

УДК 531.714.2.

doi:10.21685/2307-5538-2022-3-12

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

А. А. Трофимов¹, А. В. Гладков², И. Е. Смирнов³, Д. М. Марков⁴, Н. В. Недопекин⁵

^{1,2,4,5} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

^{1,3,4,5} iit@pnzgu.ru, ² alexey.gladkov.1@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Несмотря на высокий современный уровень развития науки и техники проблемы физических измерений остаются актуальными из-за экстремальных условий эксплуатации первичных средств измерений (датчиков), какие имеют место в ракетно-космической технике, в том числе актуальны задачи измерения перемещений. Разработка датчика перемещений, работающего в условиях воздействия высоких температур до 600 °С, накладывает ограничения на используемые для изготовления катушек индуктивности материалы и провода, связанные с тем, что материалов, имеющих достаточную прочность и выдерживающих такие высокие температуры, немного (керамика, ситаллы). *Материалы и методы.* При решении поставленных задач использованы методы интегрального и дифференциального исчисления, теории электрических цепей и электромагнитного поля. При проектировании конструкций датчиков применялась система автоматизированного проектирования AutoCAD. *Результаты.* В результате проведенных работ по разработке датчика линейных перемещений получен большой технологический задел, необходимый для дальнейшего проведения работ по созданию высокотемпературных датчиков перемещений различных диапазонов измерений для изделий ракетно-космической техники.

Ключевые слова: керамическая подложка, датчик перемещений, токопроводящая спираль, катушка индуктивности

Для цитирования: Трофимов А. А., Гладков А. В., Смирнов И. Е., Марков Д. М., Недопекин Н. В. Технология изготовления высокотемпературного датчика линейных перемещений на основе металлокерамических катушек индуктивности // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 101–105. doi:10.21685/2307-5538-2022-3-12

THE ISSUE OF RESEARCH OF MANUFACTURING TECHNOLOGY OF HIGH-TEMPERATURE LINEAR DISPLACEMENT SENSOR BASED ON METAL-CERAMIC INDUCTANCE COILS

A.A. Trofimov¹, A.V. Gladkov², I.E. Smirnov³, D.M. Markov⁴, N.V. Nedopekin⁵

^{1,2,4,5} Penza State University, Penza, Russia

³ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

^{1,3,4,5} iit@pnzgu.ru, ² alexey.gladkov.1@yandex.ru

Abstract. *Background.* Despite the high modern level of science and technology development, the problems of physical measurements remain relevant due to extreme operating conditions of primary measuring instruments (sensors), which take place in the rocket-space technology, including the problems of measuring displacements. The development of a displacement sensor operating at high temperatures of up to 600 °C imposes restrictions on the materials and wires used to manufacture inductor coils, due to the fact that there are few materials that are sufficiently strong to withstand such high temperatures (ceramics, seals). *Materials and methods.* Methods of integral and differential calculus, theory of electric circuits and electromagnetic field were used to solve the tasks. A computer-aided design system was used in the design of sensor structures AutoCAD. *Results.* As a result of the conducted work on the development of a linear displacement sensor, a large technological reserve was obtained for further work on the creation of high-temperature displacement sensors with different measurement ranges for the products of rocket and space technology.

Keywords: ceramic substrate, motion sensor, conductive coil, inductance coil

For citation: Trofimov A.A., Gladkov A.V., Smirnov I.E., Markov D.M., Nedopekin N.V. The issue of research of manufacturing technology of high-temperature linear displacement sensor based on metal-ceramic inductance coils. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(3):101–105. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-3-12

Актуальной задачей при отработке новых типов двигательных установок является создание высокотемпературных бесконтактных датчиков перемещений, работоспособных при температурах окружающей среды от минус 100 до +600 °С, обладающих высокой стабильностью, точностью измерений и надежностью [1, 2].

Сложность создания таких датчиков обусловлена ограничениями на используемые материалы, отсутствием моточных проводов, изоляция которых выдерживает нагрев до температуры +600 °С без специальной защиты, а также необходимостью решения многочисленных технологических проблем.

Предельная рабочая температура электромагнитных датчиков перемещений с проволочными катушками индуктивности [3–6] ограничена возможностями конструктивных материалов (стеклотекстолит, клей, пропиточные лаки), а также предельно допустимой температурой моточного провода.

Для решения поставленной задачи предлагается электромагнитный датчик перемещений с использованием металлокерамических катушек индуктивности, выполненных на основе технологии изготовления многослойных керамических печатных плат и представляющих собой многослойную катушку индуктивности, сформированную последовательным нанесением на каждый слой керамической подложки токопроводящих спиралеобразных витков. Нанесение витков спирали на каждый слой керамической подложки осуществляется токопроводящей пастой на основе вольфрама и молибдена методом контактной печати для заполнения межспиральных переходов в подложке и методом трафаретной печати для получения спирали по плоскости подложки (рис. 1). Толщина керамической подложки выбирается исходя из условий обеспечения предъявляемых требований по механической прочности, изоляционным свойствам подложки после обжига и получения минимальной толщины многослойной керамической платы.

