

АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА И ОБОСНОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ*

А.Л. Шестаков, А.П. Лапин, Е.А. Лапина

CHOICE ALGORITHMS AND MODEL SUBSTANTIATION OF MEASURING PRESSURE CONVERTERS CONVERSION FUNCTIONS

A.L. Shestakov, A.P. Lapin, E.A. Lapina

Использование алгоритмических методов коррекции погрешности в интеллектуальных датчиках давления предполагает знание функции преобразования измерительного преобразователя. Авторами разработаны алгоритмы выбора и обоснования моделей функций преобразования. Применение этих алгоритмов дает возможность находить наилучшие функции преобразования для датчиков давления разного конструктивного исполнения.

Ключевые слова: функция преобразования, интеллектуальные датчики давления.

Usage of algorithmic methods of correction of an error in intellectual gauges of pressure assumes knowledge of function of conversion of the measuring converter. Authors develop choice algorithms and model substantiation of measuring pressure converters conversion function. Application of these algorithms gives the chance to find the best functions of conversion for gauges of pressure of different designs.

Keywords: conversion function, intellectual gauges of pressure.

Введение

Современные научные исследования и промышленное производство предъявляют всё более высокие требования к точности измерения физических величин, в частности, давления. Широкое распространение получили измерительные преобразователи давления на основе тензорезисторов [1]. Однако,енным преобразователям присущи недостатки в виде значительных погрешностей от нелинейности функции преобразования и сильной температурной зависимости.

Появление интеллектуальных датчиков давления [2] позволило перейти от схемотехнических решений к алгоритмическим методам коррекции выпла-

указанных погрешностей. Определяющую роль в этом играет правильный выбор функции преобразования (ФП) [3] измерительных преобразователей (ИП).

1. Постановка задачи

Основополагающие работы в этой области [4, 5] не дают однозначных путей решения проблемы. Анализ современных научных публикаций [6-8] показал, что в настоящее время при разработке и создании современных датчиков давления, обладающих высоким классом точности, также имеют место различные подходы.

Вся сложность возникающих при этом задач заключается в следующем:

* Сокращенный вариант статьи опубликован в научном журнале «Вестник ЮУрГУ» серии «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», вып. 9, № 26(159), 2009

Шестаков Александр Леонидович - д-р техн. наук, профессор, ректор ЮУрГУ, admin@urc.ac.ru

Лапин Андрей Павлович - канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационно-измерительная техника» ЮУрГУ, a_lapin@mail.ru

Лапина Екатерина Андреевна - аспирант кафедры «Информационно-измерительная техника» ЮУрГУ; a_lapin@mail.ru

Shestakov Aleksandr Leonidovich - PhD, professor, rector of SUSU; admin@urc.ac.ru

Lapin Andrey Pavlovich - PhD, associate professor of the Equipment for information and measuring department of SUSU; a_lapin@mail.ru

Lapina Ekaterina Andreevna - postgraduate student of the Equipment for information and measuring department of SUSU; a_lapin@mail.ru

-измерительные преобразователи различных конструкций, имеют различные ФП;

- внутри партии измерительных преобразователей одной и той же конструкции, вследствие различного рода отклонений в технологическом процессе изготовления ИП, имеют место отличающиеся друг от друга ФП отдельных ИП, т.е. речь идет об индивидуальных ФП измерительных преобразователей;

- нет единообразных требований к функции преобразования ИП;

- отсутствует единная методика нахождения функции преобразования измерительных преобразователей.

Особую актуальность эта проблема приобрела на крупных приборостроительных предприятиях при промышленном производстве больших партий датчиков давления.

Авторы считают, что функция преобразования должна отвечать следующим требованиям.

1. Функция преобразования строится в виде двухфакторной модели, входными факторами которой выступают давление, поступающее на вход преобразователя, и температура среды, в которой находится преобразователь.

2. Модель ФП должна обеспечивать нужный класс точности датчика давления и иметь при этом 2- или 3-кратный метрологический запас по приведенной погрешности.

3. Модель ФП должна быть как можно более простой по своей структуре. Сложность модели ограничивается числом точек по давлению и температуре, задаваемых при проведении испытаний датчика давления при построении его функции преобразования.

4. Функция преобразования должна отвечать требованиям по верификации, заложенным в конструкторскую документацию на датчики давления.

