

2. Отраслевой стандарт ОСТ 92-4527-84. Преобразователи первичные измерительные звуковых давлений пьезоэлектрические. Общие технические условия : Введен с 01.01.1986. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200091213>
3. Нефедьев, Д. Н. Коррекция температурной погрешности, аппроксимация градуировочных характеристик чувствительных элементов датчиков преобразующей аппаратуры с внутридатчиковой электроникой / Д. И. Нефедьев, И. Н. Чебурахин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2015. – № 4 (14). – С. 32–41.
4. Баринов, И. Н. Автоматизация разработки диагностического обеспечения интеллектуальных полупроводниковых датчиков давления / И. Н. Баринов, В. С. Волков // Приборы. – 2009. – № 12. – С. 20–25.
5. Левшина, Е. С. Электрические измерения неэлектрических величин. Измерительные преобразователи / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 315 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДАТЧИКОВ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

В. В. Кикот, В. П. Маланин, П. П. Чураков

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Наличие в элементах конструкции датчиков термоупругих и электротермических эффектов приводит к необходимости учета влияния температуры на характеристики датчиков [1].

Целью исследования является определение коэффициента влияния повышенно (пониженной) температуры рабочей среды на коэффициент преобразования (K_T) датчика ДХС 525 (пьезодатчика), получение временной зависимости выходного сигнала пьезодатчика при термоударном воздействии рабочей среды с температурой минус 196 °С для исследования возможности коррекции дополнительной температурной погрешности измерения пьезодатчика.

K_T пьезодатчика определен при постоянной составляющей измеряемого давления равной 1 атм и динамической составляющей (пульсациях давления) равной 5 кПа с частотой 50 Гц. Схема определения коэффициента влияния повышенной (пониженной) температуры рабочей среды на коэффициент преобразования приведена на рис. 1.

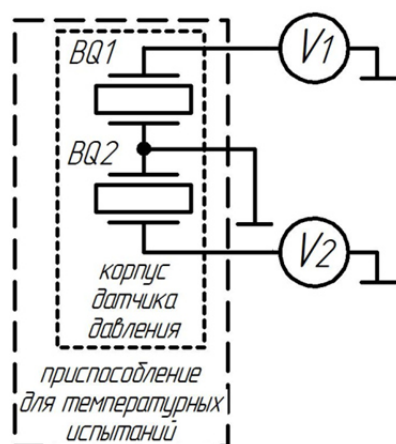


Рис. 1. Схема экспериментальной установки



Рис. 2. Внешний вид пьезодатчика

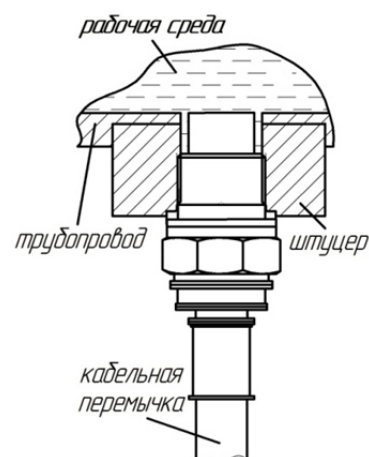


Рис. 3. Схема установки пьезодатчика на трубопроводе

Экспериментальная установка собрана из приспособления для температурных испытаний, состоящего из пульсатора для задания динамического давления газообразного

азота, приспособления для установки пьезодатчика с емкостью для заливки жидкого азота и с нагревательным элементом, термопары для измерения температуры рабочей среды, вольтметра $V1$ для измерения выходного сигнала рабочего пьезоэлемента $BQ1$, вольтметра $V2$ для измерения выходного сигнала виброкомпенсирующего пьезоэлемента $BQ2$. Выходным сигналом пьезодатчика является разность выходных сигналов рабочего и виброкомпенсирующего пьезоэлементов. Результаты измерений выходного напряжения пьезодатчика при температуре рабочей среды, изменяющейся в диапазоне от минус 196 до + 200 °С приведены в таблице. Значения K_{Ti} определены по формуле:

$$K_{Ti} = \frac{U_{Ti}}{U_{T=25^{\circ}\text{C}}}, \quad (1)$$

где T_i – значение температуры рабочей среды из диапазона (минус 196...+200) °С; U_{Ti} , $U_{T=25^{\circ}\text{C}}$ – значение выходного сигнала пьезодатчика при температуре со значениями T_i и +25 °С соответственно.

