

Научная статья

УДК 629.73.054:621.396(075.8)

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-71-78

## Создание программного инструмента с элементами искусственной нейронной сети для прогнозирования данных

Владимир Николаевич Пичугин<sup>1</sup>

Антон Александрович Солдатов<sup>2</sup>

Евгения Романовна Тюрюшова<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова  
Чебоксары, Россия

<sup>1</sup>vladimir\_iii@mail.ru

<sup>2</sup>aa.soldatov@bk.ru

<sup>3</sup>evgenia.kleopatra@yandex.ru

### Аннотация

В настоящее время в России идет движение в сторону автоматизации сбора информации с приборов учета расхода тепла, газа, воды, электричества и т. п. Ведутся разработки технологий, позволяющие передавать данные расхода ресурсов по различным каналам связи как проводным, так и эфирным. Уже существуют приборы и устройства, позволяющие по существующим проводным сетям связи передавать показания приборов учета расхода электричества, и данный вопрос решается на законодательном уровне, принят Федеральный закон № 522-ФЗ от 01.07.2020. Основанием для исследований является экономия времени и усилий по получению необходимой информации для учета показаний электроэнергии с подстанций, повышение скорости принятия решений, получение возможности прогнозировать ситуацию с большими данными для выявления аномальных значений и их устранения (например, идентифицированные данные с электросчетчиков позволяют сократить временные трудозатраты операторов учета и экономические потери предприятия энергосбыта). В статье предложены программные методы выявления данных о потерях электроэнергии, основанные на использовании алгоритмов искусственных нейронных сетей и позволяющие обнаружить места несоответствий коммерческих данных показаний электросчетчиков, что позволит уменьшить коммерческую составляющую потерь электроэнергии. Выполнен проверочный расчет искусственной нейронной сети на предмет несоответствий данных о передаваемой электроэнергии.

### Ключевые слова

признак обеспечения корректности учета электроэнергии, искусственные нейронные сети, мгновенное состояние прибора учета электроэнергии

### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства», договор № 303ГССС15-Л/78984.

### Для цитирования

Пичугин В. Н., Солдатов А. А., Тюрюшова Е. Р. Создание программного инструмента с элементами искусственной нейронной сети для прогнозирования данных // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 71–78. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-71-78

© Пичугин В. Н., Солдатов А. А., Тюрюшова Е. Р., 2023

## Creation of a Software Tool with Elements of an Artificial Neural Network for Data Forecasting

Vladimir N. Pichugin<sup>1</sup>, Anton A. Soldatov<sup>2</sup>,  
Eugeniya R. Tyuryushova<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Chuvash State University named I. N. Ulyanov

<sup>1</sup>vladimir\_iii@mail.ru

<sup>2</sup>aa.soldatov@bk.ru

<sup>3</sup>evgenia.kleopatra@yandex.ru

### Abstract

Currently, Russia is moving towards automating the collection of information from metering devices for heat, gas, water, electricity, etc. Technologies are being developed that allow transmitting data on resource consumption through various communication channels, both wired and on-air. There are already devices and devices that allow transmitting readings of electricity metering devices over existing wired communication networks, and this issue is being resolved at the legislative level, federal Law No. 522-FZ of 01.07.2020 has been adopted. The basis for the research is to save time and effort to obtain the necessary information to take into account the readings of electricity from substations, increase the speed of decision-making, to be able to predict the situation with big data to identify abnormal values and eliminate them (for example, identified data from electricity meters will reduce the time labor costs of accounting operators and economic losses of the energy supply company). The article proposes software methods for detecting data on electricity losses based on the use of artificial neural network algorithms and allowing to detect inconsistencies of commercial data readings of electric meters, which will reduce the commercial component of electricity losses. A verification calculation of an artificial neural network was performed for inconsistencies in the data on the transmitted electricity.

### Key words

a sign of ensuring the correctness of electricity metering, artificial neural networks, instantaneous state of the electricity metering device

### Funding

The work was carried out with financial support from the Innovation Promotion Fund within the framework of the federal project "University Technological Entrepreneurship Platform", contract No. 303ГССС15-Л/78984.

