

Компьютерные, прикладные и инженерные инновации и модернизация отраслей промышленности

**I МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**НАУЧНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА**

**Компьютерные, прикладные и инженерные инновации и
модернизация отраслей промышленности**

Сборник научных трудов
по материалам I Международной научно-практической конференции

20 сентября 2018 г.

УДК 001
ББК 72

Главный редактор: Н.А. Краснова
Технический редактор: Ю.О.Канаева

Компьютерные, прикладные и инженерные инновации и модернизация отраслей промышленности: сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции, 20 сентября 2018 г., Санкт-Петербург: Профессиональная наука, 2018. - 23 с.

ISBN 978-0-359-11639-3

В сборнике научных трудов рассматриваются актуальные вопросы развития техники, инноваций, машиностроения, строительства и т.д. по материалам I Международной научно-практической конференции «Компьютерные, прикладные и инженерные инновации и модернизация отраслей промышленности», состоявшейся 20 сентября 2018 г. в г. Санкт-Петербург.

Сборник предназначен для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Все включенные в сборник статьи прошли научное рецензирование и опубликованы в том виде, в котором они были представлены авторами. За содержание статей ответственность несут авторы.

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте www.scipro.ru.

При верстке электронной книги использованы материалы с ресурсов: PSDgraphics

УДК 001
ББК 72



- © Редактор Н.А. Краснова, 2018
- © Коллектив авторов, 2018
- © Lulu Press, Inc.
- © НОО Профессиональная наука, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ 5

Годовицын И.В., Еремин П.М., Панков В.В. РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ 5

СЕКЦИЯ 2. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ 12

Строганова Е.П., Немыкин А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИЕМНОГО ТРАКТА В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНЫХ И ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПОМЕХ 12

СЕКЦИЯ 3. БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА 19

Каргаполов Н.В., Рафаилова А.Л. ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА У ПЕРЕСЕЧЕНИЯ МОСКОВСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ (МКАД) И КАШИРСКОГО ШОССЕ 19

СЕКЦИЯ 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 68

Годовицын И.В., Еремин П.М., Панков В.В. Разработка специализированной оснастки для испытания высокотемпературных преобразователей давления

Development of specialized equipment for testing high temperature pressure transducers

Годовицын Игорь Валерьевич,

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
НПК "Технологический центр", г. Зеленоград, Москва

Еремин Павел Михайлович,
Инженер

НПК "Технологический центр", г. Зеленоград, Москва

Панков Владимир Валентинович,
Инженер первой категории

НПК "Технологический центр", г. Зеленоград, Москва
Godovitsyn Igor Valerievich,

Candidate of Engineering Science, senior scientist worker
SMC "Technological center", Zelenograd, Moscow

Eremin Pavel Mihailovich
Engineer

SMC "Technological center", Zelenograd, Moscow

Pankov Vladimir Valentinovich

Engineer of the first category

SMC "Technological center", Zelenograd, Moscow

***Аннотация.** Высокотемпературные кремниевые преобразователи давления обладают высокими измерительными характеристиками, малыми размерами и весом и низкой себестоимостью и представляют собой привлекательное решение для многих отраслей производства и транспорта. Измерение характеристик таких преобразователей при повышенной (более 150 °С) температуре требует не только соответствующего оборудования, но и специализированной оснастки, обеспечивающей подачу давления и электрического питания на преобразователь, а также снятие с преобразователя выходного сигнала. В статье рассматриваются вопросы разработки специализированной оснастки для испытаний преобразователей давления, имеющих температурный диапазон от -45 °С до +220 °С. Проводится обсуждение способов подключения к выводам преобразователя и предлагается вариант с учетом имеющихся технологических возможностей. Выполняется тестирование электрических проводов разных производителей на стойкость к повышенной температуре. Проводится обсуждение полученных результатов.*

***Ключевые слова:** высокотемпературный кремниевый преобразователь давления, специализированная оснастка.*

***Abstract.** High-temperature silicon pressure transducers have high measuring characteristics, small size and weight and low cost and represent an attractive solution for many industries and transport.*

