

УДК 621.311.019.3  
doi:10.21685/2307-5538-2022-4-5

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В. А. Листюхин<sup>1</sup>, Е. А. Печерская<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
<sup>1</sup>vladyan4iklist@yandex.ru, <sup>2</sup>pea1@list.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* В результате анализа научных исследований и статистических данных показано, что актуальной задачей электросетевого комплекса РФ является повышение надежности распределительных электрических сетей и качества услуг, оказываемых потребителям. Настоящие задачи реализуются путем разработки и внедрения информационно-измерительных систем. *Материалы и методы.* Представлены результаты разработки информационно-измерительной системы для исследования оперативных режимов работы воздушных линий электропередачи. *Результаты.* Разработаны макет воздушной линии электропередачи и информационно-измерительная система для исследования оперативных режимов работы воздушных линий электропередачи. Проведена проверка работоспособности информационно-измерительной системы в трех оперативных режимах и при различных значениях температуры окружающего воздуха. *Выводы.* Доказаны актуальность и необходимость контроля параметров воздушных линий электропередачи посредством информационно-измерительных систем. Внедрение в промышленную эксплуатацию данной системы позволит электросетевым организациям решить ряд производственных задач по обеспечению надежного электроснабжения потребителей.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, информационно-измерительная система, электроэнергетические системы и сети, надежность

**Для цитирования:** Листюхин В. А., Печерская Е. А. Разработка информационно-измерительной системы для исследования оперативных режимов работы воздушных линий электропередач // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 4. С. 37–42. doi:10.21685/2307-5538-2022-4-5

## DEVELOPMENT OF INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR INVESTIGATION OF OPERATING MODES OF OVERHEAD POWER LINES

V.A. Listyukhin<sup>1</sup>, E.A. Pecherskaya<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Penza State University, Penza, Russia  
<sup>1</sup>vladyan4iklist@yandex.ru, <sup>2</sup>pea1@list.ru

**Abstract.** *Background.* As a result of the analysis of scientific research and statistical data, it is shown that the actual task of the power grid complex of the Russian Federation is to increase the reliability of distribution electrical networks and the quality of services provided to consumers. These tasks are realized through the development and implementation of information-measuring systems. *Materials and methods.* The results of the development of an information-measuring system for the study of operational modes of operation of overhead power lines are presented. *Results.* A stand-model of an overhead power line and an information-measuring system for studying the operational modes of operation of overhead power lines have been developed. The operability of the information-measuring system was tested in three operational modes and at various ambient temperatures. *Conclusions.* The relevance and necessity of monitoring the parameters of overhead power lines by means of information-measuring systems is proved. The introduction of this system into commercial operation will allow power grid organizations to solve a number of production tasks to ensure reliable power supply to consumers.

**Keywords:** overhead power lines, information-measuring system, electric power systems and networks, reliability

**For citation:** Listyukhin V.A., Pecherskaya E.A. Development of information-measuring system for investigation of operating modes of overhead power lines. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2022;(4):37–42. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-4-5

### *Введение*

Современные темпы развития науки и технологий позволяют сформировать условия для устойчивого функционирования электрических сетей. Сетевые компании внедряют на свои объекты современные виды оборудования, элементы, устройства, которые обладают высокими технико-экономическими показателями. Также сегодня в ряде регионов РФ наблюдается тенденция к увеличению объемов потребления электроэнергии [1, 2]. Рост потребляемой электроэнергии обусловлен развитием производственной и социальной инфраструктуры. Так, например, в ряде районов Пензенской области ведется активное строительство предприятий сельскохозяйственного сектора. Развитие инфраструктуры региона требует не только развития систем электроснабжения, но и обеспечения их надежности. Основная часть эксплуатируемого оборудования распределительных электрических сетей имеет высокий уровень износа [3–4], чем в свою очередь снижается гарантия надежного электроснабжения потребителей со стороны сетевых организаций. Из анализа причин технологических нарушений (аварий), представленного в работе [5], видно, что основными причинами аварий в электрических сетях (в основном на воздушных линиях электропередачи (ВЛ)) являются:

- несвоевременное выявление дефектов (44 % от общего числа аварий);
- неудовлетворительное техническое состояние оборудования (23 % от общего числа аварий);
- воздействие неблагоприятных природных явлений (31 % от общего числа аварий).