### For citation

Pichugin V. N., Soldatov A. A., Tyuryushova A. R. Creation of a software tool with elements of an artificial neural network for data forecasting. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 71–78. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-71-78

## Введение

Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о количестве производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии на оптовом рынке ЕЭС России и розничном рынке электропотребления [1–3].

Целью исследования является изучение конструкции радиоприемного цифрового модуля для обнаружения, идентификации и удаленной передачи данных на базе фрактальных антенн, а также реализация программного инструмента для обработки и предсказания данных, полученных с помощью данного модуля.

Объектом исследования являются крупные юридические лица (предприятия, сектор рынка В2В) в электроэнергетике, включающие в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии, крупного и среднего бизнеса, расположенные на территории Российской Федерации.

Предметом исследования является процесс сбора удаленных данных учета электроэнергии, например, цифровых подстанций предприятий и сетевых компаний, занимающегося передачей электроэнергии: для этого на удаленной подстанции размещается цифровой модуль, который позволяет сканировать показания счетчика электроэнергии.

## Методы исследования

Для определения объемов электроэнергии со смешанной группой учета, в простом понимании слова, составления баланса электроэнергии по уровню и определения расхождений в данных сетевой и сбытовой энергокомпаний планируется использовать программное решение, автоматизирующее процесс определения расхода электроэнергии по потребителям и составлению балансов электроэнергии с учетом прогноза и предсказания данных [4]. Таким образом, необходимо создавать отдельную программу – дополнение к имеющейся корпоративной системе учета электроэнергии «Омнис», способную произвести аккумулирование (сложение) потребления электроэнергии. В качестве ограниченной области выберем отдельную службу предприятия, в нашем случае это служба реализации услуг по передаче электроэнергии Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго» [5; 6]. В дальнейшем, если разработка понравится руководству предприятия электросетей, можно инициировать продолжение развития программного средства определения расхода электроэнергии и определения расхождений коммерческих данных о потреблении электроэнергии, но уже в составе некой общей корпоративной информационной системы. Стоит отметить некоторые более ранние публикации, в которых рассматривалось применение искусственных нейронных сетей для обнаружения «плохих данных» в измерениях [5].

## Описание программного инструмента и результаты его работы

На первом этапе производится выбор архитектуры нейронной сети (рис. 1). На данном этапе в качестве обучающей выборки использованы большие данные двух статистик, первые данные – с действующего оборудования комплекса учета энергопотребления Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго», вторая – в рамках лабораторного эксперимента, проводимого на площадке факультета энергетики и электротехники в ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова».

На втором этапе, который представляет собой подбор весовых коэффициентов, осуществляется обучение нейронной сети, чтобы выявить аномальные значения показаний приборов энергопотребления с малой погрешностью появления.

