УДК 681.586.773.088.8

В. В. Кикот

К ВОПРОСУ О ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ПЬЕЗОДАТЧИКОВ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И СПОСОБАХ УМЕНЬШЕНИЯ ИХ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

V. V. Kikot

AT THE QUESTION OF PIEZOELECTRIC ACOUSTIC PRESSURE TRANSDUCERS DEVELOPMENT TRENDS AND THE METHODS FOR REDUCING THEIR THE TEMPERATURE ERROR

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Измерение акустического давления при эксплуатации и испытаниях энергетических установок производится датчиками акустических давлений. Температурные переходные процессы в этих датчиках при мощном и быстропеременном температурном воздействии в диапазоне от минус 253 до + 300 °С приводят к снижению точности измерений акустического давления из-за возрастания температурной погрешности измерения акустического давления до 60 %. Даже при установившемся температурном режиме коэффициент влияния температуры на коэффициент преобразования составляет от 0,4 до 1,1. Повышение точности датчиков при нестационарной температуре рабочей среды, в том числе при ее термоударных воздействиях, является актуальной задачей. Целью проведенной работы является подтверждение актуальности исследований по разработке способов уменьшения температурной погрешности и определение тенденций развития пьезодатчиков акустического давления на основе патентной и технической информации. **Материалы и методы.** Изучены патентные материалы по датчикам акустических и быстропеременных давлений за 20 лет за период с 1995 по 2015 г. с использованием баз данных полных описаний изобретений Роспатента (Россия), Патентного офиса США, Европейской патентной организации, Всемирной организации интеллектуальной собственности и их распределение по годам выдачи. **Результаты.** Приведены результаты исследований тенденций развития способов коррекции пьезодатчиков акустических и динамических давлений на основе патентной информации. Указано распределение патентов по странам, динамика патентования, направленного на улучшение различных характеристик датчиков, распределение национальных патентов по странам, соотношение национальных патентов и патентов, полученных изобретателями в других странах, представлены результаты выявления наиболее значимых тенденций развития, указаны патенты с наиболее интересными с точки зрения практической реализации техническими решениями. **Выводы.** Результатами анализа тенденций развития подтверждена необходимость и актуальность научных исследований схемно-технических способов уменьшения температурной погрешности от нестационарной температуры рабочей среды, в том числе при ее термоударных воздействиях.

A b s t r a c t. Background. the acoustic pressure measurement during the operation and testing of power plants produced by the acoustic pressure sensors. Temperature transients in these sensors with a powerful and rapidly exposed to temperatures ranging from minus 253 to + 300 °С

leads to a decrease in the accuracy of acoustic pressure measurement due to the increase in the temperature of the acoustic pressure measurement error of up to 60 %. Even with the steady temperature conditions influence the temperature coefficient of the transform coefficient is from 0.4 to 1.1. Improving the accuracy of the sensor with a non-stationary temperature of the working environment, including in its thermal shock influences, it is an important task. The objective of this work is to demonstrate the relevance of research to develop ways to reduce the temperature error and the determination on the basis of patent and technical information, development trends of acoustic pressure piezosensors. *Materials and methods.* The patent materials on acoustic and dynamic pressure sensors in the 20 years between 1995 and 2015 using a database full descriptions of inventions of Rospatent (Russia), the United States Patent Office, the European Patent Organization, the World Intellectual Property Organization and their distribution by year of issue are considered. *Results.* The results of the development trends of research methods of the temperature error correction of the acoustic and dynamic pressure piezosensors on the basis of patent information are presented. This distribution of patents across countries, the dynamics of patents, aimed at improving the various sensors characteristics, distribution of national patents of the countries, the ratio of national patents and patents obtained by the inventors in other countries, the results of detection of the most significant trends, these patents with the most interesting from the point of view practical implementation of the technical solutions are described. *Conclusions.* The results of the analysis of trends confirmed the need and relevance of research scheme-technical ways to reduce the temperature error of the non-stationary temperature of the environment, including in its thermal shock.

