

УДК 681.3.062

МОДЕЛЬ ПРЕЦИЗИОННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

С.И.Клевцов

Технологический институт Южного федерального университета,

Для выполнения прецизионных измерений давления разработан метод мультисегментной пространственной аппроксимации градуировочной характеристики датчика с линейными и нелинейными пространственными элементами.

Прецизионная точность измерения значения физической величины в интеллектуальном датчике может быть достигнута с помощью метода мультисегментной аппроксимации градуировочной характеристики (МСА ГХ) на основе модели прецизионной пространственной градуировочной характеристики и моделей линейных или нелинейных пространственных элементов [1-3].

В этом случае реальная градуировочная характеристика заменяется системой локальных поверхностей так, чтобы они в совокупности повторяли ее пространственную конфигурацию. Тип модели аппроксимирующей локальной поверхности, то есть линейного или нелинейного пространственных элементов, определяется многими факторами, такими как, например, точностные характеристики, объем и полнота исходных данных, требуемая скорость вычислений и другими.

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

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

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

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

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

где U_{P_t} – значение сигнала канала давления в момент времени t ; U_{T_t} – 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 простран-

ственной 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 [3]. Аппроксимация градуировочной характеристики посредством ее представления в виде системы плоскостей или линейных пространственных элементов (ЛПЭ) в пространстве измеряемых параметров позволяет предельно упростить вычисления в микроконтроллере, а также обеспечивает управление методической погрешностью. Однако, если требуется более высокая точность вычислений, чем обеспечивает данный подход, то в качестве компонентов пространственной модели градуировочной характеристики целесообразно использовать нелинейные пространственные элементы (НПЭ), например, параболического типа [1, 2].

Исходной информацией для построения пространственной градуировочной характеристики (ПГХ) датчика является информация о поведении пространственной функции преобразования чувствительного элемента (ПФП ЧЭ) при воздействии на ЧЭ измеряемой физической величины и наиболее значимого внешнего дестабилизирующего фактора, например, температуры. Исходная информация обычно представляется в виде массива данных канала давления и канала температуры, полученных при градуировочных испытаниях чувствительного элемента 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 ПГХ.

Таким образом, схему построения модели ПГХ можно представить в следующем виде:

1. Имеется область определения ПГХ:

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

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 значений эталонных давления и температуры, при которых проводятся тестовые замеры сигналов каналов давления и температуры датчика давления:

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

3. Каждой паре значений (P_ξ, T_s) ставятся в соответствие множество значений сигналов каналов давления и температуры датчика давления:

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

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

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

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

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

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

Экспериментальная проверка осуществлялась на основе данных температурных испытаний интеллектуального датчика давления (ИДД) [4, 5].

Пространственная градуировочная характеристика для ИДД формировалась на основе ЛПЭ размерами $6 \text{ кгс/см}^2 \times 20^\circ\text{C}$, НПЭ – 12

кгс/см² × 40°С. Размеры пространственных элементов были выбраны наименьшими из возможных при имеющемся объеме испытаний.

На рис. 1, 2 представлены графики относительной погрешности аппроксимации градуировочной характеристики с использованием линейного (ЛПЭ) и нелинейного (НПЭ) пространственных элементов при температурах $T = -40^{\circ}\text{C}$ и $T = 80^{\circ}\text{C}$.