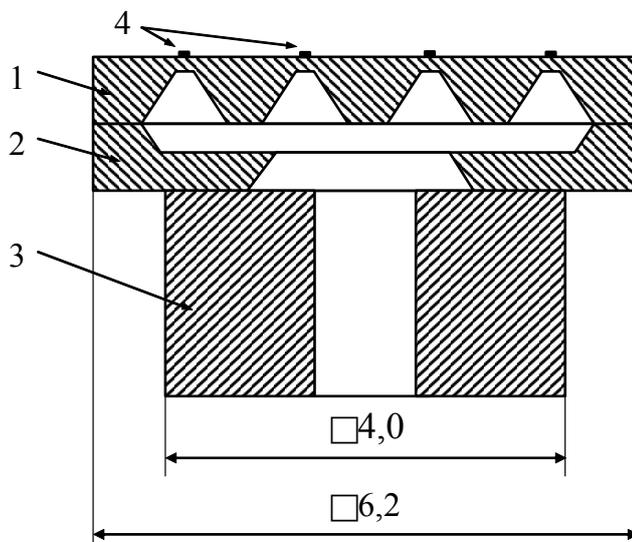
Measurement of the characteristics of these transducers at elevated temperatures (over 150 °C) requires not only appropriate hardware but also specialized equipment that provide the supply of pressure and electrical power to the transducer, as well as obtaining the output signal from the transducer. The article deals with the development of specialized equipment for testing pressure transducers having a temperature range from -45 °C to +220 °C. Discussion of the ways of connection to transducer terminals is carried out and a solution is proposed within the available technological capabilities. Testing of electrical wires from different manufacturers for resistance to high temperatures is performed. The obtained results are discussed.

Keywords: high-temperature silicon pressure transducer, specialized equipment.

В настоящее время в нефтегазовой отрасли, нефтехимической промышленности (изготовление пластмассовых изделий), автомобильном, авиационном и космическом транспорте существует потребность в высокотемпературных кремниевых преобразователей давления, позволяющих проводить измерения давления при повышенной температуре [1-3]. Данные преобразователи формируются с использованием КНИ-структур, выступающими как исходный материал для формирования разнообразных МЭМС-приборов [4-7]. Кроме решения ряда конструктивных и технологических задач, разработка высокотемпературного кремниевого преобразователя давления требует проведения испытаний для оценки метрологических характеристик. Стандартное измерительное оборудование рассчитано на проведение измерений кремниевых преобразователей с традиционным температурным диапазоном, чаще всего от -45 °C до +125 °C. Для испытаний высокотемпературного кремниевого преобразователя давления необходимо использование соответствующего оборудования, а также специализированная оснастка, обеспечивающая подачу давления и электрического питания на преобразователь. В связи с высокой температурой применения кремниевых преобразователей, разработка такой оснастки представляет технически сложную и актуальную задачу.

В данной работе проведена разработка специализированной оснастки для испытаний преобразователей давления, имеющих температурный диапазон от -45 °C до +220 °C. При разработке комплекса использован многолетний опыт НПК "Технологический центр" в области создания кремниевых преобразователей давления, изготовленных с использованием технологии объемной микрообработки. Разработка выполнена с учетом имеющихся технологических возможностей и материалов.

Высокотемпературный датчик состоит из чувствительного элемента (ЧЭ) высокотемпературного преобразователя давления, приведенного на рисунке 1, и корпуса. ЧЭ состоит из 3х частей: основания, прокладки и кристалла с мембраной. Кристалл с мембраной формируется из КНИ-пластины. Основание обеспечивает крепление кристалла к корпусу. Прокладка соединяет основание и кристалл с мембраной. Тензорезисторы расположены в местах концентрации механических напряжений на кристалле. Кристалл с мембраной непосредственно осуществляет преобразование давления в выходное напряжение. Части ЧЭ соединены между собой легкоплавким стеклом.



- 1 – кристалл с мембраной на КНИ-пластине;
- 2 – прокладка;
- 3 – основание;
- 4 – тензорезисторы

Рисунок 1. Эскиз конструкции ЧЭ высокотемпературного преобразователя давления

Монтаж ЧЭ в корпус типа ТО-5 может осуществляться несколькими способами. В качестве одного из них может быть названа пайка на высокотемпературный эпоксидный клей с силиконовым наполнителем. Такой клей обеспечивает прочное и эластичное соединение ЧЭ с корпусом, которое позволяет предотвращать возникновение дополнительных механических напряжений в ЧЭ, вызванных температурным воздействием.

Для присоединения крышки к основанию корпуса используется конденсаторная сварка, обеспечивающая надежное герметичное соединение в широком диапазоне температур.

Фотография изготовленного макета высокотемпературного преобразователя давления приведена на рисунке 2.

