



Метод прогнозирования и расчета электрической нагрузки коммунально-бытовых потребителей в условиях неопределенности

С.Ш. Таваров^{1✉}, А.И. Сидоров², И.Ф. Суворов³, А.Б. Святых⁴

^{1,2}Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

³Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

⁴ООО «Уралэнергосбыт», г. Челябинск, Россия

Резюме. Цель – исследование соответствия фактического электропотребления расчетному в распределительных электрических сетях с преобладанием коммунально-бытовых потребителей ряда городов Челябинской области. Для исследования соответствия между удельной электрической нагрузкой, установленной нормативной документацией, и фактической на одну квартиру по данным электропотребления в ряде городов Челябинской области проанализировано среднегодовое электропотребление коммунально-бытовыми потребителями с определенным количеством квартир за 2021-2022 гг. Анализ соответствия среднегодового электропотребления коммунально-бытовыми потребителями рассматриваемых объектов проводился на основе действующего метода расчета электрической нагрузки за рассматриваемый период согласно СП 256.1325800.2016. Определено расхождение между реальной электрической нагрузкой на квартиру и ее нормативным значением, установленным действующими в настоящее время нормативными документами, которое составило по электропотреблению от минус 48 до 300%. Для рассматриваемых 16 объектов принадлежности городов Челябинской области произведены сравнения расхождения фактической электрической нагрузки с установленными нормативными значениями. Расхождение между фактической и удельной нагрузками на квартиру составило для 6 квартир от минус 58 до 155%. Для повышения точности прогноза электропотребления в распределительных электрических сетях с преобладанием коммунально-бытовых потребителей и расчета электрических нагрузок предлагается новый показатель – обобщенный коэффициент неопределенности A_p , значения которого определены для рассматриваемого периода. Таким образом, с использованием предложенного коэффициента рекомендованы методы прогнозирования электропотребления в распределительных электрических сетях с преобладанием коммунально-бытовых потребителей и расчета электрических нагрузок. При применении разработанных методов отклонения в прогнозных расчетах в относительных величинах не превысят 10%.

Ключевые слова: электрическая нагрузка, электропотребление, обобщенный коэффициент неопределенности, удельная нагрузка

Для цитирования: Таваров С.Ш., Сидоров А.И., Суворов И.Ф., Святых А.Б. Метод прогнозирования и расчета электрической нагрузки коммунально-бытовых потребителей в условиях неопределенности // iPolytech Journal. 2023. Т. 27. № 3. С. 565–573. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-3-565-573>. EDN: TVYZCE.

POWER ENGINEERING

Original article

Method for forecasting and calculating the electrical load of municipal consumers under uncertainty

Saidjon Sh. Tavarov^{1✉}, Aleksandr I. Sidorov², Ivan F. Suvorov³, Andrey B. Svyatikh⁴

^{1,2}South-Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

³Transbaikal State University, Chita, Russia

⁴Uralenergoby LLC, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The study addresses the conformity of actual electricity consumption to the calculated value in electric distribution networks in which municipal consumers predominate in several cities of the Chelyabinsk region. To study the conformity between the specific electrical load established by regulatory documents and the actual value per apartment according to power consumption data in several cities of the Chelyabinsk region, the average annual power consumption by municipal consumers with a specific number of apartments was analyzed over a period of 2021–2022. The correspondence

analysis of the average annual electricity consumption by municipal consumers in the studied facilities was carried out using the conventional method for calculating the electrical load over the given period following the guidelines outlined in SP 256.1325800.2016. The discrepancy between the actual electrical load on the apartment and its normative value established by the acting normative documents ranged from minus 48 to 300% with respect to electricity consumption. For the considered 16 objects located in the cities of the Chelyabinsk region, the discrepancy between the actual electrical load and the established normative values was compared. For 6 apartments, this discrepancy ranged from minus 58 to 155%. To improve the accuracy of forecasting electricity consumption and calculating electrical loads in electric distribution networks with a predominance of municipal consumers, methods using a new factor were recommended. This factor involves a generalized uncertainty coefficient A_p , whose values are determined for the considered period. When using the developed methods, relative deviations in the forecast calculations are less than or equal to 10%.

Keywords: electrical load, power consumption, generalized uncertainty coefficient, specific load

For citation: Tavarov S.Sh., Sidorov A.I., Suvorov I.F., Svyatikh A.B. Method for forecasting and calculating the electrical load of municipal consumers under uncertainty. *iPolytech Journal*. 2023;27(3):565-573. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-3-565-573>. EDN: TVYZCE.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, одним из показателей надежности городского электроснабжения является частота отказа, которая имеет прямую зависимость от электрической нагрузки. Эффективность же распределительной электрической сети оценивается по продолжительности недоотпуска электроэнергии – чем меньше, тем лучше, а также потерями электроэнергии.