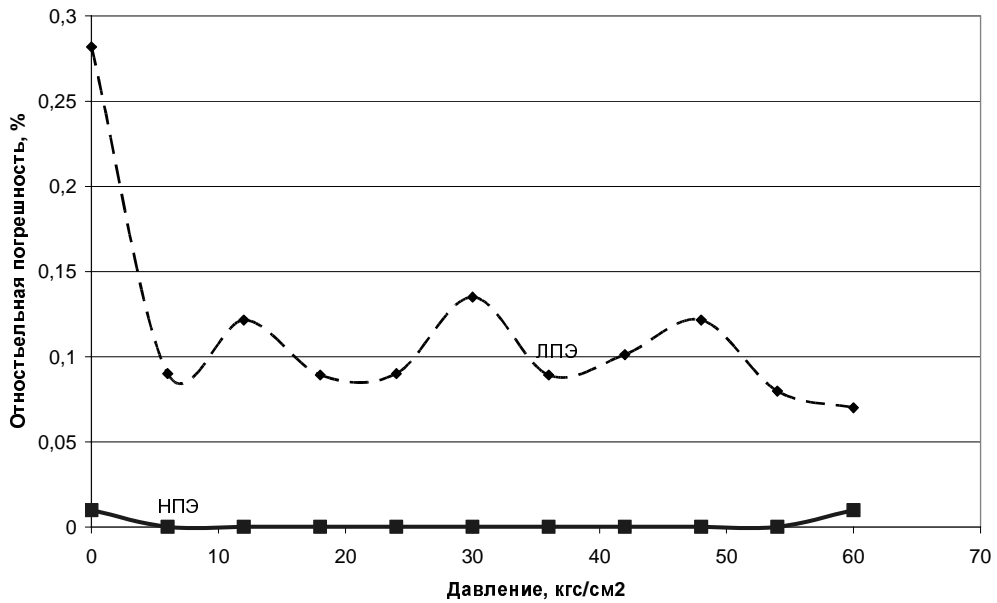


Рис. 1 График относительной погрешности аппроксимации градуировочной характеристики при $T = -40^{\circ}\text{C}$ (пунктир – линейная модель; сплошная – нелинейная модель)

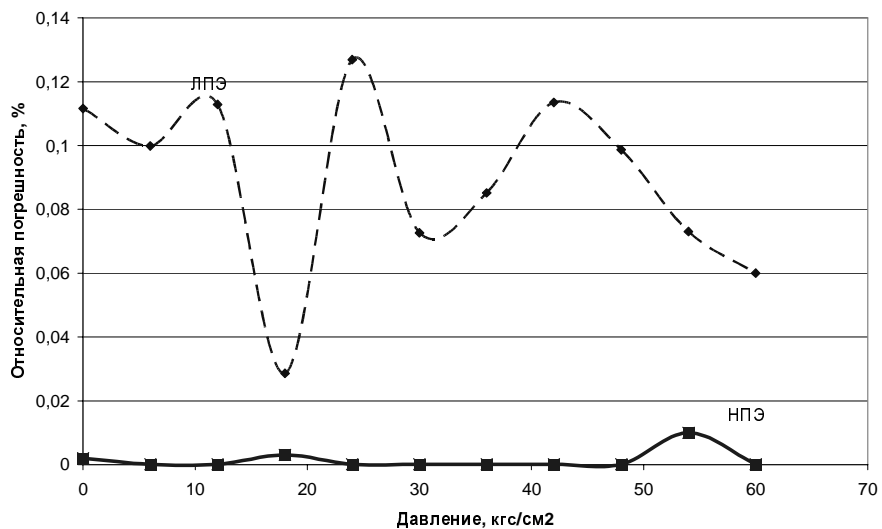


Рис. 2 График относительной погрешности аппроксимации градуировочной характеристики при $T = 80^{\circ}\text{C}$ (пунктир – линейная модель; сплошная – нелинейная модель)

Анализ результатов моделирования показывает, что наилучшие результаты при формировании модели пространственной градуировочной характеристики получены в случае использования *нелинейных пространственных элементов*.

Например, относительная погрешность аппроксимации градуировочной характеристики с использованием НПЭ на подобласти размером $12 \text{ кгс/см}^2 \times 40^\circ\text{C}$ не выше 0,03% в диапазоне изменения давления от 0 кгс/см^2 до 10 кгс/см^2 и температур от -40°C до 80°C .

Таким образом, при высоких точностных характеристиках ЧЭ, использование метода мультисегментной аппроксимации пространственных градуировочных характеристик в ИДД может обеспечить прецизионную точность измерения значений давления в широком диапазоне изменения давлений и температур.

Литература

1. 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
2. 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.
3. Клевцов С.И., Удод Е.В. Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления.// Известия ТРТУ. 2005. №1. – С.99-107.
4. 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.384-389.
5. Пьявченко О.Н., Мокров Е.А., Панич А.Е., Клевцов С.И., Пьявченко А.О., Федоров А.Г., Удод Е.В. Методы, модели, алгоритмы и архитектура прецизионных интеллектуальных датчиков давления. - Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2007. – 130с.

Получено 28.05.09