

tekhn. i proizvodstv. zhurnal. – 2020. – No. 2 (60). – S. 28-38.

11. Kachanov, A.N. Prognozirovaniye veroyatnosti vozniknoveniya odnofaznykh zamykaniy na zemliu v raspredelitelnykh setiakh 10 kV s ucheto vliyaniya pogodno-klimaticheskikh faktorov / A.N. Kachanov, V.A. Chernyshov // Promyshlennaya energetika. – 2020. – No. 10. – S. 10-17.

12. Bogatkov, V.N. Postroyeniye sistem upravleniya na osnove neironnykh setey: uchebno-metodicheskoye posobie. – Apatity: Izd-vo KF PetrGU, 2011. – 41 s.

13. Chernyshov, V.A. Obespecheniye ekologicheskogo ravnovesiya biotekhnicheskoy sistemy "LEP – Chelovek – Priroda", osnovannoye na printsipakh kibernetiki i teorii avtomaticheskogo upravleniya / V.A. Chernyshov // Vestnik agrarnoy nauki. – 2018. – No. 1 (70). – S. 65-73.

14. Chernyshov, V.A. Otsenka vliyaniya ucheta vremeni vyjavleniya, sushchestvovaniya, otyskaniya i ustraneniya odnofaznykh zamykaniy na zemliu v setiakh 10 kV na effektivnost ikh funktsionirovaniya / V.A. Chernyshov, A.A. Grebennikov // Energo- i resursoberezheniye - XXI vek: materialy XX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Orel, 14–16 noiabria 2022 goda. – Orel: OGU im. I.S. Turgeneva, 2022. – S. 88-94.

15. Lizunov, I.N. Tekhnologii peredachi dannykh v sovremennykh sistemakh releinoi zashchity i avtomatiki i ikh pokazateli kachestva / I.N. Lizunov, A.N. Vasev, R.Sh. Misbakhov, V.V. Fedotov, E.A. Khuziakhmetova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2017. T. 19. No. (1-2). S. 52-63. DOI: 10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63.

16. Zade L. Poniatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k priniatiyu priblizhennykh resheniy. – Moskva: Mir, 1976. – 166 s.

17. Kurnikov, D.S. Ispolzovaniye neironnykh setey v ekonomike / D.S. Kurnikov, S.A. Petrov // Juvenis scientia. – 2017. – No. 6. – S. 10-12.

18. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii No. 2008610196. «Raschet ozhidaemogo kolichestva zamykaniy na zemliu v raspredelitelnykh setiakh 10 kV s izolirovannoy neitraliyu SIZAM (sinoptik zamykaniy)»: programma dlya EVM / A.I. Gavrichenko, V.A. Chernyshov (RU); pravoobladatel FGOU VPO Orlovskiy GAU. No. 2007614271; zaiavl. 29.10.2007; opubl. 09.01.2008.

19. Gavrichenko, A.I. Ekonomicheskaya effektivnost meropriyatii, povyshaiushchikh elektrobezopasnost selskikh raspredelitelnykh setey 10 kV s izolirovannoy neitraliyu Orlovskoy oblasti / A.I. Gavrichenko, V.A. Chernyshov // Energoobespecheniye i bezopasnost. Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy vystavki-Internet-konferentsii. – Orel: Izd-vo FGOU VPO Orlovskiy GAU, 2008. – S. 326-331.

20. Gromov, Iu.Iu. Osnovy teorii upravleniya: ucheb. posobie / Iu.Iu. Gromov, V.O. Drachev, O.G. Ivanova, Iu.S. Serbulov, K.A. Nabatov. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2008. – 240 s.

21. Vlasov, D.A. Osobennosti i matematicheskie osnovy sovremennoy ekonomicheskoy kibernetiki / D.A. Vlasov // Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya. – 2016. – No. 2 (2). – S. 4-7. – URL: <https://moluch.ru/th/8/archive/40/1269/> (data obrashcheniya: 20.03.2024).