К л ю ч е в ы е с л о в а: датчик давления, пьезоэлектрический, акустический, патент, тенденции развития, уменьшение температурной погрешности, распределение патентов.

К e y w o r d s: pressure sensor, piezoelectric, acoustic, patent, development trends, reducing the temperature error, patents distribution.

Введение

Датчики акустического давления применяются для измерения значений акустических нагрузок, воздействующих на изделия ракетно-космической и авиационной техники при эксплуатации, а также при их наземных испытаниях. Температурные переходные процессы в этих датчиках при мощном и быстропеременном температурном воздействии в диапазоне от минус 253 до + 300 °С приводят к снижению точности измерений акустического давления из-за возрастания температурной погрешности измерения акустического давления до 60 %. Даже при установившемся температурном режиме коэффициент влияния температуры на коэффициент преобразования составляет от 0,4 до 1,1 [1, 2]. Повышение точности датчиков при нестационарной температуре рабочей среды, в том числе при ее термоударных воздействиях, является актуальной задачей [3–7].

Целью проведенной работы является подтверждение актуальности исследований по разработке способов уменьшения температурной погрешности и определение тенденций развития пьезодатчиков акустического давления на основе патентной и технической информации.

Основная часть

При анализе тенденций развития по патентно-технической информации согласно [8] были изучены патентные материалы по датчикам акустических и быстропеременных давлений за 20 лет за период с 1995 по 2015 г. включительно с использованием баз данных полных описаний изобретений национальных патентных ведомств и международных организаций: Роспатент (Россия) [9], Патентный офис США [10], Европейская патентная организация (ЕПО) [11], Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС) [12]. Поиск проводился по словам и словосочетаниям: коррекция, температура, погрешность, давление, датчик акустического давления, пьезоэлектрический датчик давления. По исследуемой теме были отобраны 366 патентов, по которым проведен анализ тенденций развития. Количество выданных патентов с 1995 по 2015 г. составляет в среднем 12 шт. в год, с 2007 по 2009 г. по-

вышается в среднем до 33 шт. в год. В 2010 г. наблюдается наибольшее количество выданных патентов – 67 шт. С 2011 г. количество выданных патентов по исследуемой теме составляет примерно 4 шт. в год. Распределение выданных изобретателям патентов следующее:

– всего по странам: Россия – 58 шт., Япония – 146 шт., Китай – 25 шт., США – 66 шт., Южная Корея – 5 шт., Германия – 28 шт., Франция – 10 шт., Великобритания – 8 шт., Австралия – 4 шт., Финляндия – 5 шт., Сингапур – 2 шт. Италия – 2 шт., Норвегия – 1 шт., Австрия – 3 шт., Швейцария – 2 шт., Израиль – 1 шт.;

– национальные патенты: Япония – 100 шт. (42,6 %), Россия – 58 шт. (24,7 %), США – 36 (15,3 %), Китай – 22 (9,4 %), Германия – 8 шт. (3,4 %), Франция – 4 шт. (1,7 %), Великобритания – 3 шт. (1,3 %), Южная Корея – 2 шт. (0,9 %), Австрия – 1 шт. (0,4 %), Израиль – 1 (0,4 %);

– патенты, полученные изобретателями в других странах: Япония – 46 шт. (12,57 %), Китай – 3 шт. (0,82 %), США – 30 (8,19 %), Южная Корея – 3 шт. (0,82 %), Германия – 20 шт. (5,46 %), Франция – 6 шт. (1,64 %), Великобритания – 5 шт. (1,37 %), Австралия – 2 шт. (0,55 %), Финляндия – 5 шт. (1,37 %), Сингапур – 2 шт. (0,55 %), Италия – 1 шт. (0,27 %), Норвегия – 1 шт. (0,27 %), Австрия – 2 шт. (0,55 %), Швейцария – 1 шт. (0,27 %), Израиль – 1 (0,27 %).

