

УДК 681.586
doi:10.21685/2307-5538-2022-4-17

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДАТЧИКОВ ДЛЯ СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ

А. В. Гладков¹, К. И. Бастрыгин², В. Н. Пономарев³,
А. А. Трофимов⁴, С. А. Здобнов⁵

^{1,2,3,5} Научно-исследовательский институт физических измерений, Пенза, Россия

⁴ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ alexey.gladkov.1@yandex.ru, ² sensor@niifi.ru, ³ revik2296@gmail.com, ⁴ alex.t1978@mail.ru, ⁵ sa_zdobnov@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* При проектировании датчиков для новых изделий ракетно-космической техники разработчику приходится решать ряд задач по обеспечению противоречивых требований, предъявляемых к датчиковой аппаратуре, а именно: высокая точность измерения при воздействии жестких дестабилизирующих факторов, малое энергопотребление и высокая помехозащищенность, обеспечение высоких показателей надежности и качества аппаратуры, требующее всесторонней отработки конструктивно-технологических решений при минимальных сроках проектирования. Для решения перечисленных задач и устранения противоречий между сжатыми сроками разработки и необходимостью обеспечения высокого качества изделий и их серийно-пригодности авторами применен комплексный анализ технического уровня датчиков на этапе разработки. *Материалы и методы.* Для определения состояния разработок и выявления тенденций их развития были выбраны зарубежные и отечественные датчики линейных перемещений и частоты вращения, аналогичные по назначению, принципу действия, метрологическим характеристикам, условиям эксплуатации и являющиеся одними из лучших по технико-экономическим показателям. Построены циклограммы основных единичных показателей датчиков линейных перемещений и частоты вращения. *Результаты.* В результате проведенного комплексного анализа установлено, что по своему техническому уровню разработанные датчики линейных перемещений и частоты вращения соответствуют лучшим мировым аналогам.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, датчик, единичный показатель, техническое задание, технический уровень

Для цитирования: Гладков А. В., Бастрыгин К. И., Пономарев В. Н., Трофимов А. А., Здобнов С. А. Комплексный анализ технического уровня датчиков для систем ракетно-космической техники на этапе разработки // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 4. С. 139–146. doi:10.21685/2307-5538-2022-4-17

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE TECHNICAL LEVEL OF SENSORS FOR ROCKET AND SPACE ENGINEERING SYSTEMS DURING THE DEVELOPMENT STAGE

A.V. Gladkov¹, K.I. Bastrygin², V.N. Ponomarev³, A.A. Trofimov⁴, S.A. Zdobnov⁵

^{1,2,3,5} Scientific Research Institute of Physical Measurements, Penza, Russia

⁴ Penza State University, Penza, Russia

¹ alexey.gladkov.1@yandex.ru, ² sensor@niifi.ru, ³ revik2296@gmail.com, ⁴ alex.t1978@mail.ru, ⁵ sa_zdobnov@mail.ru

Abstract. *Background.* When designing sensors for new rocket and space technology products, the developer has to solve a number of problems to ensure contradictory requirements for sensor equipment, namely: high measurement accuracy under the influence of harsh destabilizing factors, low power consumption and high noise immunity, ensuring high reliability and quality of equipment, requiring a comprehensive study of design and technological solutions with minimal design time. To solve these problems and eliminate the contradictions between the short development time and the need to ensure high quality of products and their serial availability, the authors applied a comprehensive analysis of the technical level of sensors at the stage of development. *Materials and methods.* To determine

the state of development and identify trends in their development, foreign and domestic linear displacement and rotational speed sensors similar in purpose, operating principle, metrological characteristics, operating conditions and being among the best in technical and economic indicators were selected. The cyclograms of the main unit indicators of linear displacement and rotation frequency sensors were built. *Results.* As a result of the comprehensive analysis, it was found that the developed linear displacement and rotational speed sensors correspond to the best world analogues in terms of their technical level.

Keywords: rocket and space technology, sensor, single indicator, technical specifications, technical level

For citation: Gladkov A.V., Bastrygin K.I., Ponomarev V.N., Trofimov A.A., Zdobnov S.A. Comprehensive analysis of the technical level of sensors for rocket and space engineering systems during the development stage. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2022;(4):139–146. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-4-17

Введение

Необходимость на ранних стадиях разработки, в том числе при составлении технического задания (ТЗ), оценивать технические характеристики образцов, предлагаемых к проектированию в сравнении с характеристиками отечественных и зарубежных аналогов, позволяет более объективно оценить не только целесообразность затрат на проведение разработки, но и степень риска в получении ряда характеристик с учетом достигнутого мирового уровня. Особенно это касается технических характеристик, существенно превышающих отечественный и мировой уровень, так как в этом случае реализация требований ТЗ будет связана с повышенными экономическими затратами, а степень риска получения отрицательного результата значительно возрастает.