УДК 621.316.1

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-237-7-98-103

А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров, Г.А. Полунин

A.I. Sidorov, S.Sh. Tavarov, G.A. Polunin

## ВЛИЯНИЕ «АНОМАЛЬНЫХ» ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПОЖАРООПАСНУЮ СИТУАЦИЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

### INFLUENCE OF "ABNORMAL" CONSUMERS ON FIRE HAZARDOUS SITUATION IN ELECTRIC NETWORKS WITH UTILITY CONSUMERS

**Ключевые слова:** «аномальные» потребители, многоквартирные жилые дома, пожароопасная ситуация, электрические сети, несимметрия, машинное обучение.

**Keywords:** "abnormal" consumers, multi-apartment residential buildings, fire hazard, electrical networks, asymmetry, machine learning.

Динамика в изменении электропотребления многоквартирными жилыми домами (МКД) в последние годы создает неопределенность установления соответствия фактической нагрузки с нормируемыми значениями. Выявление данной неопределенности возможно с применением машинного обучения (нейросетевых моделей) на основе метода локального коэффициента аномалий (LOF), позволяющих определять «аномальных» потребителей, являющихся объектами, создающими превышение значение несимметрии напряжения из-за сверхнормативного электропотребления. В свою очередь они являются источниками, создающими пожароопасную ситуацию в городских распределительных электрических сетях с коммунально-бытовыми потребителями. Для выявления данных потребителей на начальном этапе с применением разработанной компьютерной модели смоделированы значения электрических нагрузок с учётом климатометеорологических факторов. Адекватность компьютерной модели подтверждена высокой сходимостью с данными, приведенными в СП 256.1325800.2016. Для определения соответствия нормируемых значений электрической нагрузки с фактической на основе данных ежемесячного электропотребления с применением машинного обучения определены «аномальные» потребители. Полученные результаты показывают расхождения в интервале от -58 до +155% от нормируемых значений. Применяв разработанную программу ЭВМ «Имитационная модель термопроцесса изолированного проводника» для «аномальных» потребителей с 60%-ной несимметрией, исследованы изменения температуры нагрева жил провода. Результаты, полученные в разработанной программе, показали, что при данной несимметрии кратковременная установившаяся температура проводника равна 225°C, что в среднем составляет 3-кратное превышение допустимых величин. Это ускоряет процесс старения изоляции проводника, способ-

ствует появлению микротрещин за счёт её высыхания, а в целом возникновению пожароопасной ситуации.

The dynamics in changes in electricity consumption by multi-apartment residential buildings in recent years creates uncertainty in determining the correspondence of the actual load with the standardized values. Identification of this uncertainty is possible using machine learning (neural network models) based on the local anomaly coefficient (LOF) method which makes it possible to identify “abnormal” consumers which are the objects that create an excess voltage unbalance value due to excess power consumption. In turn, they are sources that create a fire hazard in urban electrical distribution networks with household utility consumers. To identify these consumers at the initial stage, by using the developed computer model, the values of electrical loads were simulated taking into account the climate and meteorological factors. The adequacy of the computer model is confirmed by high convergence with the data given in the SP 256.1325800.2016. To determine the correspondence between the normalized electrical load values and the actual load, “abnormal” consumers are identified based on monthly power consumption data using machine learning. The results obtained show discrepancies in the range from -58 to +155% of the normalized values. By using the developed software application “Simulation model of the thermal process of an insulated conductor” for “abnormal” consumers with 60% asymmetry, the changes in the heating temperature of the wire cores were studied. The results obtained in the developed software application showed that with this asymmetry, the short-term steady-state temperature of the conductor was 225°C which on average was 3 times higher than the permissible values. This accelerates the aging process of the conductor insulation, contributes to the appearance of micro-cracks due to its drying out, and in general contributes to the emergence of a fire hazard.

