(t_c)$.

По обратной модели дифференциального уравнения, например, второго порядка восстановим входной процесс:

$$x(t_i) = \{y^{*}(t_i) + a_1 y^{'*}(t_i) + a_2 y^{''*}(t_i) - B_0\} A_0^{-1}, \qquad (11)$$

где $y^{'*}(t_i)$ и $y^{''*}(t_i)$ – первая и вторая производные выходного процесса в момент t_i; A_0, B_0, $a_j (j = 1,2)$ – параметры дифференциального уравнения.

По существу из (11) следует, что известный выходной процесс преобразуется в ранее неизвестный входной процесс с корреляционной функцией и моментами распределения и может быть отличным от реального процесса $x(t)$. Отличие это зависит от адекватности уравнения (11) и его можно определить, если перейти от дифференциального уравнения к его разностному аналогу, образовав из (11) систему уравнений с ковариациями между $x(k-i)$ и $y^{*}(k-i)$ и взяв от обеих частей вновь образованных частей уравнений математические ожидания.

Обращаясь к (11) и (2), отметим, что истинному значению x(t) из (2) соответствует результат преобразования $\{F_{\text{Н}}(\bullet) - \Delta(y)\}^{-1}\{F_{\text{М}}(\bullet) - \Delta(y)\}$ в (3), а практически используется результат преобразования вида $f_{\text{П}}^{-1}\{F_{\text{М}}(\bullet) - \Delta(y)\}$.

Получим:

$$\delta[x(t)] = \{x(t)[A_0 - A] - [B_0 - B] - \\ - a_1 y^{*} - a_2 y^{''*}\} A^{-1} - \eta. \qquad (12)$$

Из (12) видно, что погрешность $\delta^{*}[x(t)]$ является систематической, включающей динамическую погрешность, и образуется из-за отличий параметров реальной статической характеристики динамического преобразования технического средства измерения (т.е. параметров A_0 и B_0) от соответствующих параметров номинальной характеристики преобразования (т.е. параметров A и B), а также из-за отсутствия в номинальной характеристике преобразования динамической составляющей. С учетом (9), (11) и (12) формируется структурная схема расчета ожидаемых погрешностей измерения, приближенных к реальным условиям функционирования технического средства измерения. Процедура моделирования измеряемого процесса, как следует из структурной схемы, базируется на известном выходном процессе $y^{*}(t)$, который по модели обратного преобразования исходно-

го средства измерения преобразуется во входной неизвестный процесс $x(t)$.

Изменения параметров уравнения (8) в условиях функционирования технического средства измерений (влияние внешних факторов окружающей среды ξ_1, ξ_2) при вероятностном распределении измеряемой величины $x(t)$ формируют деформированный закон распределения результирующей погрешности измерения по (9), к которому в принципе не может быть корректно применено понятие плотности распределения вероятности, поскольку нарушается свойство иррегулярности коллектива, связанное с неоднородностью условий функционирования технического средства измерений [6]. Иными словами, необходимость соотношения закона распределения результирующей погрешности измерения $\delta[x(t)]$ с неизменными внешними условиями, характеризуя тем самым внутренние статистические устойчивые взаимодействия случайных явлений, характеризует корректность применимости вероятностно-статистических методов на практике [7].

Заключение. Исходную концепцию в метрологическом обеспечении технологической операции следует выразить следующим образом: для технических средств измерения обеспечить либо постоянство разности между параметрами реальной и номинальной характеристикой преобразования, либо нулевое значение с неустранимой остаточной погрешностью $m[\eta]$ и $\mu_2[\eta]$. Изменение точности технических средств измерения на требуемом уровне в условиях изменяющейся окружающей среды возможно лишь путем перехода от номинальной функции преобразования к адаптивной в пределе отличающейся от реальной функции преобразования на величину не более η.

Реализация этого требования с оценкой по (7) и (8) может служить мерой корректности в подходе к возможности и целесообразности использования адаптивной идентификации средств технических измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макаров Г.Н.* Коррекция динамических погрешностей измерительного канала на основе сплайн-аппроксимации измеренных сигналов // Разработка автоматизированных систем управления энергообъектов и автоматизации энергетических блоков: науч. тр. конф. – Ташкент, 1985. – 620 с.

2. *Макаров Г.Н., Умаров И.Н.* Зоны достоверного обнаружения событий в системах автоматического контроля. – Ташкент, 1990. – 54 с.

3. *Макаров Г.Н., Морозов С.М., Семенова Т.И.* Разработка концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций // Технологии, научно-техническое и информационное обеспечение в образовании и производстве: сб. науч.-практ. конф. – Вязьма, 2001. – С. 42–43.

4. Определение оптимальных режимов работы СВЧ установки для сушки и обжига строительного кирпича // Инженерный вестник Дона / К.А. Кузьмин [и др.]. – 2018. – № 3. – С. 75–83.

5. Определение структуры измерительных стендов СВЧ установки для сушки и обжига строительного кирпича / К.А. Кузьмин [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2. – С. 60–69.

6. Расчет параметров и характеристик СВЧ установки сушки и обжига кирпича / К.А. Кузьмин [и др.] // Бюллетень строительной техники (БСТ). – 2018. – № 9. – С. 37–49.

7. Электродинамическое моделирование СВЧ установки сушки и обжига строительного кирпича / К.А. Кузьмин [и др.] // Бюллетень строительной техники (БСТ). – 2018. – № 9. – С. 62–70.

8. *Sergei Morozov, Konstantin Kuzmin, Gennady Makarov.* Neural network principle of implementation of digital filters, MATEC Web Conf.; 2018, No. 193, 102–115.

Морозов Сергей Михайлович, *канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Естественно-научные технические дисциплины и информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет). Россия.*

Кузьмин Константин Анатольевич, *канд. пед. наук, доцент кафедры «Естественно-научные технические дисциплины и информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет). Россия.*

215100, Смоленская обл., г. Вязьма, ул. Ленина, 77.

Тел.: (48131)6-18-66; e-mail: kuzmin_kostya@mail.ru.

Кочеткова Людмила Ивановна, *преподаватель кафедры «Технология и организация строительного производства», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.*

Балмашнова Елена Витальевна, *преподаватель кафедры «Технология и организация строительного производства», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.*

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Тел.: +7 (495) 781-80-07.

Ключевые слова: *автоматизация измерений; автоматизированная система; контроль измерений; погрешность измерений; управление технологическим процессом; авторегрессия.*

DEVELOPMENT OF THE INITIAL CONCEPTS OF METROLOGICAL SUPPORT OF MEASURING AND CALCULATED OPERATIONS IN AUTOMATING MEASUREMENTS

Morozov Sergey Mikhaylovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the chair "Science and Technical Disciplines and Information Technology", K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Russia.*

Kuzmin Konstantin Anatolyevich, *Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Profes-sor of the chair "Science and Technical Disciplines and Information Technology", K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack Univer-sity), Russia.*

Kochetkova Lyudmila Ivanovna, *Teacher of the chair "Technology and Organization of Construction Production", National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia.*

Balmashnova Elena Vitalyevna, *Teacher of the chair "Technology and Organization of Construction Production", National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia.*

Keywords: *measurement automation; automized system; measurement control; measurement error; process control; autoregression.*

The article discusses the metrological support of the automated control system and the task of increasing the reliability of the measured parameters by increasing the measurement accuracy in the need to determine the conditions under which the correctness of the applicability of probabilistic-statistical methods to the estimates of measurement error is observed and the reliability of the control reliability indicators is met.