

## **ПОГРЕШНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ**

С.И.Клевцов

Технологический институт  
Южного федерального университета в г. Таганроге

*В статье приводятся оценки погрешностей измерения давления с использованием различных моделей пространственных аппроксимаций функций преобразования чувствительных элементов датчиков давления, учитывающих влияние внешних факторов*

Достижение низкой погрешности измерения физической величины в интеллектуальном датчике-измерителе базируется на использовании модели его градуировочной характеристики, адаптированной к особенностям поведения функции преобразования чувствительного элемента (ЧЭ).

Для обработки сигналов, поступающих с чувствительного элемента, в интеллектуальном датчике используются различные модели его градуировочной характеристики, которые, в основном, базируются на пространственном представлении функции преобразования чувствительного элемента [1, 2, 3]. Характерным для этих моделей является использование единого представления градуировочной характеристики для всей области изменения полезного сигнала и внешних факторов (области определения градуировочной характеристики).

Наиболее простой моделью градуировочной характеристики датчика, широко используемой для градуировки аналогового датчика является кусочно-линейная пространственная аппроксимация [2].

Кусочно-линейная аппроксимация в интеллектуальном датчике возможна при достаточно линейной функции преобразования чувствительного элемента и соответствующих требованиях к точности измерений. Количество идентификационных точек, используемых для аппроксимации зависит от требуемой точности. Для обеспечения погрешности не выше 0,5 в работе [2] был выбран массив, содержащий 51 идентификационную точку поверхности  $Z = f(P, T)$ . Число калибровочных точек по оси  $P$  выбрано равным 17, а по оси  $T$  составляет три точки:  $T_{мин}$ ,  $T_{ср}$ ,  $T_{макс}$ . Использование предложенной авторами [2] модели кусочно-линейной аппроксимации позволило уменьшить погрешность, связанную с нелинейностью функции

преобразования с 5% до 0,05%, а температурную погрешность с 2,5% до 0,1% (на 100С).

Несмотря на существенное снижение отдельных составляющих погрешности вычисления давления, следует отметить, что на диапазоне в 60<sup>0</sup>С изменений температуры (при проведении измерений в диапазоне температур -40<sup>0</sup>С ÷ +80<sup>0</sup>С и T<sub>ср</sub>=20<sup>0</sup>С) только температурная составляющая погрешности может составить величину порядка 0,6%, что не позволяет рекомендовать данный метод для прецизионных вычислений. Тем не менее, его использование целесообразно и оправдано, когда к датчику не предъявляются повышенные требования по точности.

Для проведения более точных измерений в настоящее время для аппроксимации градуировочной характеристики широко используются полиномы. Давление представляется полиномиальной функцией сигнала канала давления аналоговой части датчика [1,3]:

$$P_m = \sum_{i=0}^n a_{im} U_m^i, \quad (1)$$

где  $P_m$  – давление при температуре  $T_m$ ;

$U_m$  – выходной сигнал с чувствительного элемента датчика.

$$a_{im} = \sum_{k=0}^s \gamma_{ik} T_m^k, \quad (2)$$

где  $a_{im}, \gamma_{ik}$  - коэффициенты аппроксимации.

Как правило, используются полиномы второго порядка ( $n=s=2$ ).

Для упрощения вычислений обычно формируется единое представление градуировочной характеристики для всего диапазона измеряемой физической величины и внешнего воздействующего фактора и, следовательно, определяется один набор коэффициентов аппроксимации.

В работе [1] показано, что компенсация характеристик пьезорезисторного кремниевого сенсора давления с использованием аппроксимации обратной функции передачи сенсора полиномом второго порядка по давлению и температуре позволила снизить максимальную погрешность измерения по отношению к характеристике сенсора в идеальном случае до  $\pm 0,2\%$ , а в температурном диапазоне от 0 до 70<sup>0</sup>С – до значений менее  $\pm 0,1\%$ . Температурная зависимость напряжения смещения нуля при этом находится в границах  $\pm 0,2\%$  полного диапазона. Температурная компенсация уменьшила температурную зависимость чувствительности в 3,16 раза по отношению к некомпенсированному сенсору, чувствительность увеличилась 1,65 раза, максимальная нелинейность характеристики уменьшена в 26 раз.