**Сидоров Александр Иванович**, д.т.н., профессор, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Российская Федерация, e-mail: sidorovai@susu.ru.

**Таваров Саиджон Ширалиевич**, к.т.н., Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Российская Федерация, e-mail: tabarovsaid@mail.ru.

**Полунин Георгий Александрович**, к.т.н., доцент, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Российская Федерация, e-mail: poluninga@susu.ru.

**Sidorov Aleksandr Ivanovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: sidorovai@susu.ru.

**Tavarov Saidzhon Shiralievich**, Cand. Tech., Sci., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: tabarovsaid@mail.ru.

**Polunin Georgiy Aleksandrovich**, Cand. Tech., Sci., Assoc. Prof., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation, e-mail: poluninga@susu.ru.

### Введение

В последние годы характер электропотребления коммунально-бытовыми потребителями создает неопределенность как в городских, так и в сельских распределительных электрических сетях. Данная неопределённость связана в

первую очередь с тем, что нормируемые значения не соответствуют фактическим в узлах потребителей [1, 2]. Последнее в свою очередь становится причиной возникновения пожароопасной ситуации [3]. Подтверждением сказанного является ежегодная статистика пожаров,

предоставляемая МЧС России [4]. При возникновении неопределенности возрастает степень несимметрии напряжения, связанная в первую очередь с теми потребителями, которые создают «аномальность» (под термином «аномальный» подразумеваются потребители со сверхнормативным электропотреблением) в электрических сетях с коммунально-бытовыми потребителями. Очевидно, что с точки зрения методологии энергосбережения и оптимального управления электропотреблением наибольший интерес представляют «аномальные» объекты, электропотребление которых выше верхней границы переменного доверительного интервала [5].

Следовательно, выявление данных потребителей является актуальной задачей с точки зрения обеспечения пожаробезопасности, решение которой возможно в современных реалиях.

Для достижения поставленных задач с применением машинного обучения (нейронной сети) на основе метода локального коэффициента аномалий (LOF) [6] выявляем «аномальных» потребителей в МКД.

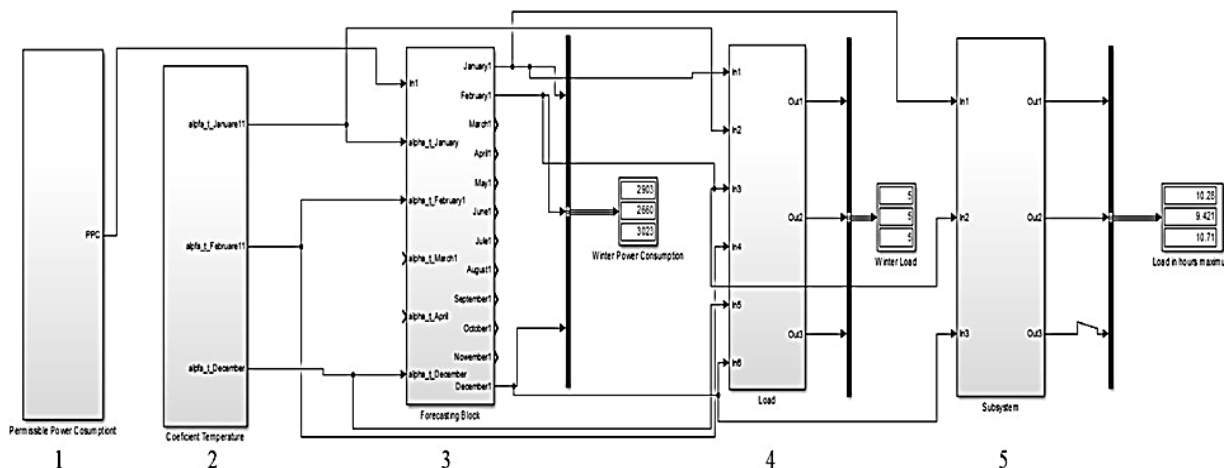
Алгоритм LOF – это неконтролируемый метод обнаружения аномалий, который вычисляет отклонение локальной плотности данной точки данных по отношению к ее соседям. Он считает выбросами образцы, которые имеют значительно более низкую плотность, чем их соседи. Иными словами, LOF сравнивает локальную плотность точки с локальной плотностью ее  $k$ -ближайших соседей и выдает итоговый результат. Параметр  $k$ -ближайших соседей выбирался адаптивно и вычислялся как  $n/1,3$ , где  $n$  – количество мкд (многоквартирные жилые дома).