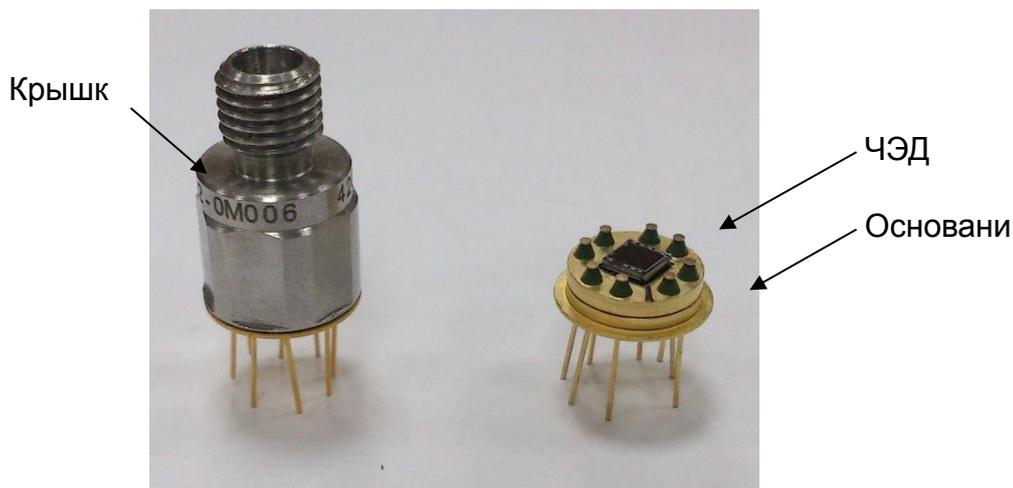


Рисунок 2. Прототипы высокотемпературного преобразователя давления

Испытания высокотемпературных кремниевых преобразователей давления требует использования расширенного перечня оборудования. Для задания температурного воздействия необходимо использовать как минимум 2 камеры. Первая камера обеспечивает диапазон температур от предельного нижнего значения (минус 45 °С) до повышенной (85 °С), вторая – от повышенной до предельного верхнего значения (220 °С). Совмещение обоих температурных диапазонов в одной камере проблематично в связи с отсутствием моделей с требуемыми параметрами на рынке. Наиболее широкий температурный диапазон климатических камер, представленных на рынке, составляет от минус 86 °С до 180 °С [7]. Для реализации испытаний высокотемпературного преобразователя давления необходимо использовать конфигурацию из одной климатической камеры и одного нагревательного шкафа, который будет применяться только для измерений при повышенной температуре.

В данной работе для измерений при повышенной температуре выбрана камера тепла Binder FED 53 (рисунок 3). Камера имеет следующие основные особенности:

- диапазон температур от (t помещения + 10) °С до 300 °С;
- вариация температуры при 150 °С – 1,4 °С;
- флуктуация температуры при 150 °С – 0,3 °С;
- время нагрева до 150 °С – 15 мин;
- время восстановления после открытия дверей на 30 сек до 150 °С – 4 мин.



Рисунок 3. Внешний вид камеры тепла Binder FED 53

Камера имеет отверстие для вывода электрических кабелей и магистралей подачи давления, которое закрывается вставкой из термоизолирующей резины, обеспечивающей поддержание требуемой температуры внутри камеры. Через отверстие подается электрическое питание и давление от источников, расположенных снаружи камеры.

В связи с высокой температурой испытаний встает вопрос о выборе способа подсоединения проводов к выводам преобразователя. Такое соединение должно обеспечивать хороший электрический контакт и быть устойчивым к длительной выдержке при повышенной температуре. Были рассмотрены следующие способы соединения: пайка высокотемпературным припоем, сварка и механическое соединение.

В результате исследований было установлено, что существует широкая номенклатура припоев, имеющих температуру плавления в диапазоне 240–300 °С и потенциально пригодных для соединения проводов с выводами преобразователя. Однако, такие припои, как правило, содержат олово, которое имеет высокий коэффициент диффузии в золото. Как показали проведенные эксперименты, длительная выдержка при верхней температуре измерений приводит к растворению золотого покрытия в процессе выдержки. Припои, не содержащие олова, как правило, имеют значительно более высокую температуру плавления, что делает затруднительным точечную пайку, так как она требует существенного прогрева паяемых деталей.

Применение точечной сварки для соединения проводов и выводов преобразователя также представляется проблематичным в связи с необходимостью сильного нагрева места соединения и потенциальной возможностью перегрева преобразователя.

В результате был выбран механический способ соединения проводов и выводов преобразователя. Для этого используется капиллярная трубка малого диаметра из

нержавеющей стали. Соединение производится путем обжима трубки опрессовочным инструментом. На рисунке 4 приведена фотография соединения, выполненного методом опрессовки металлического капилляра.