Технологические нарушения (аварии) на ВЛ сопровождаются снижением показателей качества оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии, что в свою очередь негативно отражается на прибыли и имидже сетевой организации.

### *Разработка информационно-измерительной системы для исследования оперативных режимов работы ВЛ*

Для решения задачи обеспечения надежного электроснабжения потребителей, достижения высоких технико-экономических показателей качества оказываемых услуг электросетевыми организациями авторами предлагается разработка информационно-измерительной системы контроля параметров воздушных линий электропередачи [6].

Авторами разработан стенд-макет воздушной линии электропередачи 0,4 кВ с целью экспериментального исследования и систематизации причинно-следственных факторов режимов работы ВЛ. На рис. 1 представлен общий вид стенда для исследования оперативных режимов работы ВЛ.



Рис. 1. Общий вид стенда-макета для исследования оперативных режимов работы ВЛ

В ходе выполнения работы была разработана информационно-измерительная система для исследования оперативных режимов работы ВЛ (ИИС). Структурная схема испытательной ИИС представлена на рис. 2.

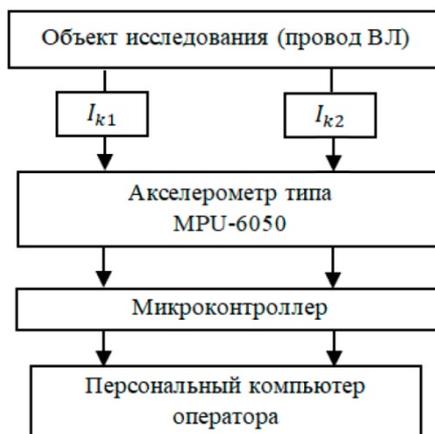


Рис. 2. Структурная схема ИИС:  $I_{k1}$  – канал измерения положения провода в пространстве относительно осей  $X, Y, Z$ ;  $I_{k2}$  – канал измерения температуры окружающего воздуха, °С

Принцип работы ИИС заключается в следующем: на провод ВЛ фиксируется 3-осевой акселерометр типа MPU-6050 (метрологические характеристики представлены в табл. 1), который контролирует положение провода в пространстве относительно осей  $X, Y, Z$  и температуру окружающего воздуха в °С (соответственно, температуру окружающего воздуха в зоне прохождения трасы ВЛ). Данные с акселерометра передаются в микроконтроллер, в последующем результаты измерений через USB-порт выводятся на экран персонального компьютера оператора. В ходе выполнения работы была реализована программа для отображения результатов работы ИИС. В дальнейшем планируется реализовать данную программу как автоматизированное рабочее место (АРМ) оперативного персонала электроэнергетической компании. Общий вид рабочего окна программы представлен на рис. 3.

Таблица 1

Метрологические характеристики акселерометра типа MPU-6050

Наименование характеристики	Диапазон	Единица измерения
Напряжение питания	3,7 – 5,5	В
Потребляемый ток	≤10	мА
Максимальная частота интерфейса I2C	400	кГц
Диапазон гироскопа	±250 – ±2000	Град./с
Диапазон акселерометра	±2, ±4, ±8 и ±16	g
Вывод данных	16	бит
Резонансная частота	27	кГц
Расстояние между контактами	2,54	мм
Размер	20 × 16	мм