Важна объективная оценка результатов разработки, которая возможна через комплексный показатель технического уровня, позволяющий оценить как достоинства, так и наиболее слабые стороны разработки в сравнении с лучшими отечественными и зарубежными аналогами.

Сравнительная оценка технического уровня датчиков перемещения и частоты вращения

Для определения технического уровня разработанных конструкций датчиков перемещений и частоты вращения [1–5] для систем авиационной и ракетно-космической техники проведен сравнительный анализ их технического уровня с использованием ГОСТ Р 55975–2014¹.

Процесс оценки технического уровня планируемых к разработке датчиков перемещения и частоты вращения состоит из следующих этапов:

- формирование перечня аналогов для каждого образца датчиков;
- формирование показателей качества «идеального» образца для дальнейшей оценки;
- определение относительных показателей качества оцениваемых датчиков;
- комплексная оценка технического уровня.

Для определения состояния разработок и выявления тенденций их развития были выбраны лучшие по технико-экономическим показателям модели зарубежного и отечественного производства, аналогичные по назначению и условиям эксплуатации. Оцениваемые образцы сравниваются по одинаковой номенклатуре технико-экономических показателей.

Среди рассмотренных преобразователей отобраны образцы, удовлетворяющие современному техническому уровню по совокупности показателей по точности, надежности и эксплуатационным характеристикам.

Выбор аналогов проводился по журналам «Приборы», «Датчики и системы», «Сенсор», «Современные технологии автоматизации», по тематическим подборкам из реферативных журналов «Изобретения стран мира», «Известия вузов», по бюллетеням «Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки», по официальным изданиям патентных ведомств США, Великобритании, Германии, Франции, Японии, по патентным бюллетеням,

¹ ГОСТ Р 55975–2014. Сравнительная оценка технического уровня и выбор по показателям качества.

по описаниям изобретений к авторским свидетельствам и патентам Российской Федерации, по каталогам и проспектам ведущих зарубежных фирм.

Следующим этапом оценки технического уровня является сравнение предложенного датчика с «идеальным образцом» и аналогами по отдельным единичным показателям по формулам

$$q_j = \frac{p_j}{p_{ju}} \quad (1)$$

и

$$q_j = \frac{p_{ju}}{p_j}, \quad (2)$$

где p_j – значение j -го единичного показателя оцениваемого датчика; p_{ju} – значение j -го единичного показателя «идеального образца».

Формула (1) применяется для определения значений стимуляторов-показателей датчиков, увеличение значений которых приводит к росту технического уровня, а формула (2) – для определения значений дестимуляторов, увеличение значений которых приводит к снижению технического уровня датчиков.

Если наибольшее изменение какого-либо единичного показателя приводит к значительному улучшению технического уровня, вместо формул (1) и (2) используем формулы [5]:

$$q_j = e^{\frac{0,69 p_j}{p_{ju}}} - 1, \quad (3)$$

$$q_j = e^{\frac{0,69 p_{ju}}{p_j}} - 1. \quad (4)$$

Состав единичных показателей качества для сравнения представлен в табл. 1 и 2, а также в виде циклограмм, приведенных на рис. 1.

Таблица 1

Состав единичных показателей качества датчиков линейных перемещений

Наименование характеристики и единицы измерения	Коэффициенты весомости	«Идеальный образец» ДПА	Разрабатываемый объект	SD-081 (Bruel&KjaerVibro GmbH), Дания)	ДВТ 20 и ИП 34 (НПП «Вибробит»)	Относительные показатели, q_i		
						Разрабатываемый объект	SD-081 (Bruel&KjaerVibro GmbH), Дания)	ДВТ 20 и ИП 34 (НПП «Вибробит»)
Диапазон измерений, мм	0,1	0–20	0–20	1,2–4,7	0–4	1,0	0,175	0,20
Основная погрешность, %	0,11	±0,5	±0,5	±5	±4	0,99	0,07	0,09
Частотный диапазон, Гц	0,06	10 000	0–300	0–10 000	500	0,04	0,99	0,07
Температурный диапазон, °С	0,08	минус 253 ... 200	минус 253 ... 200	минус 30 ... 65	минус 40 ... 70	1,0	0,14	0,17
Показатель технического совершенства по точности		1,0	0,78	0,31	0,13	Выше уровня аналогов		
Показатель технического совершенства по надежности и условиям эксплуатации		1,0	1	0,14	0,17	Выше уровня аналогов		
Комплексный показатель технического уровня		1,0	0,83	0,25	0,28	Выше уровня аналогов		