В последние годы существенно возросло потребление электрической энергии в коммунально-бытовых электрических сетях, что обусловлено как объективными причинами (отсутствие или обеспечение газоснабжением, горячим теплоснабжением), так и субъективными (человеческим безразличием к состоянию бытовых электроприемников – включены они или своевременно отключены).

Такое положение дел привело к несоответствию между нормативным значением удельной электрической нагрузки на квартиру и фактическим [1–5].

Все это в определенной степени приводит к снижению надежности элементов распределительных электрических сетей напряжением 6–10 кВ, их меньшей энергоэффективности [6–17], а также сказывается на работе тех бытовых электроприемников, которые чувствительны к качеству электрической энергии, подаваемой непосредственно в квартиры.

Кроме того, несимметрия нагрузок в электрических сетях коммунально-бытового назначения ускоряет процесс старения изоляции в них, что может являться причиной пожаров.

Для решения указанной проблемы необходимо установить факторы, создающие неопределенность в прогнозировании электропотребления, предложить и обосновать новый метод прогнозирования и расчета электрической нагрузки, позволяющий повысить точность ее прогноза и расчета.

Однако прежде необходимо показать несоответствие между фактической и удельной электрической нагрузкой на квартиру.

За исходные параметры примем реальные значения электропотребления, полученные по приборам учета электроэнергии, установленным у коммунально-бытовых потребителей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования соответствия между удельной электрической нагрузкой, установленной нормативной документацией и фактической на одну квартиру по данным электропотребления в ряде городов Челябинской области проанализировано среднегодовое электропотребление коммунально-бытовыми потребителями с определенным количеством квартир за 2021–2022 гг., (рис. 1). Исходные данные рассматриваемых потребителей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Данные рассматриваемых коммунально-бытовых потребителей

Table 1. Data of the household consumers under investigation

№ п/п	Объект принадлежности	Территориальная расположенность	Всего квартир
1	г. Троицк	мкр 2-й	41
2	г. Троицк	мкр 2-й	83
3	г. Троицк	мкр 2-й	60
4	г. Троицк	мкр 2-й	106
5	г. Миасс	ул. Победы	60
6	г. Миасс	ул. Уральская	55
7	г. Миасс	ул. Уральская	60
8	г. Миасс	ул. Уральская	56
9	г. Сатка	пр-кт Мира	76
10	г. Сатка	пр-кт Мира	75
11	г. Сатка	пр-кт Мира	74
12	г. Сатка	пр-кт Мира	72
13	г. Южноуральск	пр-кт Мира	64
14	г. Южноуральск	ул. Строителей	33
15	г. Южноуральск	ул. Строителей	64
16	г. Южноуральск	ул. Строителей	36

На основании полученной информации от Энергосбытовой организации рассматриваемые потребители, приведенные в табл. 1, относятся к категории без газоснабжения.

Согласно СП 256.1325800.2016, на одну квартиру для данных потребителей удельная электрическая нагрузка составляет 10 кВт/кв (киловатт на квартиру).

На рис. 1 показаны значения величин потребления электроэнергии с усреднением на 1 квартиру рассматриваемых коммунально-бытовых потребителей, приведенных в табл. 1.

По формуле (1) для рис. 1 рассчитана средняя мощность за определенный период рассматриваемых потребителей.