В качестве основы для изучения ФП измерительных преобразователей давления авторы использовали «обратную» градуировочную характеристику ИП в виде двухфакторной математической модели 5-й степени следующего вида:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3 + \beta_4 t^4 + \beta_5 t^5 + \beta_6 p + \\ + \beta_7 p t + \beta_8 p t^2 + \beta_9 p t^3 + \beta_{10} p t^4 + \beta_{11} p^2 +$$

Процедура получения «общей» (единой) ФП для ДД, реализованная в виде отдельных этапов

№	Название этапа	Содержание этапа	Требования (критерии)
1	Исследование партии ИП давления одной конструкции	Градуировка [4] партии ИП Верификация партии ИП	Согласно требованиям конструкторской документации
2	Классификация ИП	Формирование внутри партии ИП непересекающихся групп преобразователей	Согласно требованиям разработанных авторами рекомендаций
3	Проведение приемосдаточных испытаний ДД, собранных на основе исследованной партии ПИП	Градуировка [4] партии ДД Верификация партии ДД	Согласно требованиям конструкторской документации
4	Выбор ДД с наилучшими метрологическими характеристиками (МХ) из партии датчиков (назовем их «эталонными»)	Анализ метрологических характеристик ДД в партии	Минимальные значения приведенной и температурной погрешности ДД

$$+ \beta_{12} p^2 t + \beta_{13} p^2 t^2 + \beta_{14} p^2 t^3 + \beta_{15} p^3 + \beta_{16} p^3 t + \\ + \beta_{17} p^3 t^2 + \beta_{18} p^4 + \beta_{19} p^4 t + \beta_{20} p^5, \quad (1)$$

где Y - рассчитанное значение измеренного давления; p - выходной код АЦП преобразователя по давлению; t - выходной код АЦП преобразователя по температуре; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{20}$ - коэффициенты функции преобразования (ФП), определяемые по методу наименьших квадратов. Эта модель может быть реализована для шести температурных точек и шести точек по давлению, что отвечает плану стандартных приемосдаточных испытаний датчиков давления.

Учитывая собственный опыт исследовательской работы в этом направлении [9-13], авторам настоящей статьи видится такой путь решения проблемы.

1. Провести исследования ограниченного количества специально отобранных ИП *определенной конструкции* и на основе этой информации получить «общую» (единую) ФП, являющуюся *наилучшей для ИП данной конструкции*, т.е. создать библиотеку ФП, в которой для каждой конструкции ИП, выпускаемой промышленным предприятием, имеется своя, наилучшая, функция преобразования [14-15].

2. Процедуру нахождения «индивидуальных» ФП ИП, являющихся *наилучшими для конкретных экземпляров ИП*, авторы предлагают свести к *нахождению индивидуальных коэффициентов «общей» ФП*, взятой из библиотеки для данной конструкции ИП, для каждого преобразователя в партии, при градуировке измерительных преобразователей.

2. Алгоритмы выбора и обоснования модели функции преобразования

Процедура получения «общей» (единой) ФП для датчиков давления (ДД) разного конструктивного исполнения реализуется в виде последовательно выполняемых этапов в соответствии с таблицей.

Отметим особенности выполнения этапов, представленных в таблице.

Этапы 1, 2 включают исследования партии ИП датчиков одной конструкции, проводимые

Таблица

Окончание таблицы

№	Название этапа	Содержание этапа	Требования (критерии)
5	Расчет ФП на основе статистических методов для каждого из «эталонных» датчиков	Использование методов статистического моделирования [13, 14, 15]	1. Ограничения по величине с.к.о. модели ФП. 2. Ограничение по сложности модели ФП
6	Формирование одной (индивидуальной) ФП для каждого из «эталонных» ДД на основе ФП, полученных в п. 5	Использование элементов алгебры логики	1. Ограничения по величине с.к.о. модели ФП. 2. Ограничение по сложности модели ФП
7	Формирование «общей» (единой) ФП для ДД исследуемой конструкции на основе индивидуальных ФП «эталонных» ДД	Использование элементов алгебры логики	1. Ограничения по величине с.к.о. модели ФП. 2. Ограничение по сложности модели ФП
8	Проверка полученной «общей» ФП на других ДД из исследуемой партии	Расчет метрологических характеристик других ДД из исследуемой партии	Соответствие метрологических характеристик ДД требованиям конструкторской документации
9	Проведение приемосдаточных испытаний новой партии ДД исследуемой конструкции	Градуировка партии ДД Верификация партии ДД	Согласно требованиям конструкторской документации
10	Выполнить последовательность этапов с 4 по 8 включительно		

путем градуировки и верификации преобразователей, и их классификацию по разработанным авторами алгоритмам с целью выделения группы ИП, обладающих наилучшими (наименьшими) показателями погрешности от нелинейности и температурной погрешности.

Этапы 3, 4 включают проведение приемосдаточных испытаний партии ДД, собранных на основе исследованной партии ИП, и анализ их метрологических характеристик, что позволяет нам выделить так называемые «эталонные» датчики, обладающие наилучшими МХ, по которым будет определяться ФП исследуемой конструкции.