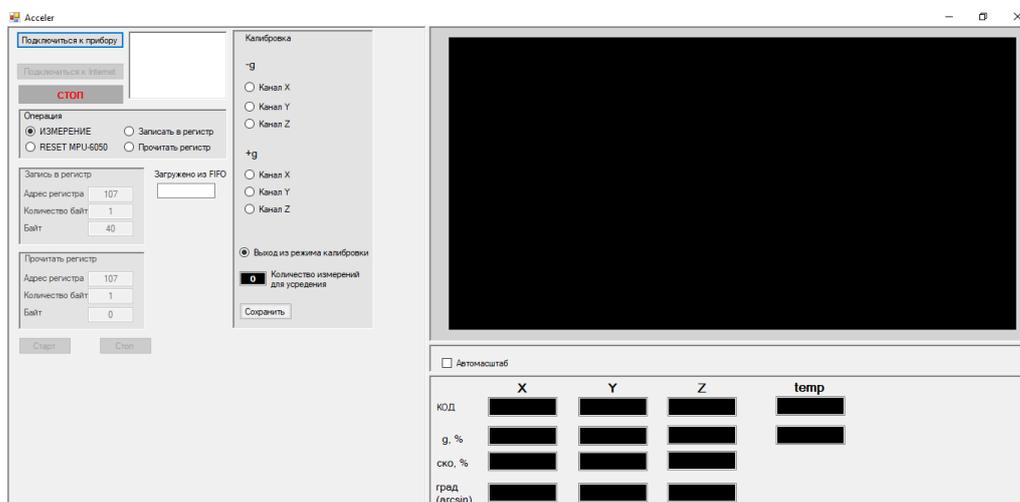


Рис. 3. Общий вид рабочего окна программы

### Проверка работоспособности информационно-измерительной системы

Положение провода ВЛ может находиться в следующих оперативных режимах:

- нормальный режим работы (угол наклона провода находится в пределах согласно требованиям действующих нормативно-технических документов);
- предаварийный режим работы (угол наклона провода превышает допустимые значения, но не приводит к падению на землю и не представляет угрозы для жизни и здоровья людей и животных);
- аварийный режим работы (угол наклона провода критически превышает допустимые значения, что свидетельствует о наличии угрозы жизни и здоровью людей и животных либо зафиксировано отключение ВЛ действием устройств релейной защиты и автоматики).

Проводилась проверка работоспособности ИИС в вышеуказанных оперативных режимах. На рис. 4 представлены результаты работы ИИС в нормальном режиме работы ВЛ.