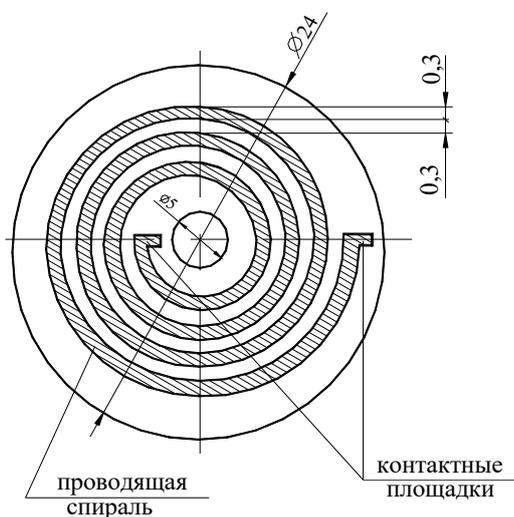


Рис. 1. Токопроводящая спираль

После нанесения токопроводящих витков (спиралей) на керамическую подложку формируют спрессованный монолит из требуемого количества металлизированных слоев и проводят обжиг монолита при температуре 1500–1600 °С. Для обеспечения электрического соединения полученной катушки индуктивности с другими элементами схемы или монтажными проводами предусматриваются никелевые контактные площадки, которые выведены на противоположные плоскости катушки и позволяют механически соединить контактные площадки проводниками или методами контактной сварки (рис. 2). Фотография металлокерамической обмотки индуктивности представлена на рис. 3.

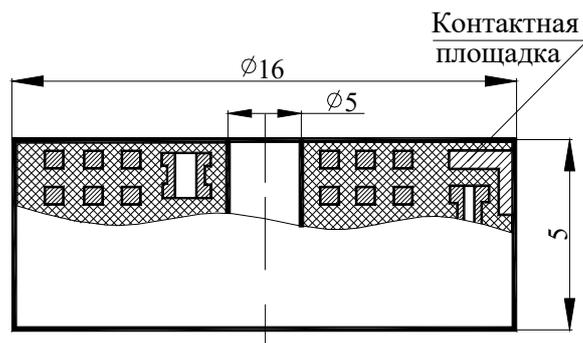


Рис. 2. Конструктивная схема металлокерамической обмотки индуктивности

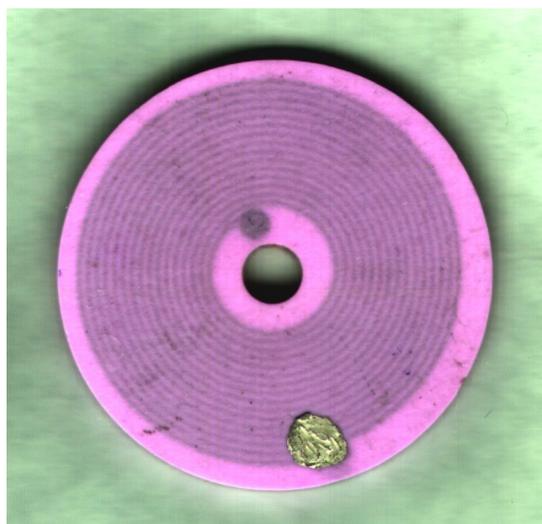


Рис. 3. Металлокерамическая обмотка индуктивности

Один из вариантов конструктивного исполнения высокотемпературного электромагнитного датчика перемещений трансформаторного типа на основе металлокерамических катушек индуктивности представлен на рис. 4.

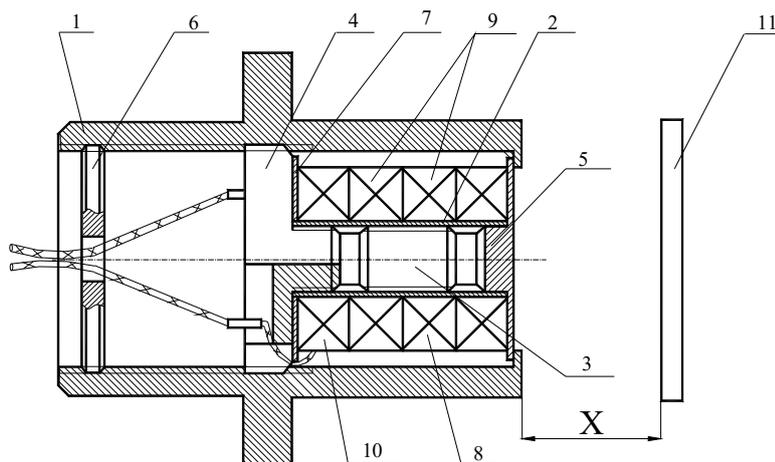


Рис. 4. Датчик линейных перемещений с металлокерамическими обмотками индуктивности

Датчик содержит ферромагнитный корпус 1, ферромагнитный сердечник 2 с резьбовым отверстием, в котором перемещается подстроечный винт 3, диамагнитные фланцы 4 и 5, компенсационную пластину 6, изоляционную шайбу 7, измерительную обмотку 8, обмотки питания 9 и компенсационную обмотку 10, ферромагнитный якорь 11.