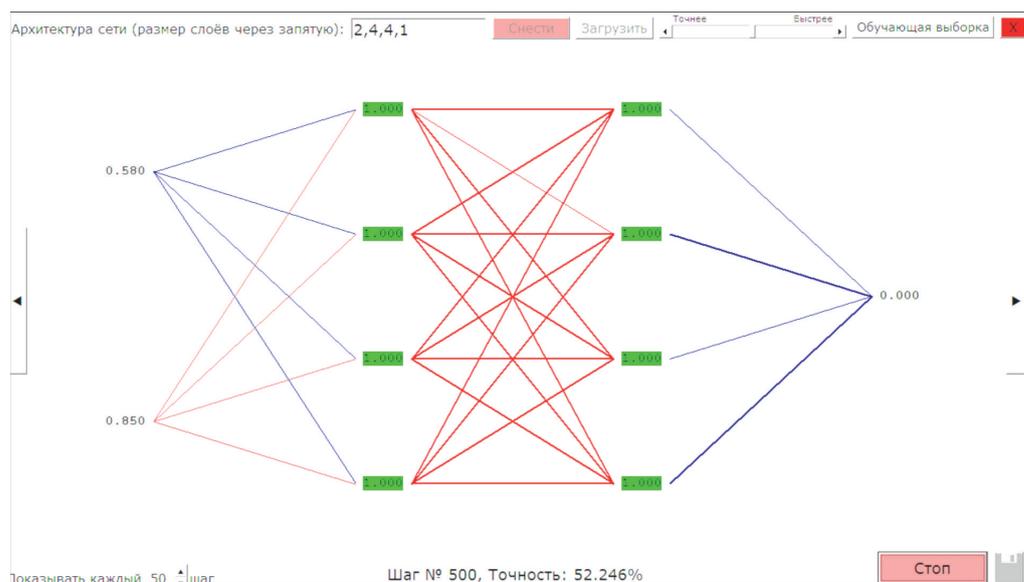


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

Fig. 1. Neural network architecture

Оконечное устройство, например электросчетчик, формирует показания в виде текстового файла (рис. 2). В первой строке дата снятия показаний электросчетчика (22.06.2023), сами показания (34476) и заводской номер электросчетчика (SerN 57347123). Во второй строке данные на 23.06.2023. В третьей строке название организации для примера указано ООО Vector.

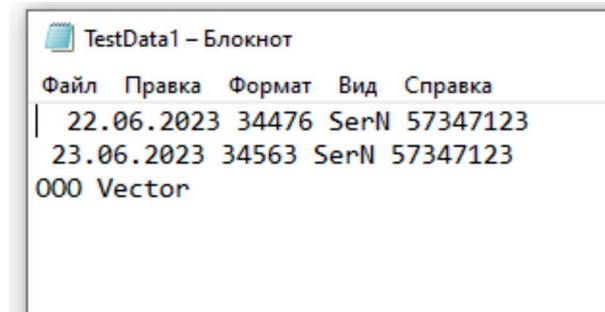


Рис. 2. Тестовый файл с показаниями электросчетчика  
Fig. 2. Text file with electric meter readings

На рис. 3 представлена работа программного инструмента CR\_Energy, предназначенного для сбора и прогнозирования показаний счетчика электроэнергии. Сформированный оконечным устройством текстовый файл с помощью модуля автоматического считывания показаний счетчика передает этот текстовый файл в центр сбора данных. В левой части рисунка изображен интерфейс программного инструмента CR\_Energy на передающей стороне, в правой части – интерфейс программного инструмента CR\_Energy на приемной стороне. На рис. 4 представлена диаграмма рассеяния режимов работы приборов учета электропотребления, где в круге выделены аномальные показания счетчиков электроэнергии (например, неисправность оборудования, выход из строя трансформатора или обрыв линии; либо человеческий фактор, такие как невнимательность оператора или хищение абонентами).

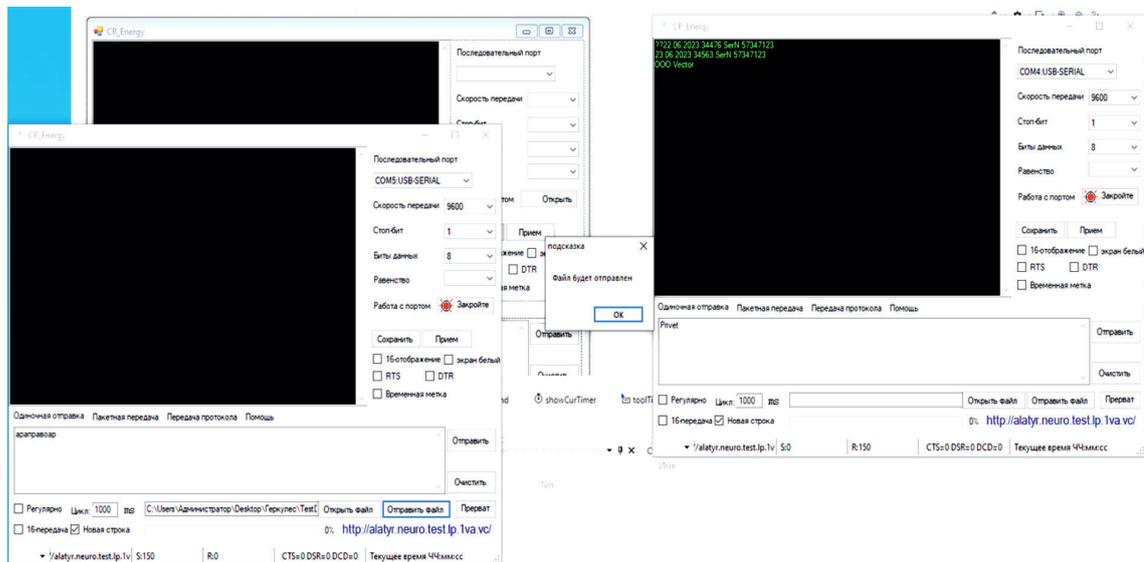


Рис. 3. Внешний вид работы программного инструмента (язык C# среда Visual Studio)  
Fig. 3. The appearance of the software tool (C# language, Visual Studio environment)