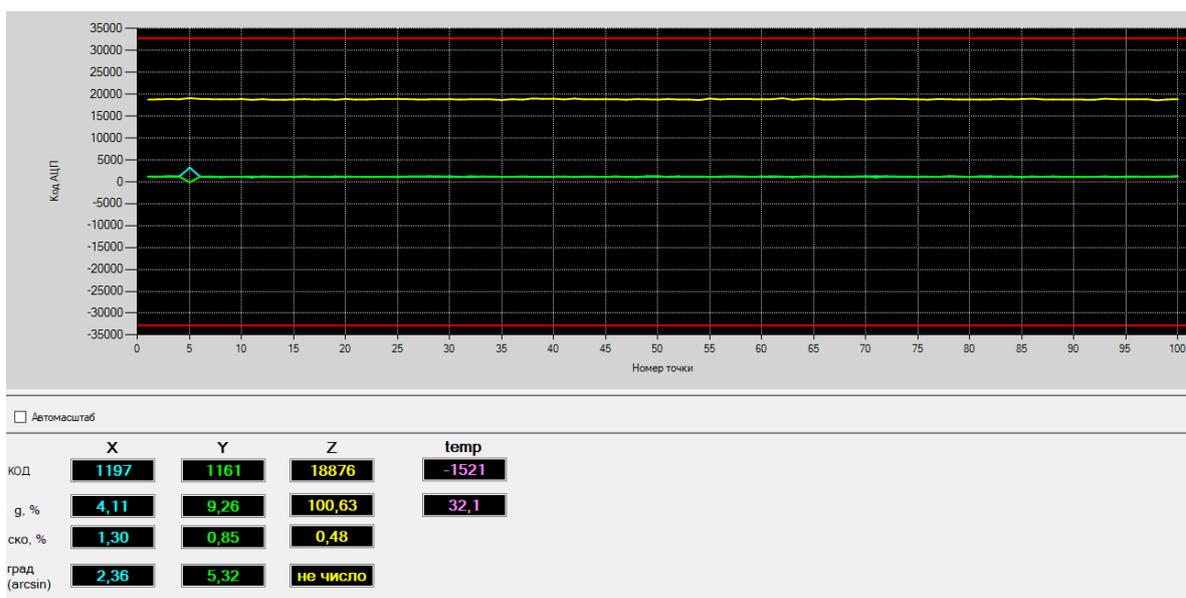


Рис. 4. Результаты работы ИИС в нормальном режиме работы ВЛ

На рис. 5 представлены результаты работы ИИС в предаварийном режиме работы ВЛ.

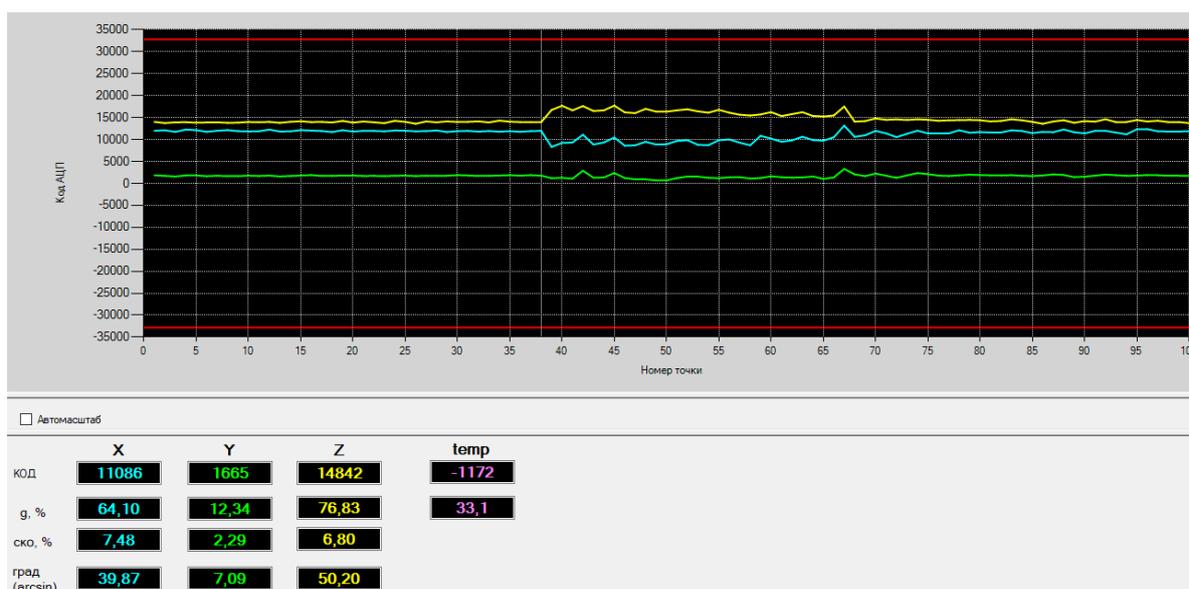


Рис. 5. Результаты работы ИИС в предаварийном режиме работы ВЛ

На рис. 6 представлены результаты работы ИИС в аварийном режиме работы ВЛ.