Таблица 2

Состав единичных показателей качества датчиков частоты вращения

Наименование характеристики и единицы измерения	Коэффициенты весомости	«Идеальная» ДПА	Разрабатываемая ДПА	«Bently Nevada Inc.» (Тахометр 3500/50)	«Emerson Process Management» (CSI 6300 SIS)	Относительные показатели, q_i		
						Разрабатываемая ДПА	Аналог «Bently Nevada Inc.», США	Аналог «Emerson Process Management», США
Диапазон измерений, об/мин	0,08	0–130 000	0–130 000	1–99 999	5–65 535	1	0,76	0,1
Основная погрешность, %	0,11	±0,01	±0,5	±0,01	±1	0,01	1	0,006
Температурный диапазон, °С	0,1	минус 253 ...200	минус 253 ...200	минус 30...65	минус 20...65	1	0,14	0,012
Показатель технического совершенства по точности		1,0	0,42	0,89	0,045	Ниже мирового уровня		
Показатель технического совершенства по надежности и условиям эксплуатации		1,0	1	0,14	0,012	Превышает мировые достижения		
Комплексный показатель технического совершенства		1,0	0,62	0,63	0,034	Соответствует мировым достижениям		

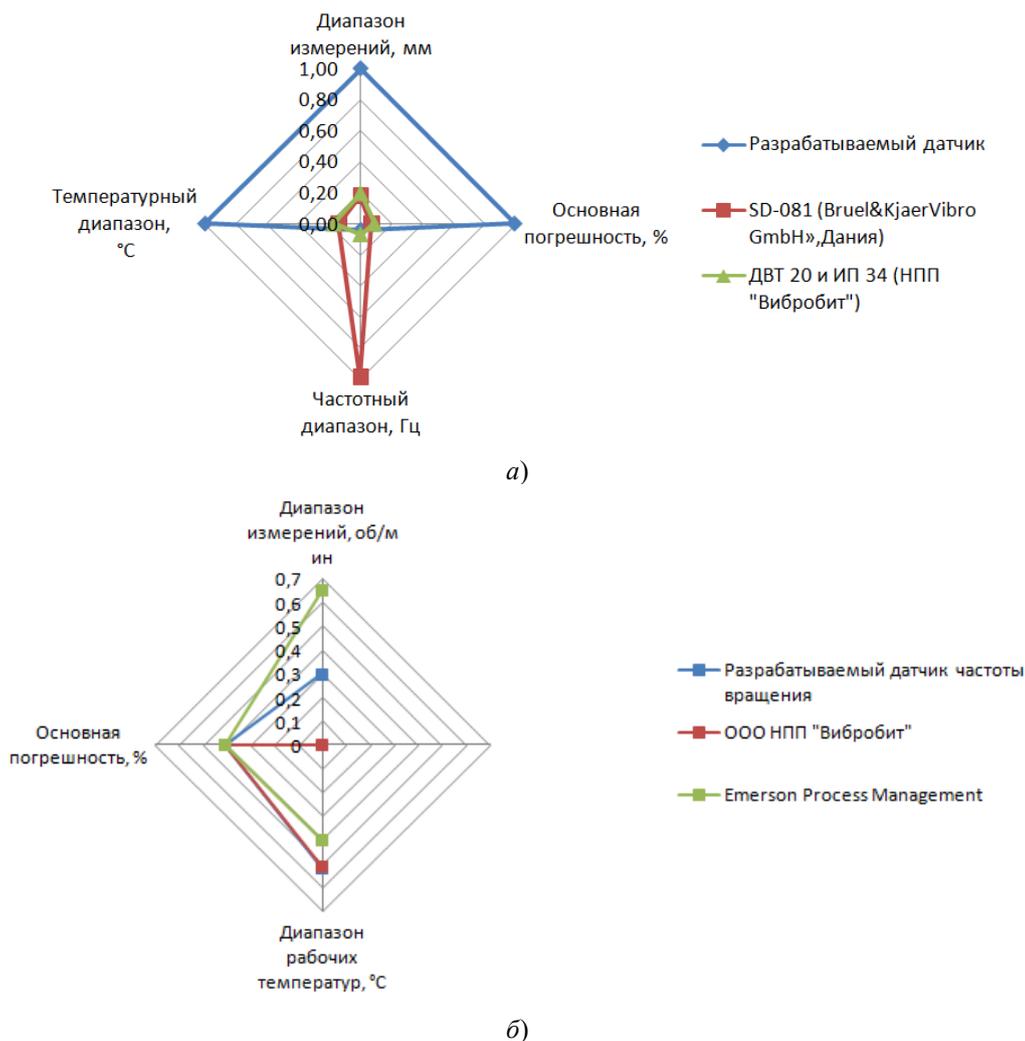


Рис. 1. Циклограмма основных единичных показателей:

а – датчиков линейных перемещений; б – датчиков перемещения и частоты вращения

Сравнительная оценка технического уровня проводилась в сравнении с «идеальными» образцами датчиков линейного перемещения и частоты вращения. Формирование «идеальных» образцов проводилось по всем анализируемым показателям исследуемых датчиков, причем значения важнейших единичных технико-экономических показателей «идеального» образца выбирались с учетом перспективных требований отрасли.

Анализ тенденций развития датчиков перемещения и частоты вращения