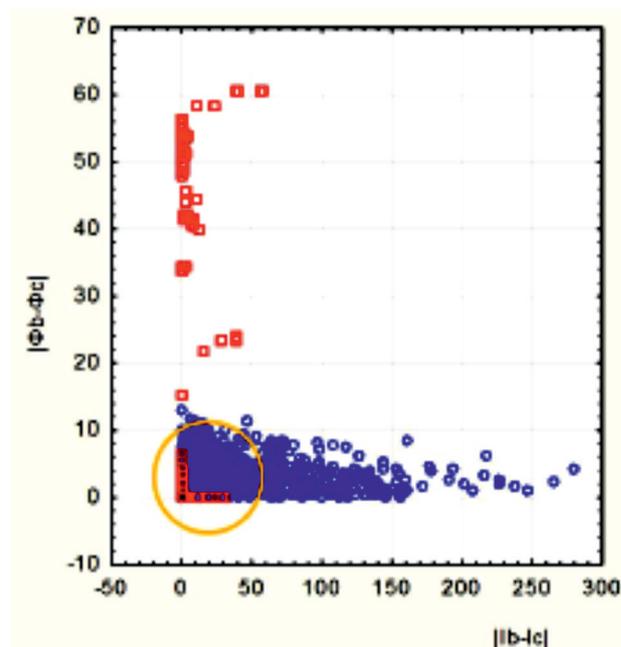


Рис. 4. Диаграмма рассеяния режимов работы приборов учета энергопотребления  
Fig. 4. The scattering diagram of the operating modes of energy metering devices

### Анализ результатов работы программного инструмента

Разработанный программный инструмент CR\_Energy применяется для цифрового модуля передачи показаний приборов энергопотребления, схема которого согласована с производителем автоматизированной информационно-измерительной системы дистанционного сбора и передачи удаленных данных (ОАО «Электроавтомат», г. Алатырь).

Для этого спроектирована автоматизированная информационно-измерительная система дистанционного сбора и передачи удаленных данных (АИИС ДСПД). Система предназначена для дистанционного сбора, обработки, хранения и передачи информации о потреблении и балансе энергоресурсов. Основной отличительной особенностью системы является использование для передачи данных нелицензируемых диапазонов частот 433 МГц, 868 МГц, 2400 МГц, а также других каналов связи. Развертывание системы сводится к установке индивидуальных, общедомовых и балансовых приборов учета, аппаратуры каналов связи, построение сети и организация диспетчерских пунктов.

Состав оборудования системы: приборы учета (счетчики) – любые приборы учета с импульсным выходом; приемно-передающий цифровой модуль (ППЦМ) – устройство сбора, регистрации и передачи данных по радиоканалам; ретранслятор – устройство приема и передачи данных, работающий в режиме ретрансляции; мастер считывания данных – устройство сбора и передачи данных по радиоканалам; стационарный или мобильный компьютер; разработанное программное обеспечение CR\_Energy; коммутационные устройства.

Основные возможности системы: дистанционная передача данных; расчеты на основе фактических данных о потребленных энергоресурсах; возможность выявления хищений; возможность дистанционного ограничения или отключения (ст. 157 ЖК РФ, постановление правительства № 354 от 06.05.11); дистанционная настройка параметров; возможность передачи данных на значительное расстояние с использованием режима ретрансляции; преобразование полученных данных в различные форматы, возможность работы в любых стандартных

программах; сохранение полученных данных в течение 30 лет; двухуровневая защита информации – аппаратная и программная; мобильный съем показаний при помощи мастера сбора данных и ноутбука; максимальное количество точек учета – 65534 или 216 (определяется разрядностью контроллера).