Однако, следует отметить, что указанный результат был достигнут при использовании довольно значительного массива исходных данных в примерно 10000 точек, что неприемлемо даже при производстве небольшой партии датчиков.

Задача достижения прецизионной точности измерения значения физической величины в интеллектуальном датчике может быть решена при использовании предложенной в [4] мультисегментной модели градуировочной характеристики с линейными или нелинейными пространственными элементами. В рамках предлагаемой модели реальная градуировочная кривая заменяется системой локальных поверхностей так, чтобы они в совокупности повторяли ее пространственную конфигурацию. Тип аппроксимирующей локальной поверхности определяется многими факторами, одними из наиболее значимых являются требуемые точностные характеристики, объем и полнота исходных данных.

С позиций простоты и скорости вычислений, что важно при работе датчика в реальном времени, предпочтение следует отдать модели локальной поверхности в виде плоскости.

Исследование возможностей пространственной плоскостной модели градуировочной характеристики проводилось с использованием данных испытаний датчика давления, имеющего в своем составе первичный преобразователь давления (канал давления) и первичный преобразователь температуры (канал температуры). Эталонные давление и температура, подаваемые на датчик при его испытаниях, находились в пределах  $0 - 80 \text{ кгс/см}^2$  и  $-4^{\circ}\text{C} - +35^{\circ}\text{C}$ . Относительная погрешность данных испытаний для канала давления составляет погрешность не выше 0,05%, для канала температуры - не выше 0,07%. График  $P=P(U_p)$  имеет небольшую нелинейность, которую можно оценить в 2,1% во всем диапазоне изменения  $P$ .

Абсолютная погрешность определения давления при использовании пространственной характеристики в виде системы плоскостей в среднем не превышает  $0,014 \text{ кгс/см}^2$  при диапазоне значений входного сигнала давления от  $0 \text{ кгс/см}^2$  до  $80 \text{ кгс/см}^2$ .

Учитывая разброс исходных данных в  $\sim 0,05\%$  можно говорить о погрешности определения давления за счет неточности построения градуировочной характеристики в размере  $< 0,03\%$ .

При существенной нелинейности данных испытаний в системе параметров  $\{P, U_p, U_T\}$  пространственную форму градуировочной характеристики целесообразно формировать в виде системы нелинейных пространственных элементов.

Эта модель градуировочной характеристики была исследована на примере датчика абсолютного давления. Исходными данными служат

результаты испытаний при изменении давления в диапазоне от 0 до 60 кгс/см<sup>2</sup> с шагом в 6 кгс/см<sup>2</sup>. Температура соответствовала одному из следующих значений: -40°C, -20°C, 0°C, 25°C, 40°C, 60°C, 80°C.

В качестве модели нелинейного пространственного элемента был использован полином второй степени. При разбиении области определения градуировочной характеристики рассматривались: разбиение на участки размером [18кгс/см<sup>2</sup>×400С] (1-я схема разбиения) и на участки размером [24кгс/см<sup>2</sup>×600С] (2-я схема разбиения).

Результаты приведены на рис. 1 и 2.

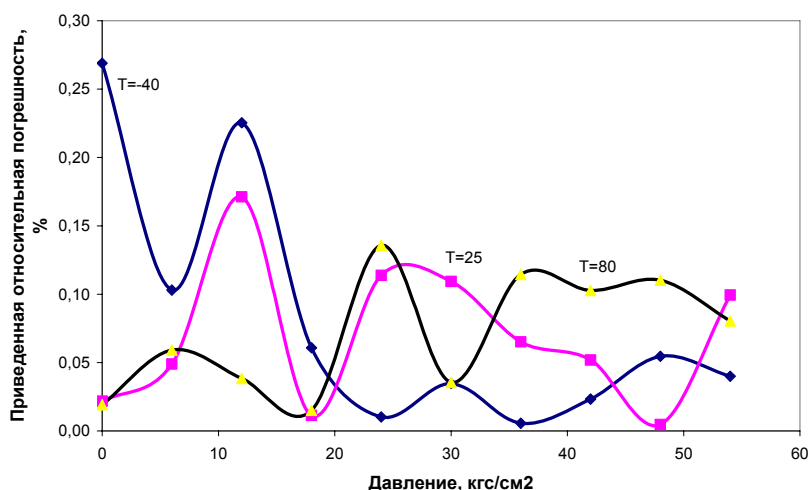


Рис. 1 – Относительная погрешность определения абсолютного давления для первой схемы разбиения