Анализ тенденций развития является составной частью исследований по определению перспектив развития рынка производства датчиков. Потенциал рассматриваемого анализа выражается в том, что информация об изобретениях и других объектах промышленной собственности становится доступной раньше (на 3–5 лет) появления на рынке продукции с использованием этих изобретений. Это позволяет предвидеть ситуацию на рынке продукции на основе анализа патентной информации с некоторым упреждением во времени, достаточным для выработки необходимых решений [6].

Поиск патентной информации по датчикам перемещения и частоты вращения проведен за период 2017–2021 гг. полным описанием изобретений национальных патентных ведомств и международных организаций ведущих стран мира, доступных через Интернет по следующим адресам:

ВОИС (Всемирная организация интеллектуальной собственности): <http://www.wipo.org/>;

ЕР (Европейская патентная организация): <http://ep.espacenet.com>;

США: <http://www.uspto.gov>;

Германия: <http://www.deutsches-patentamt.de>;

Франция: <http://www.inp.fr>;

Великобритания: <http://www.patent.dow.uk>;

Россия: <http://www.fips.ru>.

Анализ состояния разработок в области датчиков перемещения и частоты вращения показал, что общий объем патентно-защищенных разработок в данной области в Китае (23 патента) превышает объем разработок в России (6 патента), США (7 патентов), ВОИС (3 патента), Канаде (1 патент), Корее (1 патент), ЕВП (1 патент) (рис. 2).

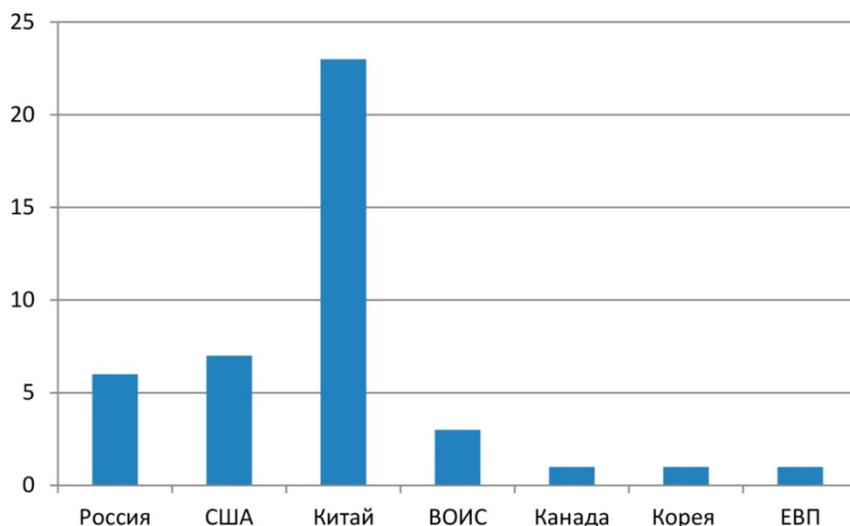


Рис. 2. Распределение охранных документов по ведущим странам

Одним из наиболее распространенных методов систематизации сведений об изобретениях, широко используемых в настоящее время для определения изобретательской активности, является метод распределения изобретений по годам приоритета или выдачи охранных документов.

В табл. 3 и на рис. 3 представлено распределение количества заявок на изобретения по годам и рост количества заявок.

