

УДК 621.3

С.И. Клевцов

### ФОРМИРОВАНИЕ МУЛЬТИСЕГМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА

Формирование градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления связано с решением задачи построения ее пространственной аппроксимации, удовлетворяющей заданным требованиям, основными из которых являются требования по точности во всем диапазоне измеряемого физического сигнала и внешних воздействующих факторов, а также требования к допустимому уровню сложности вычислений.

Прецизионная точность измерения значения физической величины в интеллектуальном датчике может быть достигнута при использовании метода мульти-сегментной аппроксимации градуировочной характеристики на основе моделей линейных или нелинейных пространственных элементов [1-4].

В процессе формирования мультисегментной модели реальная градуировочная характеристика заменяется системой локальных поверхностей так, чтобы они в совокупности повторяли ее пространственную конфигурацию.

В общем виде пространственная модель градуировочной характеристики на основе метода мультисегментной аппроксимации представляется выражением [1]:

$$P_t = P(U_{Pt}, U_{Tt}, \bar{\gamma}_k, \Omega_k, F_k),$$

где  $P_t$  – значение давления в момент времени  $t$ ;  $\Omega_k = \bar{U}_{Pk} \cup \bar{U}_{Tk}$  – подобласть определения градуировочной характеристики для  $k$ -го сегмента

$$\bar{U}_{Pk} = \{U_P \in [U_{P,l-1}, U_{P,l}]\};$$

$$\bar{U}_{Tk} = \{U_T \in [U_{T,m-1}, U_{T,m}]\},$$

$U_{Pt}$  – значение сигнала канала давления в момент времени  $t$ ;  $U_{Tt}$  – значение сигнала канала температуры в момент времени  $t$ ;  $l$  – количество интервалов разбиения области изменения сигнала канала давления;  $m$  – количество интервалов разбиения области изменения сигнала канала температуры;  $k = m \cdot l$  – количество сегментов пространственной модели градуировочной характеристики;  $\bar{\gamma}_k$  – массив значений коэффициентов аппроксимации  $k$ -го сегмента градуировочной характеристики;  $F_k$  – функция, аппроксимирующая  $k$ -й сегмент градуировочной характеристики датчика.

С позиций простоты и скорости вычислений, что важно при работе датчика в реальном времени, предпочтение следует отдать модели сегмента локальной поверхности в виде плоскости [4]. Аппроксимация градуировочной характеристики посредством ее представления в виде системы плоскостей или линейных пространственных элементов в пространстве измеряемых параметров позволяет предельно упростить вычисления в микроконтроллере, а также обеспечивает управление методической погрешностью. Для более высокой точности вычислений в качестве компонентов пространственной модели градуировочной характеристики целесообразно использовать нелинейные пространственные элементы [1, 2, 3].

Исходной информацией для построения мультисегментной модели градуировочной характеристики (ММГХ) датчика является информация о поведении пространственной функции преобразования первичного преобразователя (ПП) при воздействии на него измеряемой физической величины и наиболее значимого внешнего дестабилизирующего фактора. Эта информация обычно представляется

в виде массива данных канала давления и канала температуры, полученных при градуировочных испытаниях первичного преобразователя датчика в требуемых диапазонах изменения давления и температуры. С учетом известного коэффициента усиления аналоговой части интеллектуального датчика эти данные нетрудно преобразовать к виду, необходимому для формирования ММГХ.

Градуировочные испытания проводятся как для получения исходных данных, используемых при формировании ММГХ, так и в целях проверки эффективности применения мультисегментной модели градуировочной характеристики моделей для достижения высокой точности измерения давления в интеллектуальном датчике.