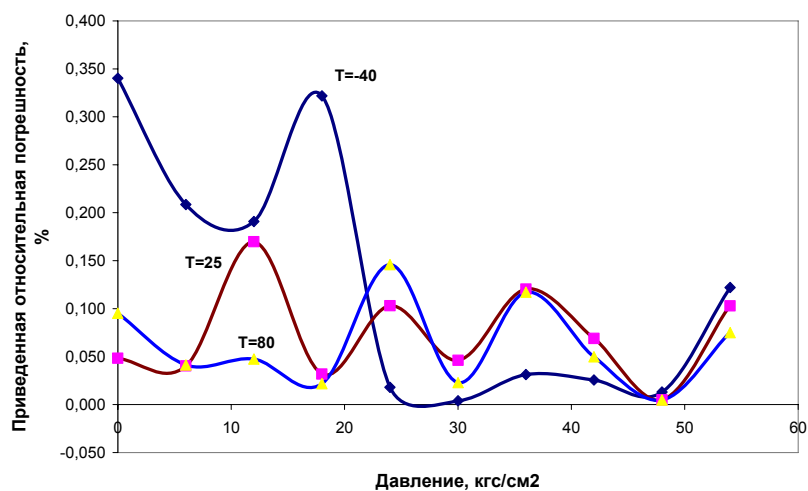


Рис. 2 – Относительная погрешность определения абсолютного давления для второй схемы разбиения области определения градуировочной характеристики

Полученные данные показывают высокую точность аппроксимации градуировочной характеристики в обоих случаях разбиения области определения характеристики. Тем не менее, чем

меньше размеры участков, тем более точный результат дает реализация метода.

Погрешность измерения давления, как показывают результаты компьютерного моделирования, для низких температур максимальная при низких давлениях и понижается более чем в 3 раза при увеличении давления. С увеличением температуры разница между максимальным и минимальными значениями погрешности уменьшается (рис.1 и 2). При высоких температурах наблюдается рост погрешности при увеличении подаваемого давления, однако разница между максимумом и минимумом погрешности не столь велика, как при низких температурах.

Анализ результатов показывает, что модель аппроксимации градуировочной характеристики системой локальных пространственных элементов обеспечивает высокую точность вычисления значений физической переменной во всем диапазоне воздействующих факторов при произвольной нелинейности данных градуировочных испытаний датчика. При незначительной нелинейности эффективна аппроксимация локальными плоскостными элементами. В случае существенной нелинейности реальной градуировочной характеристики эффективная аппроксимация возможна при использовании нелинейных локальных элементов.

### *Литература*

1. Шапонич Д., Жигич А. Коррекция пьезорезистивного датчика давления с использованием микроконтроллера. // Приборы и техника эксперимента. - 2001. - №1. – С. 54-60.
2. Бобровников Н.Р., Яркин С.В., Гридин Ю.Н., Стрыгин В.Д., Чертов Е.Д. Математическое обеспечение микропроцессорных преобразователей аналоговых пневматических сигналов. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002.- №2 – С.36-39.
3. Клевцов С.И., Линьков В.С., Веретельников Ю.А., Кузьминов В.Г. Погрешности вычисления давления в интеллектуальном датчике при матрично-полиномиальной аппроксимации его градуировочной характеристики // Известия ТРТУ. 2004. №2. – С.30-48.
4. Клевцов С.И., Клевцова А.Б. Мульти сегментная 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.
5. Клевцов С.И. Модели и методы построения прецизионных градуировочных характеристик интеллектуальных датчиков давления. // Известия ТРТУ. 2007. №3. – С.110-118.

Работа поступила в редакцию 04.05.2007.