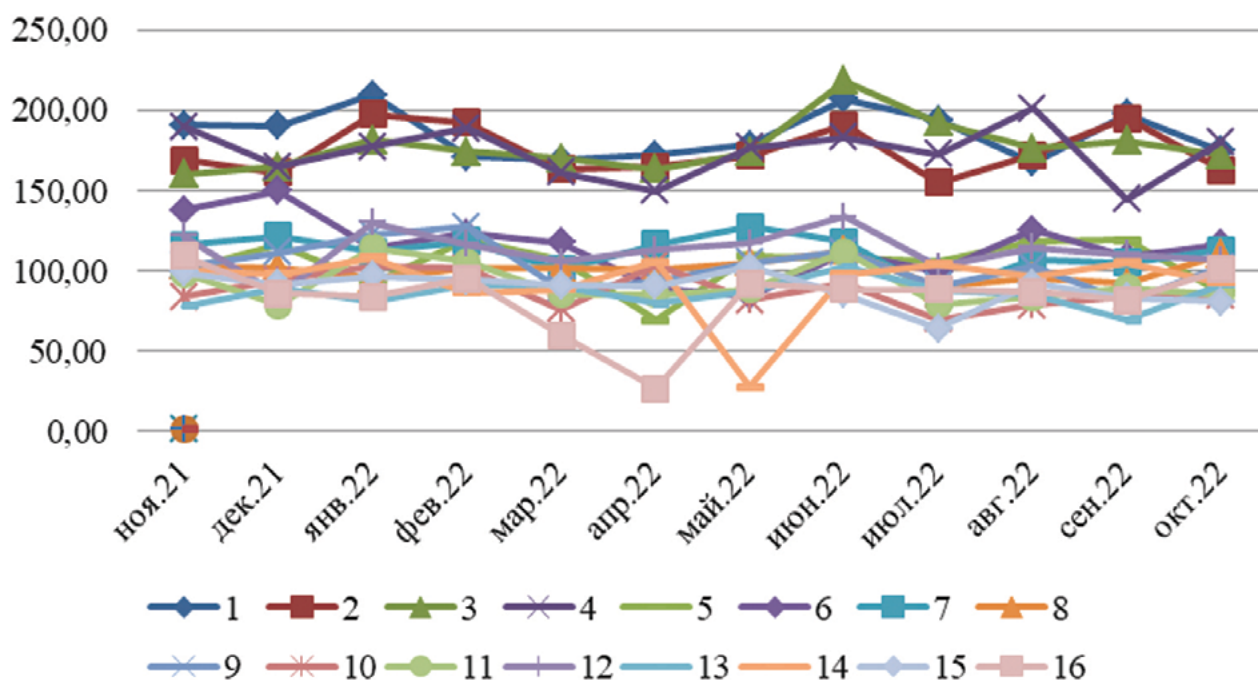


Рис. 1. Среднегодовое электропотребление с усреднением на 1 квартиру рассматриваемых коммунально-бытовых потребителей

Fig. 1. Average annual power consumption with averaging per 1 apartment of the household consumers under investigation

средняя мощность за определенный период рассматриваемых потребителей.

$$P_{кв.} = \frac{W_{факт.} \times N_j}{T_{м.і}}, \quad (1)$$

где $W_{факт.}$ – фактическое среднее электропотребление на одну квартиру, кВт·ч/мес; N_j – количество квартир, шт. (где j – порядковый номер в табл. 1); $T_{м.і}$ – число часов в i -м периоде.

Результаты представлены на рис. 2.



Рис. 2. Расхождение между фактической и удельной электрическими нагрузками на квартиру

Fig. 2. Discrepancy between the actual and specific electrical loads per apartment



Рис. 3. Расхождение результатов фактического электропотребления с проектным при заданной удельной электрической нагрузке на квартиру

Fig. 3. Discrepancy between the actual and design power consumption results for a given specific electrical load per apartment

Согласно рис. 3., относительная разница между фактическим и проектным электропотреблением, вытекающая из значений удельной электрической нагрузки на квартиру, находится в пределах от 48 до 300% в части потребителей. Но так как развитие видов электроприемников и потребность потребителей в них растет, то такая разница между удельными и фактическими значениями мощности будет только увеличиваться и распространяться на все виды многоквартирных жилых домов.

Таким образом, можно утверждать, что действующее значение удельной электрической нагрузки на квартиру не соответствует реальным условиям.

торы [17–20] (учет перепада высот над уровням моря и материальное положение владельцев квартир, и др.) при разработке удельной электрической нагрузки на квартиру, что позволило нам предложить новый так называемый обобщенный коэффициент неопределенности A_i . При этом необходимо отметить, что при определении A_i учитываются коммунально-бытовые потребители, получающие питание как от комбинированных источников (традиционных (Т)), так и от одиночных источников (например, полностью на гидроэлектроэнергии или на возобновляемом источнике энергии – солнечные ветровые и т.п.) на электрической энергии (Э):