В рамках заключительного пункта проведения исследований сотрудниками предприятия – изготовителя счетчиков электрической энергии (АО «Электроавтомат», г. Алатырь) совместно с авторами разработан испытательный стенд по тестированию вновь созданной цифровой технологии удаленного сканирования и предсказания показаний счетчиков электрической энергии для отечественных производителей (рис. 5). Заключен договор 1623-22/08-23 от 24.07.2023 аренды разработанного оборудования и осуществлено приобретение счетчиков электрической энергии (ЭЛТА-1, ЭЛТА-3) для проведения тестирования цифрового модуля и программного инструмента к нему при передаче данных по радиоканалу.

Осуществлено тестирование разработанной автоматизированной информационно-измерительной системы дистанционного сбора и передачи удаленных данных (АИИС ДСПД) на предприятии – изготовителе умных счетчиков электрической энергии с радиоканалом. Выявлены основные достоинства системы (АИИС ДСПД): возможность интеграции системы к установленным счетчикам электрической энергии, независимо от марки и производителя; возможность адаптации получаемой информации к любой системе обработки данных; относительно невысокая стоимость оборудования; возможность дистанционного ограничения или отключения энергопотребления при необходимости; возможность вести учет и контроль потребления энергоресурсов в реальном времени, сводить баланс на объектах; использование нелицензированных диапазонов частот; надежность работы системы; простота монтажа и эксплуатации.

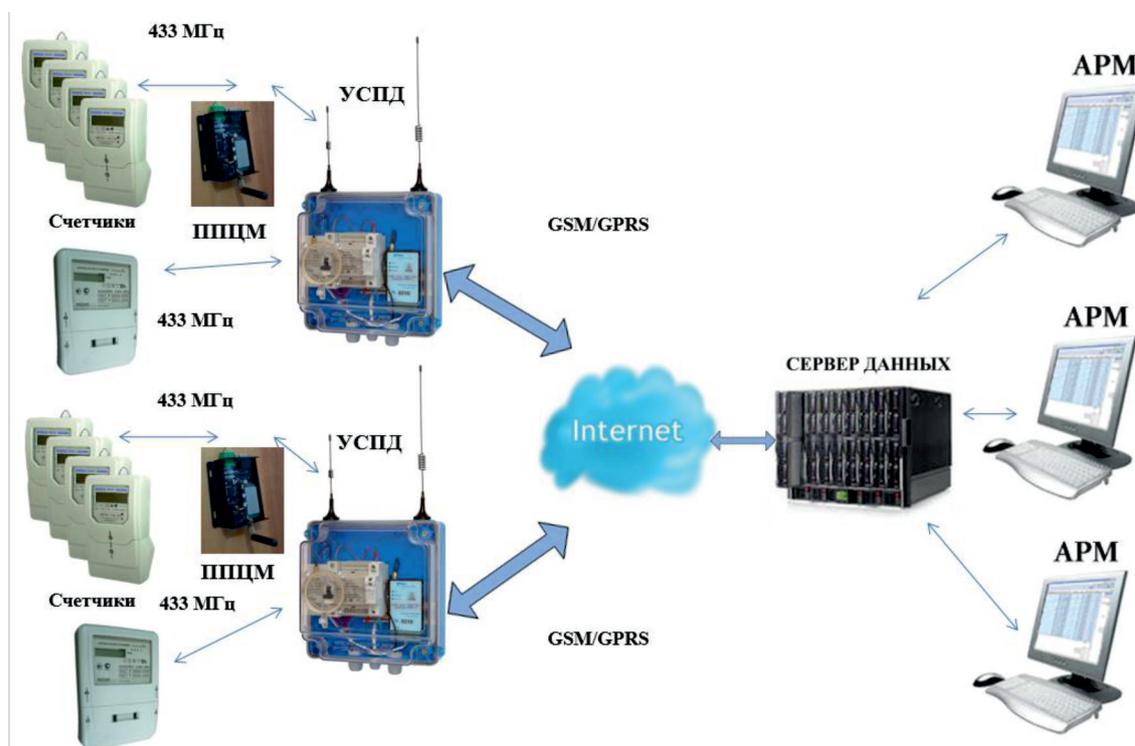


Рис. 5. Испытательный стенд для тестирования АИИС ДСПД

Fig. 5. Test bench for testing AIIS DSPD

### Заключение и дальнейшие перспективы исследования

В конечном итоге выполнена разработка оригинальной математической модели нейронной сети, алгоритма работы и программного средства, позволяющего анализировать и прогнозировать ситуацию с большими данными для выявления аномальных значений показаний приборов учета энергопотребления и их устранения (например, спрогнозированные данные с электросчетчиков позволят сократить временные трудозатраты операторов учета и экономические потери предприятия энергосбыта).