### Результаты и их обсуждение

Для выявления «аномальных» потребителей с применением программы MATLAB разработана компьютерная модель (рис. 1).

Адекватность полученных результатов предложенной модели проверялась с применением нелинейной авторегрессионной нейронной сети (NAR).

Результаты нелинейной авторегрессионной нейронной сети (NAR), примененной в блоке 4 (рис. 1), представим в виде рисунка 2.



**Рис. 1. Компьютерная модель выявления «аномальных» потребителей:**

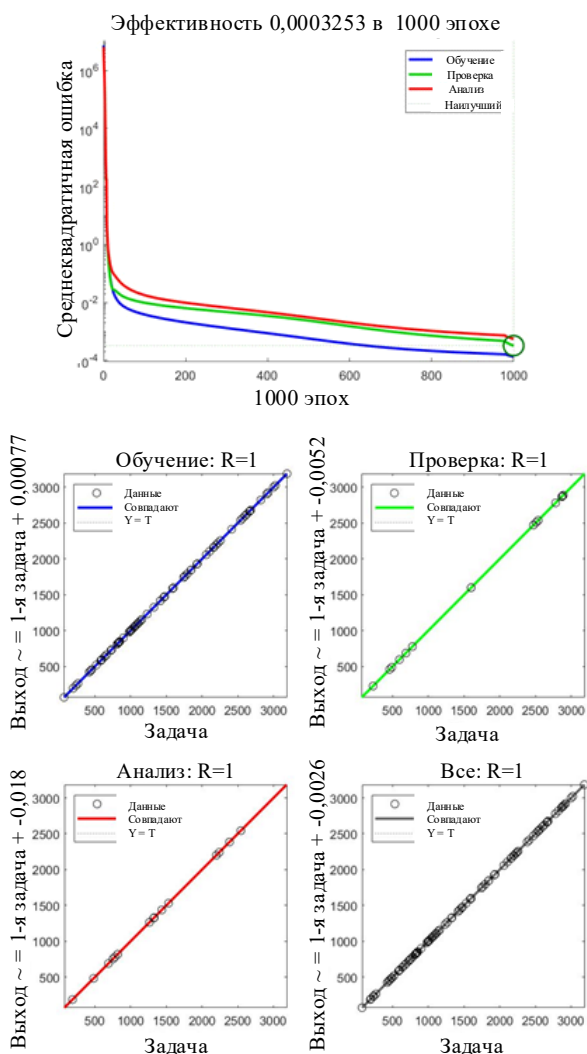
**1 – блок ввода количества потребителей; 2 – блок ввода удельной электрической нагрузки, соответствующей количеству потребителей [1]; 3 – блок ввода климатометеорологических данных; 4 – блок вывода данных электропотребления с обработкой результатов с применением нейронной сети; 5 – блок вывода данных «аномальных» потребителей на основе метода LOF**

Таким образом, можно утверждать о высокой сходимости полученных результатов.

Для выявления «аномальных» потребителей в МКД полученные результаты в разработанной модели (рис. 1) сравнивались с фактическими нагрузками, вытекающей из фактического электропотребления от энергосбытовой организации.

Как уже отмечалось ранее, с применением машинного обучения на основе метода локального коэффициента аномалий для ряда потребителей с МКД можно обнаружить квартиры с «аномальными» потреблением (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что во всех МКД наблюдаются квартиры с «аномальными» потреблением с расхождением от нормируемых значениях предела от -58 до +155%.