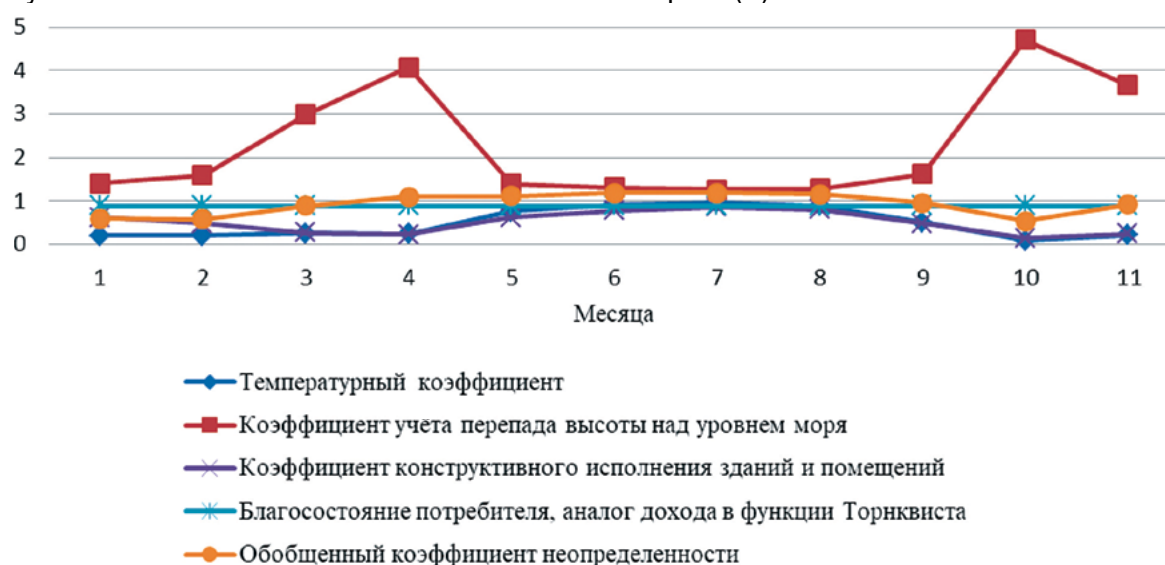


Рис. 4. Расчет обобщенного коэффициента неопределенности для рассматриваемых объектов
 Fig. 4. Calculation of the generalized coefficient of uncertainty for the facilities under consideration

С применением ряда математических и модельных аппаратов (статистические и эконометрические модели для сбора и обработки данных по электропотреблению, модели для выявления факторов неопределенности, теории нечетких множеств, нейросетевые модели) были установлены ранее неучитываемые фак-

$$A_{i(T)} = (t_i h + c)/(s + k); \quad (2)$$

$$A_{i(Э)} = (t_i \cdot h \cdot c)/(s \cdot k), \quad (3)$$

где t_i – температурный коэффициент (учитывающий метеорологический фактор);

h – коэффициент, учитывающий расположенность потребителей над уровнем моря; c – коэффициент, учитывающий конструктивное исполнение жилого дома; s – коэффициент материального(финансового)положенияпотребителя (благосостояния потребителя, аналог дохода функции Торнквиста); k – коэффициент, учитывающий различное количество электроприемников у потребителя [20].

Учитывая, что рассматриваемые нами потребители электроэнергии относятся к группе (Т), сравнение проводим с использованием $A_{i(T)}$ обобщенного коэффициента неопределенности, который рассчитываем по уравнению (2).

С использованием интернет-ресурса были найдены среднемесячные температуры для рассматриваемых объектов – t_1 , t_2 и t_3 , где цифры 1 – температуры окружающего воздуха

в месте расположения потребителя; 2 – добавочная температура, учитывающая разность температур снаружи дома и внутри помещения; 3 – температура окружающего воздуха в точке 0 над уровнем моря.

В свою очередь, коэффициенты s и k были получены с помощью критерия Фишера.

На рис. 4 представлены расчеты A_i для рассматриваемых объектов.

С использованием обобщенного коэффициента неопределенности предлагаем методы прогнозирования на основе учета предыдущего электропотребления и расчета электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей, см. выражения (4) и (5).

Метод расчета электрической нагрузки квартир с учетом обобщенного коэффициента неопределенности:

$$P_{(p).кв.} = \frac{W_{пред.}}{T_{м.и}} \times A_{i(T)} \quad (4)$$

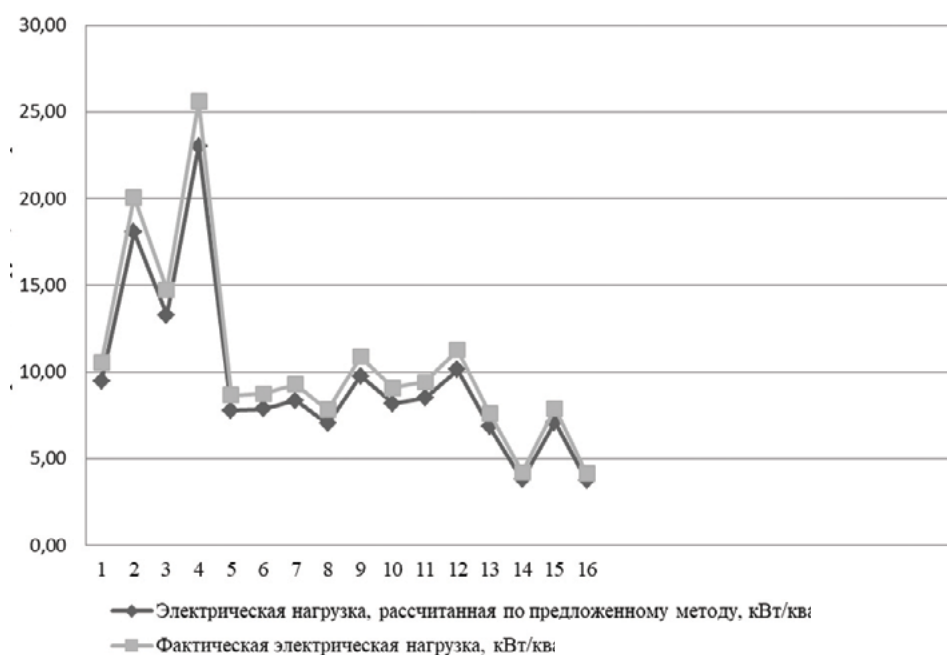


Рис. 5. Сравнение фактической электрической нагрузки с полученной по предложенному методу нагрузкой
Fig. 5. Comparison of the actual electrical load with the load obtained by the proposed method

где $W_{пред.}$ – данные, полученные от энергосбытовой организации, предыдущего электропотребления коммунально-бытовых потребителей, кВтч. (за аналогичский период предыдущего года).

Метод прогнозирования электропотребления коммунально-бытовыми потребителями с учетом обобщенного коэффициента неопределенности:

$$W_{прог.} = \frac{(P_{кв} \times T_{м.и} \times N_j)}{A_{i(T)}}, \quad (5)$$

где $P_{кв}$ – расчетное значение электрической нагрузки, получаемое с учетом предложенного обобщенного коэффициента, кВт.

С применением формулы (4) по данным предыдущего электропотребления

коммунально-бытовыми потребителями были рассчитаны электрические нагрузки.

Достоинством приведенных выше методов является учет (с помощью обобщенного коэффициента) финансового положения разных слоев населения в рассматриваемых объектах, а также географическое нахождение потребителей на различных уровнях по отношению к нулевому (т.е. уровню моря).

Важность учета этих двух факторов для прогнозирования и расчета электрических нагрузок жилых домов заключается в следующем:

1. Неучет финансового положения потребителя приводит к частым созданиям потребителями несимметрии, превышающей установленные величины, при этом возрастания количества электроприемников резко увеличивает данную проблему.

2. Игнорирование перепада высот приводит к дополнительному увеличению электропотребления, обусловленного высокой влажностью над уровнем моря. Тем самым снова приводя к возрастанию первого

критерия (фактора).

Результаты расчетов сравнивались с фактическими значениями, определенными ранее и представленными на рис. 2.

Согласно рис. 5, расхождение между прогнозируемой нагрузкой и фактической не превысило 10%.

Далее, с применением формулы (5), спрогнозируем электропотребление коммунально-бытовыми потребителями для рассматриваемых объектов и сравним эти результаты с фактическими.

Результаты сравнения представим в виде зависимости рис. 6.

При использовании предлагаемого метода прогнозирования электропотребления по формуле (5) расхождение результатов составляет от 8 до 18 кВт·ч/кв, что в процентном отношении не превышает 10%.

Такой результат позволяет утверждать о высокой сходимости и тем самым обеспечить повышение показателей надежности и эффективности распределительной электрической сети.