Таблица 3

Распределение суммарного количества заявок по годам

Объект техники и его составная часть	Количество патентов, опубликованных заявок по годам подачи заявки (исключая патенты-аналоги)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Количество заявок по годам	4	13	4	10	11
Рост количества заявок	4	17	21	31	42

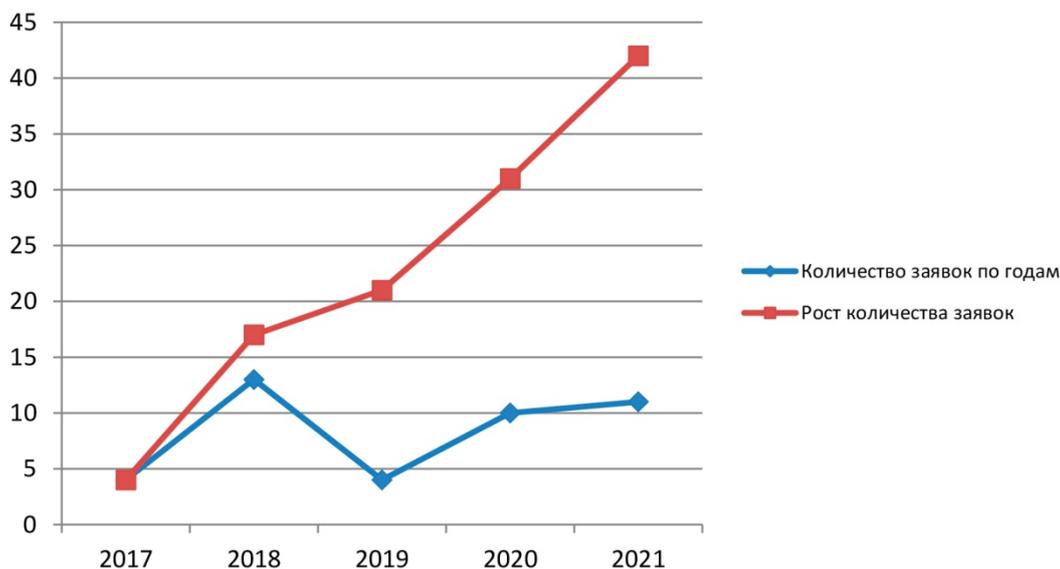


Рис. 3. Динамика патентования и рост суммарного количества заявок

Для определения тенденций развития были проанализированы описания изобретений и патенты, найденные в процессе поиска. Были установлены задачи изобретений и технический результат, которые отображают технико-экономические показатели, улучшение которых может быть важным для развития конкретного объекта техники. Чтобы оценить, какая из тенденций развития наиболее значима для датчиков перемещения и частоты вращения, определяются коэффициенты весомости.

В результате анализа описаний патентов выявлены основные технико-экономические показатели датчиков перемещения и частоты вращения, которые представлены в табл. 4.

Таблица 4

Перечень патентов, направленных на решение определенных задач

Наименование технико-экономических показателей	Количество охранных документов (коэффициенты весомости)
1	2
Улучшение метрологических характеристик (точности, чувствительности, стабильности измерений) RU 2 624 844 C2, RU 2 606 936 C1, WO 2021261731 (A1), EP3620242 (A1), US 2022029505 (A1), CN109073670 (A), CN109099060 (A), CN208283519 (U), CN108957033, US10118250, US2018210004, US2018095102, US2019086236, CN111780656, US2019086236, CN111780656, CN211014344, RU2715769C1, RU2654363C2, RU 2713964, US2018151059, CN112963245, CN212274856, WO2020073604, CN210954086, CN110887512, CN110988379, CN214011274, CN213986523, CN113189361	30 (0,41)
Расширение функциональных возможностей RU 2 606 936 C1, CA3120171 (A1), CN208283519 (U), CN106770631 (A)	4 (0,05)

Окончание табл. 4

1	2
Улучшение конструкции EP3620242 (A1), CA3120171 (A1), US2018210004, CN108225257, CN110631495, CN208705350, CN207067163, CN207133308, CN208224296, CN209400559, CN113189361, CN213167908, RU2713964, US2018151059, CN213986523, CN113189361	16 (0,22)
Повышение надежности RU 172 091 U1, US2022029505 (A1), KR20210156155 (A), CA3120171 (A1), WO2021238451 (A1), CN208283519 (U), US2018095102, CN108225257, CN110631495, CN208705350, US2019086236, CN111780656, CN207133308, CN208224296, CN209400559, RU2715769C1, RU2654363C2, US2021356489, CN112963245, CN212274856, WO2020073604, CN213986523, CN113189361	23 (0,32)
ВСЕГО	73

Примечание: итоговое количество охранных документов превышает количество найденных релевантных документов в связи с тем, что некоторые изобретения направлены на решение сразу нескольких задач.