На этапе 5 выполняются работы, связанные с построением функций преобразования для «эталонных» датчиков давления. Нами были использованы методы регрессионного анализа: метод всех возможных регрессий, метод исключения коэффициентов модели, метод включения коэффициентов, шаговый метод. На основе разработанных авторами алгоритмов и созданных программ, путем статистического моделирования осуществляется поиск наиболее простых моделей ФП, удовлетворяющих сформулированным в статье требованиям.

На этапе 6 исследуются и анализируются различные модели ФП для каждого «эталонного» датчика, полученные путем объединения ФП, созданных на этапе 5. Полученные на этом этапе модели можно трактовать как индивидуальные ФП «эталонных» датчиков.

Этап 7 предназначен для получения по разработанным авторами алгоритмам «общей» (единой) ФП ДД исследуемой конструкции, которая формируется на основе индивидуальных ФП «эталонных» ДД.

Этап 8 направлен на проверку пригодности полученной «общей» ФП для других (не эталон-

ных) датчиков, входящих в исследуемую партию.

Этапы 9, 10 предполагают дополнительную проверку корректности созданной «общей» ФП путем применения ее к другим партиям ДД исследуемой конструкции.

Выводы

Авторами изучена задача выбора и обоснования функции преобразования измерительных преобразователей датчиков давления. Сформулированы новые требования к ФП ИП и определены пути решения поставленной задачи.

Предложена новая оригинальная последовательность (совокупность) математических методов и алгоритмов, обеспечивающаяенную законченную процедуру выбора и обоснования «единой» (общей) модели функции преобразования для каждой из конструкций измерительных преобразователей.

Выполнена практическая реализация предложенной процедуры на реальных экспериментальных данных. Полученные результаты подтверждают правильность предложенных алгоритмов и использованных математических методов.

Литература

1 Стучебников, В.М. Тензорезисторные преобразователи на основе гетероэпитаксиальных структур «кремний на сапфире» / В.М. Стучебников // Измерения, контроль, автоматизация. - 1982. - № 4(44). - С. 15-26.

2. Официальный сайт ЗАО ПГ «Метран». URL: <http://www.metran.ru/home/hart/abouthart.html>

3. ГОСТ 8.009-84 Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. -М.. Изд-во стандартов, 1998. - 151 с.

4. Семенов, Л.А. Методы построения градуи-

ровочных характеристик средств измерений / Л. А. Семенов, Т.Н. Сирака. - М.. Изд-во стандартов, 1986. -128 с.

5. Грановский, В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сирака. - Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1990. - 288 с.

6. Удод, Е.В. Исследование и разработка прецизионных математических моделей преобразования и алгоритмов вычислений значений давления: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Удод. - Таганрог, 2007

7 Бычков, В.В. Высокоточные аналоговые и цифровые измерительные преобразователи давления: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Бычков. - Томск, 2006.

8. Данилов, НА. Синтез функций преобразования измерительных приборов для контроля давления по заданному пределу приведенной погрешности: автореф. дис. ... канд. техн. наук/НА. Данилов. - СПб, 2007.

9 Концепция комплексного исследования метрологических характеристик датчиков давления «Метран» / А.П. Лапин, ДВ. Мыслеева, Е.Е. Филиппова, В. В. Филимонова // Практика приборостроения. - 2002. -№ 1. — С 38-41.

10. Опыт сотрудничества ЗАО «Промышленная группа "Метран"» и Южно-Уральского государственного университета в области исследо-

вания датчиков давления / А.П. Лапин, А.В. Коно-бьев, Л.В. Ушаков, А.В. Фетисов // Практика при-боростроения. -2003. -№4.-С 84-85.

11. Лапин, А.П. Статистическое исследование функций преобразования датчиков давления ПГ «Метран» / А.П Лапин, Л.Ф Нигамова, Е.Е. Чипеева // Информационные, измерительные и уп-равляющие системы и устройства: темат. сб. науч. тр. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. - С. 99-103.

12. Лапин, А.П. Исследование многофакторной функции преобразования датчиков давления ПГ «Метран» / А.П. Лапин, Е.Е. Филиппова// При-боростроение: тематич. сб. науч. тр. - Челя-бинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. - С 33-36.

13. Лапина, Е.А. Статистическое моделирова-ние функций преобразования датчиков давле-ния типа «Метран» / А.П. Лапин, Ю.Н. Цыпина, Е.А. Лапина // Вестник ЮУрГУ Серия «Комь-ютерные технологии, управление, радиоэлектро-ника». - 2008. -№ 3(103).

14. Дрейпер, Н Прикладной регрессионный анализ: в 2 т. / Н Дрейпер, Г Смит. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. Финансы и статистика, 1986.-Т. 1.-366с.

15. Дрейпер, Н Прикладной регрессионный анализ: в 2 т. / Н Дрейпер, Г Смит. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.. Финансы и статистика, 1987. -T.2.-351 с.

Поступила в редакцию 9 октября 2009 г.