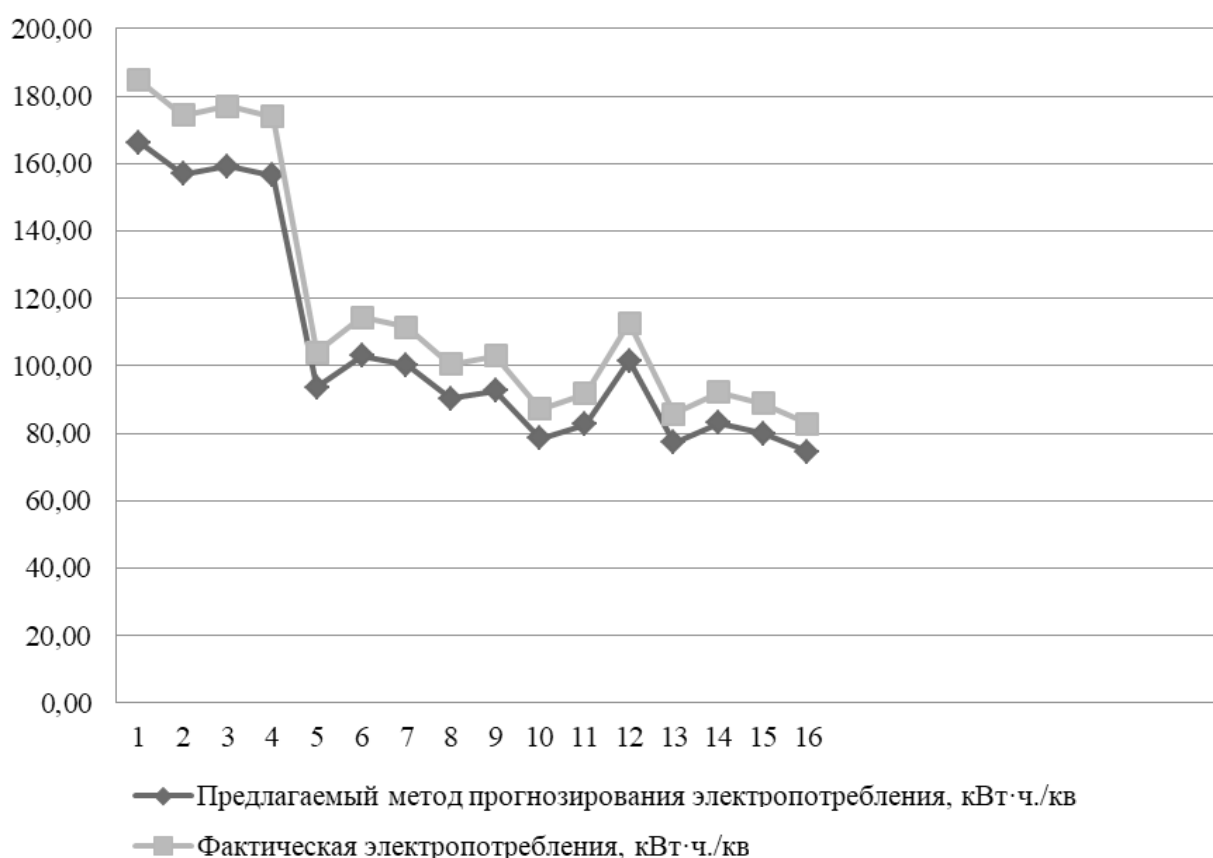


Рис. 6. Сравнения фактического электропотребления с прогнозируемым, найденным с учетом обобщенного коэффициента неопределенности

Fig. 6. Comparison of the actual power consumption with the predicted one determined taking into account the generalized coefficient of uncertainty

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования фактического электропотребления ряда объектов с коммунально-бытовыми потребителями подтверждено, что действующие значения удельных электрических нагрузок для этих потребителей приводят к существенным расхождениям с фактическими значениями.

По электрической нагрузке от -58 до +155% и до электропотребления от -48 до 300%.

Для повышения точности расчета элек

трических нагрузок предложено использовать обобщенный коэффициент неопределенности, а на его основе метод прогнозирования и расчет электрических нагрузок.

Показано, что при использовании предложенных методов расхождение между расчетным и фактическим электрических нагрузок не превышает 10%, а ошибочность прогнозируемого электропотребления находится в пределах от 8 до 18 кВт·ч/кв.