По количеству изобретений, косвенно указывающему на объемы научных исследований, связанных с пьезодатчиками, лидируют Россия, Япония, Китай, США и Германия. Это страны с развитым производством судов, летательных и космических аппаратов и прочих транспортных средств. Лидерами по количеству национальных патентов являются Япония, Россия, США и Китай. В патентовании своих изобретений в других странах наиболее заинтересованы Япония, США и Германия. Очевидно, что изобретатели этих стран стараются максимально защитить свои права в других странах, и это вынужденная глобализацией экономики мера, так как взаимная интеграция научно-исследовательских и производственных мощностей делают необходимой правовую защиту интеллектуальной собственности в экономических интересах.

Проанализированы описания изобретений, найденных в процессе поиска, установлены задачи изобретений и технические результаты, которые отображают технико-экономические показатели, улучшение которых может быть важно для развития пьезодатчиков. Для выявления наиболее значимых тенденций патенты распределены в соответствии с решаемыми ими задачами. Распределенное количество патентов (498 шт.) превышает количество найденных патентов (366 шт.). Это связано с тем, некоторые изобретения направлены на решение нескольких задач.

Распределение патентов в соответствии с решаемыми ими задачами следующее:

– повышение точности – 27,91 % (139 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах RU 94035305 A1 (особая конструкция рабочей полости воздушной камеры), RU 2228578 C1 (выбор особенного соотношения геометрических размеров опорных частей корпуса и пьезоэлектрической биморфной пластины чувствительного элемента), RU 2066856 C1 (чувствительный элемент и акустический волновод датчика изготовлены из ленгмюровской пьезопленки, которая изготовлена из поливинилиденфторида или его сополимеров);

– улучшение конструкции – 24,1 % (120 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах RU 2241212 C2 (введение в конструкцию двух волноводов для расширения диапазона измерений и снижения электромагнитных помех), RU 95106595 A1 (введение опорных столбиков в конструкцию мембраны), US 2010107772 A1 (пьезодатчик давления на основе конструкции емкостного датчика давления с использованием пьезоэлектрической пленки);

– повышение чувствительности – 14,66 % (73 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах RU 2215275 C2 (введение в конструкцию датчика нового элемента – биморфной пьезопластины с увеличенным диаметром и с новым взаимным расположением зон с различной поляризацией пьезокерамики), RU 93002292 A (пьезоэлемент, собранный из пьезоколец, которые поляризованы радиально относительно их оси);

– повышение надежности – 8,63 % (43 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах US 2008238261 A1 (снижение риска пробоя, а также снижение тока утечки путем нанесения влагозащитной пленки на боковые поверхности пьезоэлементов), WO 2011065197 A1 (повышение надежности пленочного пьезоэлемента путем понижения его гистерезиса), RU 2339013 C1 (формирование жестко за-

крепленной на основании пьезоэлементной сборки с последующей герметизацией полости со сборкой);

– уменьшение температурной погрешности – 7,23 % (36 шт.), в том числе:

- улучшение свойств пьезоматериала для уменьшения температурной погрешности – 3,82 % (19 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах RU 2165116 C1 (особая рецептура пьезоматериала, позволяющая добиться высокой пьезочувствительности), RU 2498960 (пьезокерамика на основе ниобата лития для гидрофонов, микрофонов и радиоприемников), RU 2047585 C1 (пьезокерамика с повышенными значениями диэлектрической проницаемости, коэффициента электромеханической связи и пьезомодуля d_{31} для медицинских микрофонов);

- конструктивное уменьшение температурной погрешности – 2,41 % (12 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах RU 2093806 C1 (переходник датчика выполнен виде трубки с оребренной поверхностью), RU 2242730 C1 (повышение термостойкости и вибростойкости с использованием пьезоэлементов особой формы и конструкции), US 6925885 B2, WO 2010085603 A3 (система сбора информации с пьезорезистивными датчиками, с расположением компенсационных элементов в соединительных кабелях датчиков и установкой модуля электроники системы в безопасной среде);