Таблица 1

Зависимость выходного сигнала пьезодатчика от температуры

Температура рабочей среды, °С	Выходной сигнал пьезодатчика, мВ	K_T	Допустимое значение	Соответствие требованиям [1]
25	0,470	1,00	08...1,2	соотв.
50	0,515	1,10	08...1,2	соотв.
100	0,525	1,12	08...1,2	соотв.
150	0,550	1,13	08...1,2	соотв.
200	0,570	1,21	08...1,2	соотв.
минус 50	0,470	1,00	0,6...1,1	соотв.
минус 100	0,425	0,90	0,6...1,1	соотв.
минус 150	0,315	0,67	0,6...1,1	соотв.
минус 196	0,295	0,63	0,6...1,1	соотв.

График зависимости выходного сигнала пьезодатчика от температуры приведен на рис. 4. Рассчитанные значения K_T находятся в диапазоне (0,63...1,21).

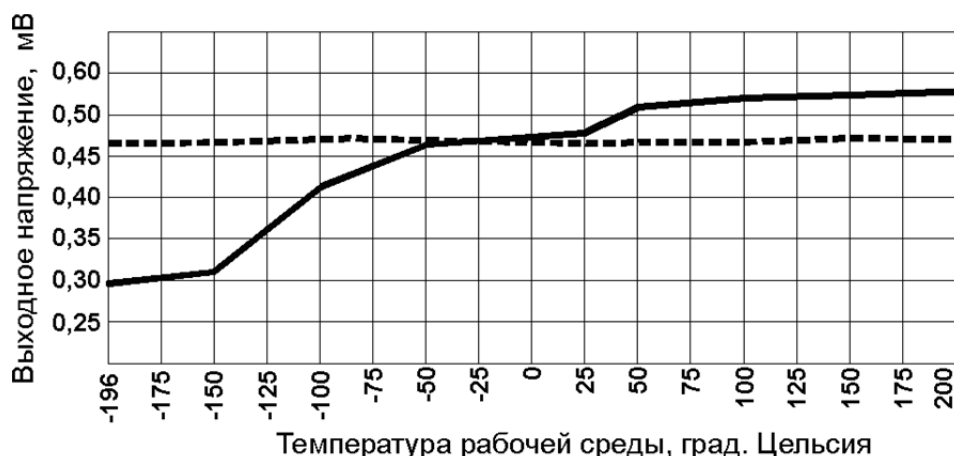


Рис. 4. Результаты определения коэффициента влияния температуры на коэффициент преобразования пьезодатчика

На рис. 5 приведена полученная временная зависимость выходного сигнала пьезодатчика при термоударном воздействии рабочей среды с температурой минус 196 °С и пульсациях давления рабочей среды 50 кПа с частотой 50 Гц.

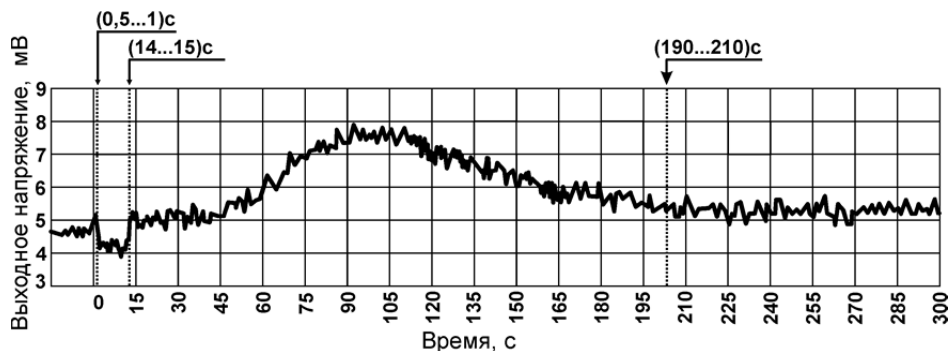


Рис. 5. Влияние термоударного воздействия рабочей среды с температурой минус 196 °С на выходной сигнал пьезодатчика

По результатам эксперимента выявлено, что в первые 0,5–1 с после начала термоудара из-за мгновенной деформации мембраны наблюдается скачок выходного напряжения с 4,7 до 5,2 мВ. Затем в связи с пирозэффектом в рабочем пьезоэлементе из-за высокोगradientного изменения его температуры и пьезоэффекта от его деформации из-за различных коэффициентов теплового линейного расширения элементов конструкции пьезодатчика уровень сигнала понижается до 4,2 мВ. Уменьшить дополнительную температурную погрешность пьезодатчика на этом временном отрезке с использованием моделирования функционирования пьезодатчика на основе описания физических и технических свойств пьезодатчика весьма затруднительно в силу сложности учета и математического описания физических процессов и повторяемости их воздействия (пирозэффект, повторный пьезоэффект, мгновенная деформация мембраны, температурные переходные процессы в элементах конструкции пьезодатчика и др.) [2], поэтому этот временной отрезок можно объявить неинформативным и включить его в значение длительности выходного сигнала пьезодатчика [3] или использовать методику восстановления выходного сигнала пьезодатчика [4].