По приведенным в табл. 4 данным можно сделать вывод, что основными направлениями совершенствования датчиков перемещения и частоты вращения являются:

- улучшение метрологических характеристик (точности, чувствительности, стабильности измерений);
- повышение надежности;
- улучшение конструкции.

Заключение

В результате проведенного комплексного анализа установлено, что разрабатываемые датчики линейных перемещений и частоты вращения превосходят аналоги и приближаются к мировому уровню по диапазону измерений, частотному диапазону измерений, основной погрешности и температурному диапазону.

Анализ информации, представленной в табл. 1–4 позволяет сделать вывод о том, что разрабатываемые датчики по функциональным возможностям и техническому совершенству не уступают зарубежным и отечественным аналогам. Следует также отметить, что технический уровень разработок к моменту организации массового производства будет соответствовать техническому уровню лучших образцов продукции фирм-конкурентов.

Список литературы

1. Трофимов А. Н., Трофимов А. А. Взаимоиндуктивные датчики перемещений : монография. Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. 174 с.
2. Трофимов А. Н., Трофимов А. А. Расширение температурного диапазона растровых трансформаторных датчиков перемещений // Измерительная техника. 2009. № 6. С. 24–27.
3. Трофимов А. А., Конаков Н. Д. Трансформаторные датчики перемещений с расширенным диапазоном измерений // Датчики и системы. 2005. № 9. С. 8–10.
4. Гаврилов В. А., Трофимов А. А. Система измерений линейных перемещений // Датчики и системы. 2005. № 9. С. 44–46.
5. Дмитриенко А. Г., Трофимов А. А., Нефедьев Д. И. Датчики частоты вращения : учеб. пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. 80 с.
6. Скорнякова Э. П., Омарова Т. Б., Чельшева О. В. Методические рекомендации по проведению патентных исследований. М. : ВНИИПИ, 1997. 171 с.

References

1. Trofimov A.N., Trofimov A.A. *Vzaimoinduktivnye datchiki peremeshcheniy: monografiya = Mutually inductive displacement sensors : monograph*. Penza: Izd-vo PGU, 2009:174. (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. Trofimov A.A., Konakov N.D. Transformer displacement sensors with extended measurement range. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems*. 2005;(9):8–10. (In Russ.)
4. Gavrilov V.A., Trofimov A.A. System of linear displacement measurements. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems*. 2005;(9):44–46. (In Russ.)
5. Dmitrienko A.G., Trofimov A.A., Nefed'ev D.I. *Datchiki chastoty vrashcheniya: ucheb. posobie = Speed sensors : textbook*. Penza: Izd-vo PGU, 2015:80. (In Russ.)
6. Skornyakova E.P., Omarova T.B., Chelysheva O.V. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu patentnykh issledovaniy = Methodological recommendations for conducting patent research*. Moscow: VNIPI. 1997:171. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Владимирович Гладков

главный специалист,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: alexey.gladkov.1@yandex.ru

Aleksey V. Gladkov

Chief specialist,
Scientific Research Institute
of Physical Measurements
(8/10 Volodarsky street, Penza, Russia)

Кирилл Игоревич Бастрыгин

главный специалист,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: sensor@niifi.ru

Kirill I. Bastrygin

Chief specialist,
Scientific Research Institute
of Physical Measurements
(8/10 Volodarsky street, Penza, Russia)

Владислав Николаевич Пономарев

инженер-конструктор,
Научно-исследовательский
институт физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: revik2296@gmail.com

Vladislav N. Ponomarev

Design engineer,
Scientific Research Institute
of Physical Measurements
(8/10 Volodarsky street, Penza, Russia)

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: alex.t1978@mail.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)

Сергей Александрович Здобнов

главный инженер,
Научно-исследовательский
институт физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: sa_zdobnov@mail.ru

Sergey A. Zbodnov

Chief engineer,
Scientific Research Institute
of Physical Measurements
(8/10 Volodarsky street, Penza, Russia)

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

Поступила в редакцию/Received 20.05.2022

Поступила после рецензирования/Revised 22.06.2022

Принята к публикации/Accepted 25.07.2022