- схемно-техническое уменьшение температурной погрешности – 1 % (5 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересны для внедрения и практической реализации патенты RU 94046114 A1 (попеременный анализ импедансов чувствительных элементов: информативных по внешнему задающему воздействию и воздействию, вносящему погрешность измерения: температуре, статическому давлению), RU 2568928 C1 (введение высокочастотного канала измерения температуры без изменения конструкции датчика с последующей коррекцией влияния температуры на точность измерения динамического давления);

– экономическая эффективность – 7,22 % (36 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах US 2010083474 A1 (особый способ изготовления пьезоэлемента, снижающий его себестоимость), US 2008048525 A1 (пьезодатчик давления с использованием особой конструкции опорного элемента, снижающей себестоимость изготовления пьезодатчика без изменения его конструкции);

– расширение функциональных возможностей – 6,42 % (32 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах DE 19923087 A1 (интеллектуальный датчик для анализа вибрации, давления, шума с использованием чувствительного элемента на основе пленочной пьезоэлектрической матрицы), US 2006283256 (диагностика работоспособности датчика давления путем введения еще одного пьезоэлектрического чувствительного элемента в разделительную мембрану), RU 2349886 C1 (размещение на сенсоре давления датчика температуры);

– расширение диапазона – 2,61 % (13 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах RU 94040199 A1 (снижение конвекционного переноса тепла с использованием вытеснителя в присоединительном патрубке датчика), CN 201289420 Y (введение чувствительного элемента из монокристаллического фосфата галлия и изолятора из керамики и слюды), RU 2384826 C1 (расширение нижнего диапазона измеряемого акустического давления введением чувствительного элемента с несколькими мембранами);

– улучшение технологии изготовления – 1,22 % (6 шт.), из выявленных изобретений наиболее интересными являются решения, изложенные в патентах CN 202026456 U (изготовление пленочной микрофонной матрицы), WO 2015194811 A1 (формирование чувствительного элемента датчика с использованием катушки пьезоэлектрической пленки), CN 203027480 U (технология изготовления пьезоэлектрического кремниевого микрофона).

Большинство изобретений (16 шт. из 19 шт.), направленных на уменьшение температурной погрешности путем улучшения свойств пьезоматериала, – зарубежные. Акцент отечественных изобретений сделан на конструктивные и схемно-технические способы. Это объясняется тем, что принципы преобразования неэлектрических измеряемых величин в электрические и используемые для их реализации в датчиках материалы и технологии, которые за рубежом патентовались в течение двух последних десятилетий, в СССР изучены, внедрены и используются с 50–70-х гг. XX в. Отечественные изобретения, связанные с продукцией двойного

назначения, к которой относятся и датчики акустических давлений для жестких условий эксплуатации, не патентуются и не публикуются в открытой печати. Именно поэтому сведения об изобретениях тех лет, связанных с улучшением свойств материалов, отсутствуют. Использование при разработке пьезодатчиков технологических способов уменьшения температурной погрешности (улучшение свойств пьезокерамических материалов, применение материалов с минимальной зависимостью характеристик от температуры), конструктивных способов (применение материалов со схожими температурными коэффициентами линейного расширения, использование различных вариантов взаимного расположения элементов пьезодатчиков, применение различных вариантов термостатирования и термостабилизации пьезодатчиков) по достижении предела их возможностей, обусловленного уровнем технического развития этих способов, становится неэффективным. Именно поэтому далее уменьшение влияния температуры осуществляется схемно-техническими способами. Ранее использование схемно-технических способов было ограничено возможностями электрорадиоизделий и комплектующих (ЭРИИК), которые применялись для проектирования измерительных цепей вторичных измерительных преобразователей с реализацией схемно-технических способов коррекции. Большие габаритные размеры, вес, низкая функциональность ЭРИИК не позволяли в полной мере использовать весь потенциал схемно-технических способов коррекции. Современные возможности ЭРИИК все чаще позволяют использовать решения, объединяющие ранее несоместимые конструктивные и схемно-технические способы коррекции для выполнения требований по точности измерений, энергосбережению, миниатюризации, адаптивности к системам измерений, управления и контроля. Например, стало возможным размещение пьезоэлектрических датчиков акустических давлений, датчиков температуры, а в необходимых случаях и измерительных цепей этих датчиков, реализующих схемно-технические способы коррекции, в одном корпусе. Поэтому отечественных конструктивных и схемно-технических способов повышения точности запатентовано больше, чем изобретений, которые направлены на улучшение свойств пьезоматериалов.