Далее на протяжении времени с 16 по 190-210 секунд из-за различий температур ПЭ1 и ПЭ2 выходной сигнал датчика возрастает, а потом, по мере выравнивания температур ПЭ1 и ПЭ2, снижается. Начиная со 190-210 секунды переходные процессы в ИП, связанные с термоударом, завершаются. Уменьшение дополнительной температурной погрешности на этом временном отрезке также производится с использованием предварительной настройки пьезодатчика.

Коррекцию дополнительной температурной погрешности пьезодатчика предлагается произвести в следующей последовательности:

- 1) при нестационарной температуре рабочей среды (без термоударного воздействия):
 - а) определяются значения K_{Ti} во всем температурном диапазоне;
 - б) при эксплуатации пьезодатчика при температуре T_i значение измеряемого акустического давления ΔP_{AK} вычисляется по формуле:

$$\Delta P_{AK} [\text{Па}] = \frac{U_{Ti} [\text{мкВ}]}{K_{ПР} [\text{мкВ} / \text{Па}] \cdot K_{Ti}}, \quad (2)$$

где $K_{ПР}$ – коэффициент преобразования акустического давления в выходной сигнал, определенное при изготовлении пьезодатчика.

- 2) при термоударном воздействии рабочей среды:
 - а) при настройке пьезодатчика получить временную зависимость выходного сигнала пьезодатчика при термоударном воздействии рабочей среды с заданной температурой и ее градиентом, которые максимально приближены к условиям эксплуатации пьезодатчика;
 - б) определить импульсную переходную функцию пьезодатчика;

в) рассчитать с использованием полученной импульсной переходной функции массив значений импульсной переходной функции ИП пьезодатчика при известных значениях отсчетов времени воздействия измеряемого акустического давления и значениях отсчетов времени измерения выходного сигнала ИП пьезодатчика.

г) при эксплуатации пьезодатчика значение восстанавливаемого выходного сигнала вычислять с использованием измеренных значений температуры пьезоэлементов пьезодатчика и полученного массива значений импульсной переходной функции пьезодатчика.

Более подробно вопросы моделирования функционирования пьезодатчика при термодинамическом воздействии рабочей среды рассмотрены в [4].

Список литературы

1. Отраслевой стандарт ОСТ 92-4527-84. Преобразователи первичные измерительные звуковых давлений пьезоэлектрические. Общие технические условия : Введен с 01.01.1986. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200091213>
2. Богуш, М. В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей / М. В. Богуш ; под ред. А. Е. Панича. – М. : Техносфера, 2014. – 312 с.
3. ГОСТ 8.009-84 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М., 2003. – 27 с. – (Государственная система обеспечения единства измерений).
4. Бойков, И. В. Математическая модель пьезодатчиков динамического давления / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин, В. В. Кикот // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – Т. 2. – С. 295–297.
5. Маланин, В. П. Разработка электронного преобразователя для пьезодатчика динамического давления / В. П. Маланин, В. В. Кикот, А. С. Баранов // Приборы. – 2015. – № 10. – С. 10–16.

ПРИНЦИП ДВУХКАНАЛЬНОСТИ В РЕАЛИЗАЦИИ ИНВАРИАНТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И СИСТЕМ

В. Н. Нестеров, А. Р. Ли

АО «Самарский электромеханический завод», г. Самара

Основные идеи создания абсолютно инвариантных относительно возмущающих воздействий систем и систем с инвариантностью до ϵ , а также условия их физической реализуемости первоначально были высказаны и нашли применение в теории автоматического управления и регулирования [1–4]. Вскоре были высказаны соображения о связи теории инвариантности с теорией стабильности измерительных систем [5]. За прошедшие годы данное направление получило дальнейшее развитие, что было обусловлено потребностями науки и практики [6–15]. Количество публикаций в этой области измеряется тысячами наименований, что подтверждает актуальность темы, а мы приносим свои извинения авторам, которых не смогли здесь упомянуть в связи ограничениями на размер публикуемого материала. Цель работы – показать, как реализуется принцип двухканальности, сформулированный академиком Б. Н. Петровым [6], при построении инвариантных параметрических преобразователей, в частности неравновесных измерительных мостов и делителей напряжения. Первые публикации в этой области, относящиеся к девяностым годам прошлого века [16, 17], позволяют понять, что мы имеем дело с классической реализацией принципа двухканальности, но еще не дают представление о возможности его распространения на весь класс параметрических измерительных преобразователей. Полученные за прошедшее время порядка двадцати патентов на изобретения, на многие из которых имеются ссылки в фундаментальных работах [18, 19], позволяют говорить о