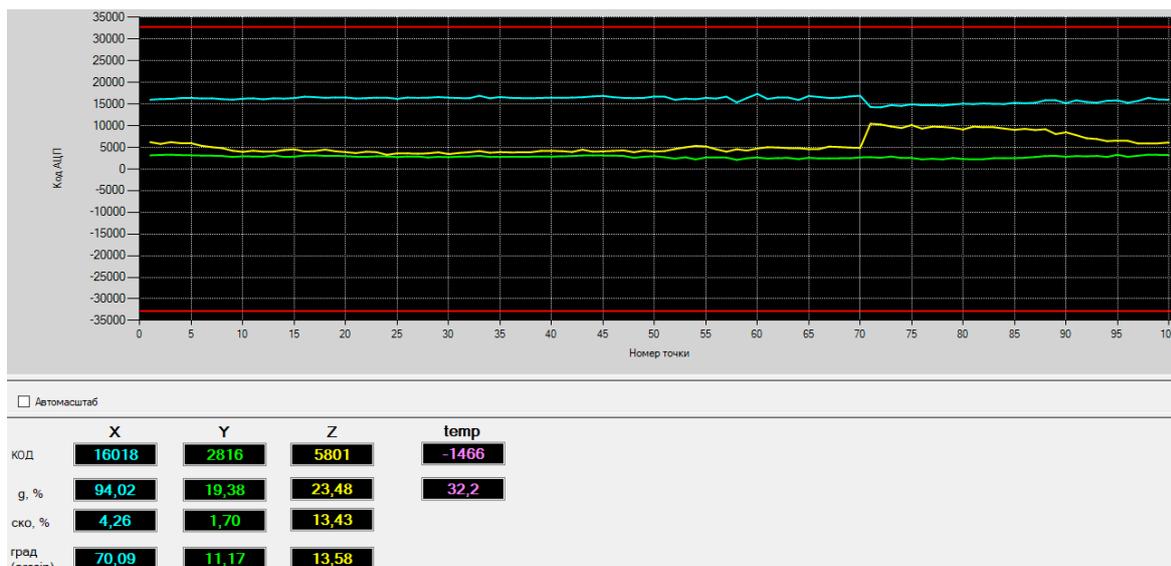


Рис. 6. Результаты работы ИИС в аварийном режиме работы ВЛ

Осуществлена проверка работоспособности ИИС при различных значениях температуры окружающего воздуха (от  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Результаты проверки работоспособности ИИС при различных значениях температуры окружающего воздуха представлены на рис. 7.

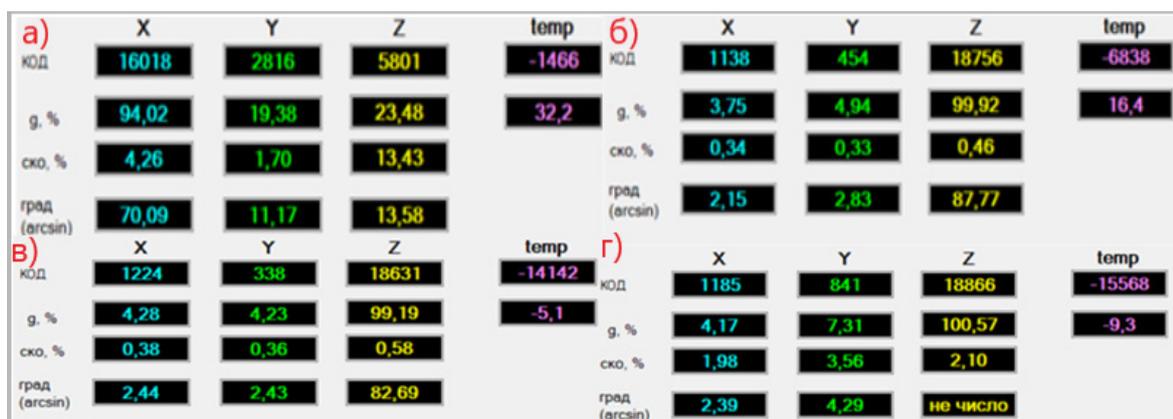


Рис. 7. Результаты проверки работоспособности ИИС при различных значениях температуры окружающего воздуха: а – показания при температуре  $+32,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б – показания при температуре  $+16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в – показания при температуре  $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; г – показания при температуре  $-9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