Заключение

Анализ тенденций развития пьезодатчиков на основе патентной информации свидетельствует о наличии двух тенденций. С одной стороны, научные исследования направлены на миниатюризацию пьезодатчиков и их измерительных цепей, с другой стороны, из-за возрастающей интеллектуализации измерительных цепей усложняются их структурные схемы, реализующие схемно-технические способы уменьшения погрешностей измерений.

Необходимость и актуальность научных исследований схемно-технических способов повышения точности пьезодатчиков объясняется возможностью (при относительно небольших затратах на разработку) совершенствования их характеристик путем уменьшения погрешностей измерений от вибрации, нестационарной температуры рабочей среды, в том числе ее термоударных воздействий и подтверждается результатами представленного анализа тенденций развития.

Список литературы

1. ОСТ 92-4527-84. Преобразователи первичные измерительные звуковых давлений пьезоэлектрические. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1984.
2. Преобразователи. Системы. Каталог ОАО «НИИФИ». – Пенза : Пензенская правда, 2011. – С. 70-98.
3. Баринов, И. Н. Состояние разработок и тенденции развития высокотемпературных тензорезистивных датчиков давлений на основе карбида кремния / И. Н. Баринов, Б. В. Цыпин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 11. – С. 50-60.
4. Волков, В. С. Автоматизация разработки диагностического обеспечения интеллектуальных полупроводниковых датчиков давления / В. С. Волков, И. Н. Баринов // Приборы. – 2009. – № 12. – С. 20-25.
5. Баринов, И. Н. Использование системы Simulink при имитационном моделировании высокотемпературных полупроводниковых датчиков давления / И. Н. Баринов, В. С. Волков // Приборы. – 2011. – № 7. – С. 50-54.

6. Баринов, И. Микроэлектронные датчики физических величин на основе МЭМС-технологий / И. Баринов, В. Пауткин, С. Козел, А. Федулов // Компоненты и технологии. – 2010. – № 1 (102). – С. 24–27.
7. Измерение параметров первичных пьезоэлектрических преобразователей систем управления / Е. А. Ломтев, А. А. Мельников, А. В. Пушкарева, А. В. Светлов, Б. В. Цыпин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 3 (35). – С. 95–103.
8. ГОСТ Р 15.011–96. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. – М., 1996. – 23 с. – (Система разработки и постановки продукции на производство).
9. Информационно-поисковая система // ФГБУ «ФИПС». – URL: <http://www.fips.ru> (дата обращения: 06.12.2015).
10. USPTO Patent Full-Text and Image Database // United States Patent and Trademark Office. – URL: <http://www.uspto.gov> (дата обращения: 14.12.2015).
11. Espacenet search [Электронный ресурс] // European Patent Office. – URL: <http://ep.espacenet.com> (дата обращения: 20.12.2015).
12. Search WIPO // World Intellectual Property Organization. – URL: <http://ipdl.wipo.int> (дата обращения: 04.01.2016).

Кикот Виктор Викторович

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: inbox@post.su

Kikot Viktor Viktorovich

postgraduate student
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 681.586.773.088.8

Кикот, В. В.

К вопросу о тенденциях развития пьезодатчиков акустического давления и способах уменьшения их температурной погрешности / В. В. Кикот // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 2 (16). – С. 58–63.