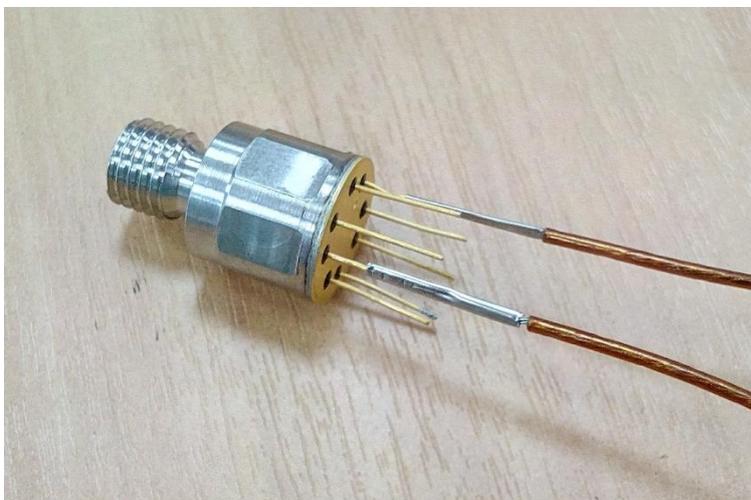


Рисунок 4. Соединение проводов и выводов преобразователя, выполненное методом опрессовки

Для выбора провода для соединения с выводами преобразователя был проведен эксперимент по воздействию температуры 220 °С в течение 3 часов. Воздействию подвергались провода следующих марок – АМПЗО, МГТФ и БИФ-Н с площадью сечения 0,2 мм². Результаты эксперимента приведены в таблице 1. Наилучшие характеристики продемонстрировал провод БИФ-Н, после температурного воздействия не было отмечено визуальных изменений в цвете изоляции, а также не изменилась гибкость провода. Провод БИФ-Н имеет жилу, скрученную из медных никелированных проволок и изоляция из полиимидно-фторопластовых плёнок. Провода марки БИФ предназначены для фиксированного монтажа бортовой электрической сети авиационной техники. Провод БИФ-Н устойчив к горению, выдерживает температуру до 300 градусов Цельсия, легко справляются с трением провода и другим механическим воздействиям.

Таблица 1

Характеристики провода после высокотемпературного воздействия

№пп	Марка провода	Площадь сечения, мм ²	Характеристики после воздействия 220 °С, 3 часа
1	АМПЗО	0,2	Изменился цвет изоляции, провод стал ломким
2	МГТФ	0,2	Изменился цвет изоляции
3	БИФ-Н	0,2	Без изменений

Подключение преобразователей к магистрали давления обычно реализуется групповым способом для увеличения загрузки камеры и уменьшения времени, затрачиваемого на испытание одного преобразователя. Для этого разработана и изготовлена металлическая оснастка-коллектор, позволяющая подключать к магистрали давления одновременно 16 преобразователей. Оснастка представляет собой толстую металлическую пластину, внутри которой высверлены каналы, соединяющие вход с переходниками, к которым присоединяются преобразователи. Все подключения к оснастке выполнены резьбовым способом. Для обеспечения герметичности места подключения переходников к пластине укреплены высокотемпературным эпоксидным клеем.

Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.577.21.0245, уникальный идентификатор ПРИЭР RFMEFI57717X0245).

В работе использовалось оборудование ЦКП "Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники" (ЦКП НПК "Технологический центр").

Библиографический список

1. Li S. et al, A novel SOI pressure sensor for high temperature application // 2015 J. Semicond. 36 014014.
2. Jiang X., High-Temperature Piezoelectric Sensing, Sensors 2014, 14, pp. 144-169.
3. Niu Z., Zhao Y., and Tian B., Design optimization of high pressure and high temperature piezoresistive pressure sensor for high sensitivity // Review Of Scientific Instruments 85, 015001 (2014).
4. Kurtz A. D., Ned A. A., and Epstein A. H., Ultra High Temperature Miniature SOI Sensors for Extreme Environments // IMAPS International HiTEC 2004 Conference Santa Fe, New Mexico, May 17-20, 2004.
5. Ned A. A., Kurtz A. D., Beheim G., Masheeb F., Stefanescu S., Improved SiC Leadless Pressure Sensors For High Temperature, Low and High Pressure Applications, Twenty-First Transducer Workshop Lexington, Maryland, June 22-23, 2004.
6. Guo S., Eriksen H., Childress K., Fink A., Hoffman M., High temperature smart-cut SOI pressure sensor // Sensors and Actuators A 154 (2009) pp.255-260.
7. http://www.lib-industry.com/product/Temperature_and_Humidity_Test_Chamber.html(дата обращения 14.07.2018).

Электронное научное издание

Компьютерные, прикладные и инженерные инновации и модернизация отраслей промышленности

сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической
конференции

20 сентября 2018 г.

По вопросам и замечаниям к изданию, а также предложениям к сотрудничеству
обращаться по электронной почте mail@scipro.ru

Подготовлено с авторских оригиналов



ISBN 978-0-359-11639-3

90000



Формат 60x84/16. Усл. печ. Л 0.9. Тираж 100 экз.
Lulu Press, Inc. 627 Davis Drive Suite 300
Morgisville, NC 27560
Издательство НОО Профессиональная наука
Нижний Новгород, ул. ул. Родионова, 199к3