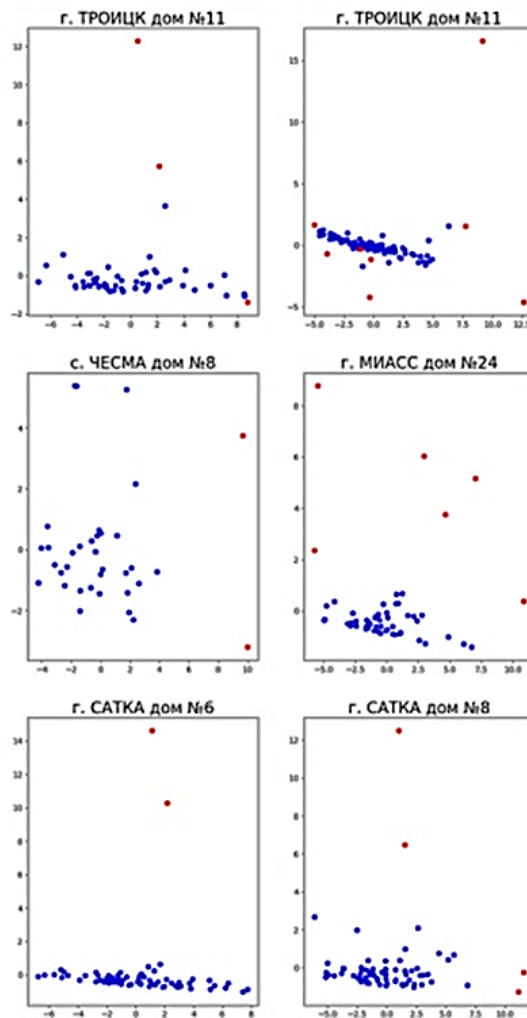


**Рис. 2. Результаты нелинейной авторегрессионной нейронной сети (NAR)**

Данные расхождения, создаваемые квартирами с «аномальными» потребителями, являются источниками превышения значения несимметрии напряжения [2], как следствие, создающие как для себя, так и для менее загруженных потребителей пожароопасную ситуацию.

Пожароопасная ситуация связана с тем, что данные потребители создают дополнительные токовые нагрузки в фазах, которые воздействуют на изоляцию проводников, что приводит к ускорению процесса разрушения (появления микротрещин) и пробоя [7].

Для подтверждения сказанного с использованием разработанной программы ЭВМ «Имитационная модель термопроцесса изолированного проводника» [8] было исследовано изменение температуры проводника при изменении нагрузки на 60%. Результат представлен на рисунке 4.



**Рис. 3. Визуализация обнаружения квартир с аномальными потребителями**

Из полученных результатов (рис. 4) кратковременное значение установившегося нагрева жил проводника при 60%, создающееся «аномальными» потребителями, составляет 225°C. Эта величина превышает 3-кратное значение, установленное для исследуемого проводника марки ПВ с поливинилхлоридной изоляцией.

Таким образом, при длительной эксплуатации проводника с данными режимами резко уменьшается срок службы изоляции, вызывая её высыхание и, возможно, пробой, создавая тем самым пожароопасную ситуацию в МКД. При этом необходимо отметить, что из-за нелинейности нагрузки электроприемников, применяемых в МКД, дополнительно к сказанному добавляются гармоники, которые, как известно, являются дополнительными источниками нагрева изоляции проводника, что подтверждается рядом исследований в данном направлении [9, 10].