В рамках общей цели решены следующие частные задачи.

1. Выполнена разработка модели нейронной сети и создан прототип программного инструмента.

2. Получена выборка данных показаний электросчетчиков с Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго».

3. Достигнута договоренность с ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» об установке экспериментального образца интеллектуального цифрового модуля и прототипа программного инструмента на промышленной площадке факультета энергетики и электротехники для проведения исследований.

4. Выполнена оценка возможности нейронной сети для прогнозирования данных в данной предметной области (прогнозирование показаний счетчиков) с целью дальнейшей коммерциализации на ПАО «Россети».

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022683810 «Программный инструмент для моделирования передачи и идентификации данных с помощью радиоприемного цифрового модуля».

Экспериментальное применение разрабатываемого программного инструмента по предсказанию данных только в Алатырском районе Чувашии позволит сократить время определения ненормального режима работы приборов учета электроэнергии, что обеспечит прибыль порядка десяти миллионов рублей за каждый отчетный период.

### Список литературы

1. **Шаров В. В., Фатыхов Р. И.** Система автоматического контроля и учета электроэнергии на основе web-интерфейсов // Датчики и системы. М.: Сенсидат-Плюс, 2015. № 9–10. С. 62–64.
2. **Савельева Е. В., Шулгина А. А., Папанцева Е. И.** Пути повышения точности измерений и достоверности учета электроэнергии // Международный студенческий научный вестник. Пенза: Информационно-технический отдел Академии естествознания, 2015. № 3–1. С. 74–75.
3. **Кочнева Е. С., Паздерин А. В.** Выявление недостоверных измерений электрической энергии с помощью апостериорного анализа // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия: Технические науки. 2014. № 2. С. 32–39.
4. **Кочнева Е. С., Паздерин А. В.** Модификация метода контрольных уравнений для достоверизации измерений электроэнергии // Электрические станции. М.: Энергопрогресс, 2016. № 10. С. 20–25.
5. **Солдатов А. А., Евдокимов Ю. К.** Построение многофункциональной автоматизированной системы и алгоритмов контроля и диагностики режимов работы систем учета электроэнергии электросетевых подстанций // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 3. С. 1–10.

### References

1. **Sharov V. V., Fatykhov R. I.** System of automatic control and metering of electricity based on web-interfaces. *Sensors and systems*. Moscow, Sensidat-Plus publ., 2015, no. 9–10, pp. 62–64. (in Russ.)
2. **Savelyeva E. V., Shunina A. A., Papantseva E. I.** Ways to improve the accuracy of measurements and reliability of electricity metering. *International Student Scientific Bulletin*. Penza, 2015, no. 3-1, pp. 74–75. (in Russ.)
3. **Kochneva E. S., Pazderin A. V.** Identification of unreliable measurements of electrical energy using a posteriori analysis. *Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical sciences*, 2014, no. 2, pp. 32–39. (in Russ.)
4. **Kochneva E. S., Pazderin A. V.** Modification of the method of control equations for the reliability of electricity measurements. *Electric stations*. Moscow, Energoprogress publ., 2016, no. 10, pp. 20–25. (in Russ.)
5. **Soldatov A. A., Evdokimov Yu. K.** Construction of a multifunctional automated system and algorithms for monitoring and diagnostics of operating modes of electricity metering systems of electric grid substations. *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, 2017, no. 3, pp. 1–10. (in Russ.)

### Информация об авторах

**Владимир Николаевич Пичугин**, кандидат технических наук

**Антон Александрович Солдатов**, кандидат технических наук

**Евгения Романовна Тюрюшова**, студент

### Information about the authors

**Vladimir N. Pichugin**, Ph. D

**Anton A. Soldatov**, Ph. D

**Evgeniya R. Tyuryushova**, Student

*Статья поступила в редакцию 23.11.2023;  
одобрена после рецензирования 10.12.2023; принята к публикации 10.12.2023*

*The article was submitted 23.11.2023;  
approved after reviewing 10.12.2023; accepted for publication 10.12.2023*