Список источников

1. Репкина Н.Г. Исследование факторов, влияющих на точность прогнозирования суточного электропотребления // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2015. № 2. С. 41–43. <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2015-2-41-43>.
2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62–71. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2021-6-62-71>. EDN: RRSRRX.
3. Карпенко С.М., Карпенко Н.В. Эконометрическое моделирование энергопотребления с учетом влияния производственных факторов // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 1. С. 14–17. <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2020-1-14-17>. EDN: EDVDXC.
4. Карпенко С.М., Карпенко Н.В. Анализ динамики и прогнозирование электропотребления на основе эконометрического моделирования // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 2. С. 20–25. <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2020-2-20-25>. EDN: YUCPDM.
5. Валеев Г.С., Дзюба М.А., Валеев Р.Г. Моделирование суточных графиков нагрузок участков распределительных сетей напряжением 6–10 кВ городов и населенных пунктов в условиях ограниченного объема исходной информации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2016. Т. 16. № 2. С. 23–29. <https://doi.org/10.14529/power160203>. EDN: WCZMFX.
6. Куликов А.Л., Илюшин П.В., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Выборочный контроль показателей качества электроэнергии в распределительных сетях с большой долей генерации на основе возобновляемых источников энергии // Электричество. 2022. № 7. С. 11–23. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2022-7-11-23>. EDN: TBYSOJ.
7. Fezzi C., Mosetti L. Size matters: estimation sample length and electricity price forecasting // The Energy Journal. 2020. Vol. 41. Iss. 4. P. 231–254. <https://doi.org/10.5547/01956574.41.4.cfez>.
8. Goltos T. E., Syntetos A. A., Van der Laan E. Forecasting for remanufacturing: the effects of serialization // Journal of Operations Management. 2019. Vol. 65. Iss. 5. P. 447–467. <https://doi.org/10.1002/joom.1031>.
9. Grushka-Cockayne Ya., Jose V.R.R. Combining prediction intervals in the M4 competition // International Journal of Forecasting. 2020. Vol. 36. Iss. 1. P. 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.015>.
10. Hewamalage H., Bergmeir C., Bandara K. Recurrent neural networks for time series forecasting: current status and future directions // International Journal of Forecasting. 2021. Vol. 37. Iss. 1. P. 388–427. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.06.008>.
11. Hong T., Pinson P. Energy forecasting in the big data world // International Journal of Forecasting. 2019. Vol. 35. Iss. 4. P. 1387–1388. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.05.004>.
12. Issi F., Kaplan O. The determination of load profiles and power consumptions of home appliances // Energies. 2018. Vol. 11. Iss. 3. P. 607. <https://doi.org/10.3390/en11030607>.
13. Nisha M. Demand side management for a household using resource scheduling // International CET Conference on Control, Communication, and Computing. 2018. <https://doi.org/10.1109/CETIC4.2018.8530929>.
14. Andrea G., Paoletti S., Vicino A. Models and techniques for electric load forecasting in the presence of demand response // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2014. Vol. 23. Iss. 3. P. 1087–1097. <https://doi.org/10.1109/TCST.2014.2361807>.
15. Opreș I., Costinaș S., Ionescu C., Nistoran D. The household energy consumer in a smart metering environment // 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (Bucharest, 7–9 May 2015). Bucharest: IEEE, 2015. P. 43–48. <https://doi.org/10.1109/ATEE.2015.7133677>.
16. Kim Jangkyum, Han Jaesob, Kim Nakyoung, Kim Minkyung, Choi Junkyun. Analysis of power usage at household and proper energy management // International Conference on Information and Communication Technology Convergence (Jeju, 17–19 October 2018). Jeju: IEEE, 2018. P. 450–456. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2018.8539459>.
17. Senyuk M., Safaraliev M., Gulakhmadov, A., Ahyoev, J. Application of the conditional optimization method for the synthesis of the law of emergency control of a synchronous generator steam turbine operating in a complex-closed configuration power system // Mathematics. 2022. Vol. 10. Iss. 21. P. 3979. <https://doi.org/10.3390/math10213979>.
18. Tavarov S.S., Sidorov A.I., Kalgina Y.V. Model and algorithm of electricity consumption management for household consumers in the republic of Tajikistan // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2020. Vol. 7. Iss. 4. P. 520–526. <https://doi.org/10.18280/mmep.070403>.

19. Таваров С.Ш. Метод прогнозирования электропотребления бытовыми потребителями в условиях Республики Таджикистан // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2020. Т. 20. № 2. С. 28–35. <https://doi.org/10.14529/power200203>. EDN: HIOFYO.
20. Таваров С.Ш. Алгоритм обучения искусственной нейронной сети для факторного прогнозирования электропотребления бытового сектора // Электричество. 2022. № 3. С. 30–38. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2022-3-30-38>. EDN: MDFRLG.