Поскольку для определения коэффициентов аппроксимации ММГХ необходимы экспериментальные данные об изменении выходных сигналов с каналов давления и температуры при воздействии на ПП физических сигналов давления и температуры, то сначала при реализации процедуры формирования ММГХ проводятся температурные испытания ПП по следующей схеме:

- 1) ПП размещается в температурной камере. Устанавливается нижнее значение температуры из температурного диапазона. ПП выдерживается при фиксированной температуре в течение времени установления стационарного распределения температуры по объему ПП, обычно около 1,5 – 2 часов;
- 2) на ПП подается давление, равное нижнему значению из диапазона измеряемых давлений. Проводятся измерения выходного сигнала с канала давления ПП;
- 3) при фиксированном значении температуры изменяется давление с заданным шагом от нижнего уровня диапазона до верхнего уровня и обратно от верхнего уровня до нижнего. На каждом шаге проводится измерение выходного сигнала с канала давления ПП;
- 4) при фиксированной температуре проводится несколько циклов измерений давления от нижнего уровня диапазона до верхнего и обратно с измерением выходного сигнала с канала давления ПП;
- 5) температура увеличивается на заданную величину (шаг), ПП выдерживается при этой температуре 1,5-2 часа и проводятся процедуры по п.п. 3) и 4);
- 6) последние измерения проводятся при температуре, равной верхнему значению диапазона изменения температур, для промышленного применения датчиков это диапазон от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ;
- 7) при каждом зафиксированном значении температуры после выдержки в течение 1,5-2 часов проводятся измерения сигнала с преобразователя температуры, например измерение сопротивления терморезистора.

Результаты испытаний сводятся в таблицу.

Кроме того, для оценки погрешностей аппроксимации, выбора модели пространственного элемента ММГХ и адаптации ММГХ к требованиям по точности необходимо получить дополнительные данные о результатах испытаний ПП по каналам давления и температуры в промежуточных точках, не задействованных в основных температурных испытаниях.

Таким образом, в результате температурных испытаний получим следующую информацию:

- упорядоченное структурированное множество значений электрического сигнала, снимаемого с выхода канала давления ПП. Каждое из значений электрического сигнала соответствует паре фиксированных значений давления и температуры;
- упорядоченное структурированное множество значений сигнала, снимаемого с канала температуры ПП, например, множество значений электрического сопротивления терморезистора в зависимости от температуры окружающей среды;

• множество значений электрических сигналов, снимаемых с выходов каналов давления и температуры ПП, соответствующих паре фиксированных значений давления и температуры, отличающихся от основных температурных испытаний и используемых для проверки эффективности ММГХ.

Полученные данные позволяют определить основные характеристики ММГХ, такие как тип и функциональное выражение используемого пространственного элемента, параметры разбиения области определения модели градуировочной характеристики, оценить нелинейность экспериментальной градуировочной характеристики при фиксированной температуре, гистерезис, воспроизводимость экспериментальной градуировочной характеристики ПП, погрешность аппроксимации градуировочной характеристики, определить зависимость выходного сигнала с канала давления ПП от внешнего фактора – температуры и другие параметры.

Поскольку в микроконтроллере ИММ обрабатываются цифровые сигналы, то имеющиеся данные необходимо преобразовать к соответствующему виду.

Для реализации преобразования необходимо знать реальную функцию преобразования сигналов давления и температуры аналогового интерфейса интеллектуального датчика или его коэффициенты усиления по каналам давления и температуры, если они не меняются в диапазонах изменения выходных сигналов ПП.

Полученные в результате испытаний исходные данные используются для формирования мультисегментной модели градуировочной характеристики датчика в рамках следующей схемы:

1. Имеется область определения ПГХ:

$$Q = Q_P \cup Q_T, \quad Q_P = [P_{\min}, P_{\max}], \quad Q_T = [T_{\min}, T_{\max}], \quad \Omega_k \in Q,$$

где  $P_{\min}, P_{\max}$  – минимальное и максимальное эталонные значения давления, установленные при испытаниях датчика;  $T_{\min}, T_{\max}$  – минимальное и максимальное эталонные значения температуры, установленные при испытаниях датчика.