Обмотки питания 9 соединены между собой последовательно-согласно и запитываются от генератора синусоидального тока, а измерительная 8 и компенсационная обмотка 10 соединены между собой последовательно-встречно.

Основные технические характеристики датчика:

- диапазон измерения перемещений 0...4 мм;
- диапазон рабочих температур от минус 100 до + 600 °С;
- основная погрешность не более 1 %.

Для подтверждения характеристик предлагаемого варианта конструктивного построения датчика были проведены экспериментальные исследования воздействия повышенной температуры (+420 °С) на металлокерамический чувствительный элемент. На рис. 5 представлены градуировочные характеристики предлагаемого датчика в нормальных условиях 1 и при температуре +420 °С – 2.

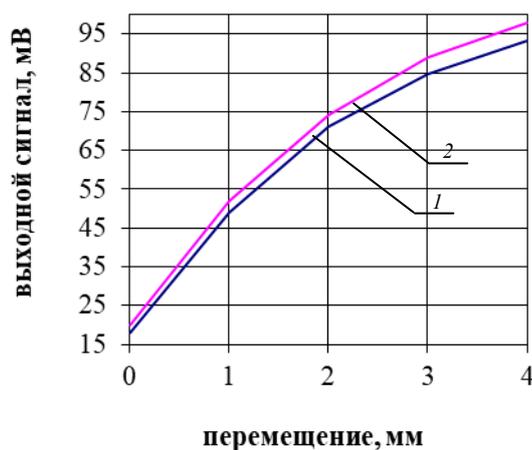


Рис. 5. Градуировочные характеристики предлагаемого датчика:
1 – в нормальных условиях эксплуатации; 2 – при температуре +420 °С

Полученные технические и эксплуатационные характеристики в сочетании с простотой и технологичностью конструкции позволяют рекомендовать разработанный датчик при обработке новых типов двигательных установок.

Список литературы

1. Дмитриенко А. Г., Блинов А. В., Трофимов А. Н., Трофимов А. А. Тенденции развития датчиков, преобразователей и на их основе систем измерения, мониторинга и контроля технически сложных объектов ракетно-космической техники // Датчики и системы. 2012. № 9. С. 4–6.
2. Трофимов А. Н., Трофимов А. А. Расширение температурного диапазона растровых трансформаторных датчиков перемещений // Измерительная техника. 2009. № 6. С. 24–27.
3. Дмитриенко А. Г., Трофимов А. Н., Трофимов А. А. Вопросы разработки унифицированных конструкций датчиков для перспективных систем измерения и контроля специальной техники // Измерительная техника. 2010. № 10. С. 18–21.
4. Трофимов А. А. Конаков Н. Д. Трансформаторные датчики перемещений с расширенным диапазоном измерений // Датчики и системы. 2005. № 9. С. 8–10.
5. Гаврилов В. А., Трофимов А. А. Система измерения линейных перемещений // Датчики и системы. 2005. № 9. С. 44–46.
6. Трофимов А. А., Трофимов А. Н. Взаимоиндуктивные датчики перемещений : моногр. Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. 174 с.

References

1. Dmitrienko A.G., Blinov A.V., Trofimov A.N., Trofimov A.A. Trends in the development of sensors, transducers and measurement systems based on them, monitoring and control of technically complex objects of rocket and space technology. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems*. 2012;(9):4–6. (In Russ.)
2. Trofimov A.N., Trofimov A.A. Expansion of the temperature range of raster transformer displacement sensors. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring technique*. 2009;(6):24–27. (In Russ.)

3. Dmitrienko A.G., Trofimov A.N., Trofimov A.A. Issues of development of unified sensor structures for advanced measurement and control systems of special equipment. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring equipment*. 2010;(10):18–21. (In Russ.)
4. Trofimov A.A. Konakov N.D. Transformer displacement sensors with an extended measurement range. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems*. 2005;(9):8–10. (In Russ.)
5. Gavrilov V.A., Trofimov A.A. System for measuring linear displacements. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems*. 2005;(9):44–46. (In Russ.)
6. Trofimov A.A., Trofimov A.N. *Vzaimoinduktivnye datchiki peremeshcheniy: monogr = Mutually inductive displacement sensors : monograph*. Penza: Izd-vo PGU, 2009:174. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Анатольевич Трофимов

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры информационно-
измерительной техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Aleksey A. Trofimov

Doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Алексей Владимирович Гладков

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: alexey.gladkov.1@yandex.ru

Aleksey V. Gladkov

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

Иван Евгеньевич Смирнов

ординатор кафедры общей хирургии,
Санкт-Петербургский государственный
университет
(Россия, г. Санкт-Петербург,
Менделеевская линия, 2)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Ivan Evgen'evich Smirnov

Resident of the sub-department of general surgery,
St. Petersburg State University
(2 Mendeleevskaya line, St. Petersburg, Russia)

Дмитрий Максимович Марков

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Dmitriy M. Markov

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

Никита Вячеславович Недопекин

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Nikita V. Nedopekin

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

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 12.05.2022

Поступила после рецензирования/Revised 13.06.2022

Принята к публикации/Accepted 18.07.2022