References

1. Repkina N.G. Research of factors affecting the accuracy prediction daily power consumption. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*. 2015;2:41-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2015-2-41-43>.
2. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Galitsky Yu.Ya., Chernova N.V., Akhmetshin A.R. Updating the standard specific electric loads of apartment buildings in the Republic of Tatarstan. *Elektrichestvo*. 2021; 6:62-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2021-6-62-71>. EDN: RRSRRX.
3. Karpenko S.M., Karpenko N.V. Econometric modeling of energy consumption based on influence of industry factors. *Energobezopasnost' i energosberezhenie = Energy Safety and Energy Economy*. 2020;1:14-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2020-1-14-17>. EDN: EDVDXC.
4. Karpenko S.M., Karpenko N.V. Analysis of dynamics and power consumption forecasting based on econometric modeling. *Energobezopasnost' i energosberezhenie = Energy Safety and Energy Economy*. 2020;2:20-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2020-2-20-25>. EDN: YUCPDM.
5. Valeev G.S., Dzyuba M.A., Valeev R.G. Modeling daily load curves of the elements of 6–10 kV urban power distribution networks under conditions of limited unput information. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika = Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering*. 2016;16;2:23-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/power160203>. EDN: WCZMFX.
6. Kulikov A.L., Ilyushin P.V., Loskutov A.B., Sevost'yanov A.A. Selective monitoring of power quality indicators in distribution networks with a large share of RES generation. *Elektrichestvo*. 2022;7:11-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2022-7-11-23>. EDN: TBYSOJ.
7. Fezzi C., Mosetti L. Size matters: estimation sample length and electricity price forecasting. *The Energy Journal*. 2020;41(4):231-254. <https://doi.org/10.5547/01956574.41.4.cfez>.
8. Goltos T. E., Syntetos A. A., Van der Laan E. Forecasting for remanufacturing: the effects of serialization. *Journal of Operations Management*. 2019;65(5):447-467. <https://doi.org/10.1002/joom.1031>.
9. Grushka-Cockayne Ya., Jose V.R.R. Combining prediction intervals in the M4 competition. *International Journal of Forecasting*. 2020;36(1):178-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.04.015>.
10. Hewamalage H., Bergmeir C., Bandara K. Recurrent neural networks for time series forecasting: current status and future directions. *International Journal of Forecasting*. 2021;37(1):388-427. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.06.008>.
11. Hong T., Pinson P. Energy forecasting in the big data world. *International Journal of Forecasting*. 2019;35(4):1387-1388. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.05.004>.
12. Issi F., Kaplan O. The determination of load profiles and power consumptions of home appliances. *Energies*. 2018;11(3):607. <https://doi.org/10.3390/en11030607>.
13. Nisha M. Demand side management for a household using resource scheduling. In: *International CET Conference on Control, Communication, and Computing*. 2018. <https://doi.org/10.1109/CETIC4.2018.8530929>.
14. Andrea G., Paoletti S., Vicino A. Models and techniques for electric load forecasting in the presence of demand response. In: *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2014;23(3):1087-1097. <https://doi.org/10.1109/TCST.2014.2361807>.
15. Opreş I., Costinaş S., Ionescu C., Nistoran D. The household energy consumer in a smart metering environment. In: *9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*. 7–9 May 2015, Bucharest. Bucharest: IEEE; 2015, p. 43-48. <https://doi.org/10.1109/ATEE.2015.7133677>.
16. Kim Jangkyum, Han Jaesob, Kim Nakyoung, Kim Minkyung, Choi Junkyun. Analysis of power usage at household and proper energy management. In: *International Conference on Information and Communication Technology Convergence*. 17–19 October 2018, Jeju. Jeju: IEEE; 2018, p. 450-456. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2018.8539459>.
17. Senyuk M., Safaraliev M., Gulakhmadov, A., Ahyoev, J. Application of the conditional optimization method for the synthesis of the law of emergency control of a synchronous generator steam turbine operating in a complex-closed configuration power system. *Mathematics*. 2022;10(21):3979. <https://doi.org/10.3390/math10213979>.
18. Tavarov S.S., Sidorov A.I., Kalgina Y.V. Model and algorithm of electricity consumption management for household consumers in the republic of Tajikistan. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*. 2020;7(4):520-526. <https://doi.org/10.18280/mmep.070403>.
19. Tavarov S.Sh. Method for projecting household electricity consumption in the Republic of Tajikistan. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika = Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering*. 2020;20(2):28-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/power200203>. EDN: HIOFYO.
20. Tavarov S.Sh. Artificial neural network training algorithm for factor-based prediction of electricity consumption in the household sector. *Elektrichestvo*. 2022;3:30-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2022-3-30-38>. EDN: MDFRLG.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Таваров Саиджон Ширалиевич,

к.т.н.,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности,
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет),
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Россия
✉ tabarovsaid@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2875-2752>

Сидоров Александр Иванович,

д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой безопасности
жизнедеятельности,
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет),
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Россия
sidorovai@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5024-6728>

Суворов Иван Флегонтович,

д.т.н., профессор,
профессор кафедры энергетики,
Забайкальский государственный университет,
672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, Россия
ivan.suvorov.1947@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5024-6728>

Святых Андрей Борисович,

к.т.н.,
первый заместитель генерального директора ООО
«Уралэнергосбыт»,
454080, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 26А, Россия
svyatykh@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2875-2752>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.04.2023 г.; одобрена после рецензирования 30.05.2023 г.; принята к публикации 04.07.2023 г.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Saidjon Sh. Tavarov,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Life Safety,
South Ural State University (National Research University),
76, Lenin pr., Chelyabinsk 454080, Russia
✉ tabarovsaid@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2875-2752>

Aleksandr I. Sidorov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Life Safety,
South Ural State University (National Research University),
76, Lenin pr., Chelyabinsk 454080, Russia
sidorovai@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5024-6728>

Ivan F. Suvorov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Power Engineering,
Transbaikal State University,
30, Aleksandro-Zavodskaya St., Chita 672039, Russia,
ivan.suvorov.1947@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5024-6728>

Andrey B. Svyatykh,

Cand. Sci. (Eng.),
First Deputy General Director of Uralenergosbyt LLC,
26A, Entuziastov St., Chelyabinsk 454080, Russia
svyatykh@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2875-2752>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 21.04.2023; approved after reviewing 30.05.2023; accepted for publication 04.07.2023.