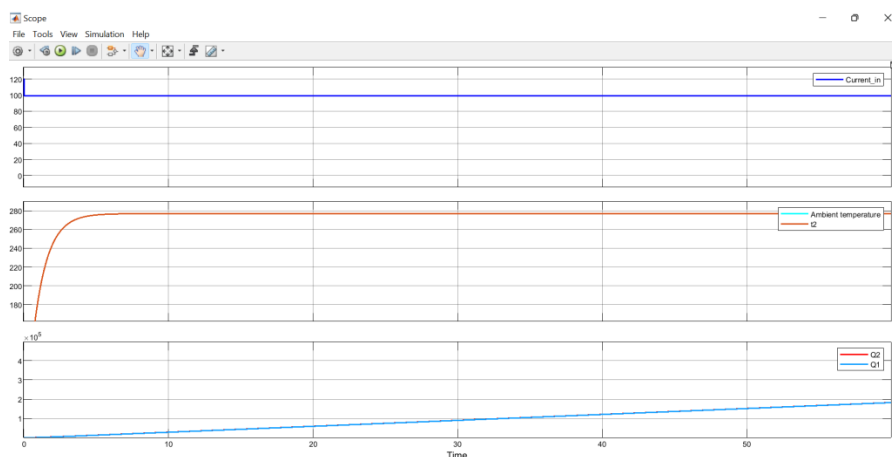


Рис. 4. Изменения температуры проводника при изменении нагрузки на 60%

### Выводы

1. С применением машинного обучения для реальных объектов с многоквартирными жилыми домами определены «аномальные» потребители, являющиеся источниками пожароопасной ситуации.

2. На основе разработанной программы ЭВМ «Имитационная модель термопроцесса изолированного проводника» проведены исследования изменения температуры проводника при изменении нагрузки на 60%, создаваемой «аномальными» потребителями.

3. Результаты исследования на программе ЭВМ позволили определить кратковременную температуру установившегося нагрева проводника, которая составила 225°C, что превышает допустимые значения в 3 раза от установленных значений для исследуемого проводника марки ПВ с поливинилхлоридной изоляцией.

### Библиографический список

1. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа (Приказ Минстроя России от 29 августа 2016 г. № 602/пр). – Москва, 2016. – 125 с. – Текст: непосредственный.

2. Разработка изменений в строительный свод правил в части актуализации удельных расчетных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов / В. И. Солуянов, Ю. И. Солуянов, А. И. Федотов, А. Р. Ахметшин. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 89-100.

3. Степанов, В. М. Повышение эффективности работы электрических сетей за счет снижения несимметрии напряжения / В. М. Степанов, И. М. Базыль, А. Ю. Ключникова. – DOI

10.24412/2071-6168-2021-12-8-12. – Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 8-11.

4. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник / В. С. Гончаренко, Т. А. Четчина, В. И. Сибирко [и др.]. – Балашиха, 2022. – 114 с. – Текст: непосредственный.

5. Гнатюк, В. И. Оптимальное управление электропотреблением техноценоза методами рангового анализа / В. И. Гнатюк. – Текст: непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 177-193.

6. Kim, M., Jung, S., Kim, B., et al. (2022). Fault Detection Method via k-Nearest Neighbor Normalization and Weight Local Outlier Factor for Circulating Fluidized Bed Boiler with Multimode Process. *Energies*. 15. <https://doi.org/10.3390/en15176146>.

7. Смелков, Г. Н. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах / Г. Н. Смелков, А. А. Александров, В. А. Пехотиков. – Москва: Стройиздат, 1980. – 87 с. – Текст: непосредственный.

8. Свидетельство № 2022681111 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Имитационная модель термо-процесса изолированного проводника / С. Ш. Таваров, А. И. Сидоров, Б. И. Косимов. – № 2022680558; заявл. 03.11.2022; зарегистр. 09.11.2022. – Текст: непосредственный.

9. Grushka-Cockayne, Y., Jose, V.R. (2020). Combining Prediction Intervals in the M4 Competition. *International Journal of Forecasting*. 36 (1): 178-185, <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.015>.

10. Hewamalage, H., et al. (2021). Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting: Current Status and Future Directions. *International Journal of Forecasting*. 37. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.06.008>.