2. Имеется множество фиксированных эталонных значений давления и температуры, при которых проводятся тестовые замеры сигналов каналов давления и температуры датчика давления:

$$P = \{P_{\xi}\}_{\xi=1}^{\Psi}, \quad P_{\xi} \in Q_P, \quad \xi = 1 \dots \Psi, \quad T = \{T_s\}_{s=1}^S, \quad T_s \in Q_T, \quad s = 1 \dots S.$$

3. Каждой паре значений  $(P_{\xi}, T_s)$  ставятся в соответствие множество значений сигналов каналов давления и температуры датчика давления:

$$U^{\xi s} = \left\{ U_{P_r}^{\xi s}, U_{T_r}^{\xi s} \right\}_{r=1}^R,$$

где  $U_{P_r}^{\xi s}, U_{T_r}^{\xi s}$  –  $r$ -е значения сигналов каналов давления и температуры при установлении эталонных значений  $P_{\xi}$  и температуры  $T_s$  на испытательном стенде;  $R$  – количество испытаний при заданных  $P_{\xi}$  и  $T_s$ .

Таким образом, имеется множество экспериментальных точек, на основе которых строится аппроксимация пространственной функции преобразования:

$$\left\{ M_j(P_j, U_{P_j}, U_{T_j}) \right\}_{j=1}^n,$$

где  $n$  – общее количество экспериментальных точек.

4. С учётом нелинейности пространственной градуировочной характеристики модель ПГХ рассматривается в виде системы локальных поверхностей  $\{ \Pi_{UT}^k \}_{k=1}^m$ , каждая из которых может описываться своей функцией:

$$P = F_k(U_P, U_T).$$

Эти локальные поверхности перекрываются на границах, т. е.

$$\Pi_{UT}^k \cap \Pi_{UT}^{k+1} = \Pi_{UT}^{k,k+1} \neq 0.$$

Такое перекрытие границ снимает неопределенность при принятии решения о принадлежности сигналов каналов давления ( $U_{Pj}$ ) и температуры ( $U_{Tj}$ ) к той или другой области, если значения этих сигналов формально принадлежат границе этих областей  $U_{Pj}, U_{Tj} \in \Pi_{UT}^{k,k+1}$ .

Построенная таким образом система локальных пространственных элементов является аппроксимацией экспериментальной пространственной градуировочной характеристики интеллектуального датчика.

В качестве моделей элементарных аппроксимирующих элементов можно использовать модель элементарной аппроксимирующей плоскости или модель элементарной аппроксимирующей поверхности в виде полинома [2, 3, 4].

Коэффициенты аппроксимации элементарных аппроксимирующих элементов ММГХ определяются стандартным способом с помощью метода наименьших квадратов.

Как показало моделирование [3, 4], основанное на результатах испытаний первичных преобразователей давления, при высоких точностных характеристиках ПП, использование мультисегментной модели пространственных градуировочных характеристик в интеллектуальном датчике давления может обеспечить прецизионную точность измерения значений давления в широком диапазоне изменения давлений и температур.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клевцов С.И., Пьявченко О.Н., Удод Е.В. Метод мультисегментной аппроксимации градуировочной характеристики для прецизионных вычислений давления в интеллектуальных датчиках // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2008. Сборник научных трудов / Под общ. ред. А.Л. Стемпковского. – М.: ИПИМ РАН, 2008. – С.384-390.
2. Клевцов С.И. Пространственно-полиномиальные модели аппроксимации градуировочной характеристики интеллектуального датчика // Труды Международных научно-технических конференций "Интеллектуальные системы" и "Интеллектуальные САПР". Научные издания в 3-х томах. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2004. Т.2. – 468с. – С.309-314.
3. Клевцов С.И., Клевцова А.Б. Мультисегментная пространственная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика // Материалы международной научной конференции "Цифровые методы и технологии". Ч.4. – Таганрог: Изд-во "Антон", ТРТУ, 2005. – С.21-26.
4. Клевцов С.И., Удод Е.В. Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления // Известия ТРТУ. 2005. – №1. – С.99-107.

УДК 681.3.01

Д.Ю. Гужва

#### МОДЕЛЬ УГРОЗ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Обеспечение безопасности информационных ресурсов является одной из основных составляющих проектных решений при разработке современных инфотелекоммуникационных систем специального назначения (ИТКС ВН) и их систем защиты. Адекватная настройка систем защиты информации зависит от уровня подготовки администраторов безопасности ИТКС ВН, которые должны хорошо