### Заключение

Снижение числа аварий на воздушных линиях электропередачи распределительных электрических сетей является приоритетной задачей электроэнергетики, которая в свою очередь может быть решена путем внедрения информационно-измерительных систем мониторинга и контроля их эксплуатационных параметров. Систематизация результатов исследования оперативных режимов работы ВЛ позволит разработать базу данных для ИИС, реализация которой поможет электросетевым организациям решить ряд производственных задач, а именно:

- повышение эффективности эксплуатации оборудования за счет дополнения системы планово-предупредительных ремонтов системами online мониторинга;
- снижение риска травматизма производственного персонала при обслуживании ВЛ за счет локализации зоны определения места повреждения.
- сокращение времени поиска места повреждения;
- сокращение времени проведения аварийно-восстановительных работ при ликвидации аварий и ненормальных режимов.

## Список литературы

1. Khlebtsov A. P., Zaynutdinova L. K., Shilin A. N. Research into the current state of accident rate of electric networks in agriculture using the example of Astrakhan region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723, № 5. P. 052015.
2. Игнатенко И. В., Власенко С. А., Тряпкин Е. Ю., Пухова А. И. Автоматизация измерений параметров режима работы проводов линий электропередачи при исследовании процесса нагрева // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 2. С. 53–60. doi:10.21685/2307-5538-2022-2-7.
3. Новиков А. А., Эльбакян А. М. Повышение инвестиционной привлекательности электроэнергетической отрасли Российской Федерации // Экономические науки. 2016. № 143. С. 29–34.
4. Абдулминов М., Емельянова В. А. ЧС в электроэнергетических системах // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : сб. науч. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Ставрополь, 2021. С. 187–190.
5. Listyuhin V. A., Pecherskaya E. A., Timokhina O. A., Smogunov V. V. System for monitoring the parameters of overhead power lines // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2086.
6. Листюхин В. А., Печерская Е. А. Система контроля параметров воздушных линий электропередачи в режиме реального времени // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 90–95.

## References

1. Khlebtsov A.P., Zaynutdinova L.K., Shilin A.N. Research into the current state of accident rate of electric networks in agriculture using the example of Astrakhan region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;723(5):052015.
2. Ignatenko I.V., Vlasenko S.A., Tryapkin E.Yu., Pukhova A.I. Automation of measurements of operating mode parameters of power transmission line wires in the study of the heating process. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control*. 2022;(2):53–60. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-2-7.
3. Novikov A.A., El'bakyan A.M. Increasing the investment attractiveness of the electric power industry of the Russian Federation. *Ekonomicheskie nauki = Economic sciences*. 2016;143:29–34. (In Russ.)
4. Abdulminov M., Emel'yanova V.A. Emergencies in electric power systems. *Aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti v tekhnosfere i zashchity naseleniya i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh : sb. nauch. tr. po materialam Vseros. nauch.-prakt. konf. = Actual problems of safety in the technosphere and protection of the population and territories in emergency situations: collection of scientific tr. based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Stavropol', 2021:187–190. (In Russ.)
5. Listyuhin V.A., Pecherskaya E.A., Timokhina O.A., Smogunov V.V. System for monitoring the parameters of overhead power lines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2086.
6. Listyukhin V.A., Pecherskaya E.A. Real-time monitoring system of parameters of overhead power transmission lines. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):90–95. (In Russ.)

## Информация об авторах / Information about the authors

**Владислав Александрович Листюхин**  
аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: vladyan4iklist@yandex.ru

**Vladislav A. Listyukhin**  
Postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Екатерина Анатольевна Печерская**  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой информационно-  
измерительной техники и метрологии,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: peal@list.ru

**Ekaterina A. Pecherskaya**  
Doctor of technical sciences, associate professor,  
head of the sub-department of information  
and measuring equipment and metrology,  
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 25.03.2022**

**Поступила после рецензирования/Revised 26.04.2022**

**Принята к публикации/Accepted 23.05.2022**