### References

1. SP 256.1325800.2016. «Elektroustanovki zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. Pravila proektirovaniia i montazha» (Prikaz Ministroia Rossii ot 29 avgusta 2016 g. No. 602/pr). – Moskva, 2016. – 125 s.

2. Razrabotka izmenenii v stroitelnyi svod pravil v chasti aktualizatsii udelnykh raschetnykh elektricheskikh nagruzok mnogokvartirnykh zhilykh domov / V.I. Soluianov, Iu.I. Soluianov, A.I. Fedotov, A.R. Akhmetshin // *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. – 2023. – T. 25. – No. 6. – S. 89-100.

3. Povyslenie effektivnosti raboty elektricheskikh setei za schet snizheniia nesimmetrii napriazheniia / V.M. Stepanov, I.M. Bazyl, A.Iu. Kliuchnikova // *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki*. – 2021. – No. 12. – S. 8-11. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-12-8-12.

4. Pozhary i pozharnaia bezopasnost v 2021 godu: Statist. FGBU VNIPO MChS Rossii: sb. nauch. tr. – Balashikha, 2022. –114 s.

5. Gnatiuk V.I. Optimalnoe upravlenie elektropotrebleniem tekhnotsenoza metodami rangovogo

analiza / V.I. Gnatiuk // *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Seria: Tekhnika i tekhnologii*. 2009. T. 2. No. 2. S. 177-193.

6. Kim, M., Jung, S., Kim, B., et al. (2022). Fault Detection Method via k-Nearest Neighbor Normalization and Weight Local Outlier Factor for Circulating Fluidized Bed Boiler with Multimode Process. *Energies*. 15. <https://doi.org/10.3390/en15176146>.

7. Smelkov G.N. Metody opredeleniia prichastnosti k pozharam avariinykh rezhimov v elektrotekhnicheskikh ustroystvakh / G.N. Smelkov, A.A. Aleksandrov, V.A. Pekhotikov. – Moskva: Stroiizdat, 1980. – 87 s.

8. Svid. 2022681111 o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM. Imitatsionnaia model termo-protsesta izolirovannogo provodnika / S.Sh. Tavarov, A.I. Sidorov, B.I. Kosimov – No. 2022680558, zaivl. 03.11.2022; zaregistr. 09.11.2022.

9. Grushka-Cockayne, Y., Jose, V.R. (2020). Combining Prediction Intervals in the M4 Competition. *International Journal of Forecasting*. 36 (1): 178-185, <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.015>.

10. Hewamalage, H., et al. (2021). Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting: Current Status and Future Directions. *International Journal of Forecasting*. 37. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.06.008>.



УДК 621.548:631.17

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-237-7-103-107

В.Ю. Васильев, Е.В. Титов

V.Yu. Vasilev, E.V. Titov

## ПРИНЦИПЫ РАСШИРЕННОГО МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЕТРОВЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В АПК

### PRINCIPLES OF EXTENDED MICROCLIMATIC FORECASTING OF WIND ENERGY RESOURCES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

**Ключевые слова:** ветровые энергоресурсы, микроклиматическое прогнозирование, ветроэнергетическая установка, удельная мощность ветрового потока, ветроэнергетический потенциал, ветрогенератор, ветроэнергетический ресурс, агропромышленный комплекс.

Для повышения качества электроснабжения удаленных и изолированных потребителей агропромышленного комплекса часто применяются ветроэнергетические установки. Эффективность их функционирования во

многом определяется точностью прогнозирования состояния ветровых энергоресурсов. Количественной характеристикой ветроэнергетического ресурса считается среднегодовая удельная мощность ветрового потока. В соответствии с известными принципами прогнозирования состояния ветровых энергоресурсов удельная мощность ветрового потока учитывает плотность воздуха, принимаемую за постоянное значение и соответствующую установленным нормальным условиям. Отклонение значений метеорологических параметров местности для реальных и нормальных условий приводит к изменению