

Научная статья

УДК 519.213

EDN TKJVFV

DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(4).457-464



А.А. Юменчук

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Влияние электроотопления на прогнозные значения энергопотребления в жилом секторе

Аннотация. Для решения задачи прогнозирования энергопотребления коммунально-бытового сектора предложен способ моделирования суточных графиков электрических нагрузок в жилом секторе на основе теории сверток. Представлено два прогноза энергопотребления, в первом из которых в роли потребителей выступают квартиры городских домов, подключенных к централизованной системе отопления, а во втором — сельские дома, оборудованные электроотоплением. Выполнено сравнение смоделированного графика с реальным энергопотреблением населенного пункта, по итогам которого продемонстрирована эффективность использования предлагаемой модели для обеспечения прогнозирования с достаточной точностью.

Ключевые слова. График энергопотребления, стохастические модели, прогнозирование спроса, электрическое отопление, интеллектуальная сеть.

Информация о статье. Дата поступления: 2 октября 2024 г.; дата принятия к публикации: 16 декабря 2024 г.; дата онлайн-размещения: 24 декабря 2024 г.

Original article

А.А. Yumenchuk

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

Influence of Electric Heating on Forecasted Values of Energy Consumption in the Residential Sector

Abstract. The article proposes a method for modeling daily schedules of electrical loads in the residential sector based on the theory of convolutions. Modeling is carried out to solve the problem of forecasting energy consumption in the residential sector. Two forecasts of energy consumption are presented, in the first of which apartments of urban houses connected to a centralized heating system act as consumers, and in the second — rural houses equipped with electric heating. The author compares the simulated graph with the actual energy consumption of the settlement. The effectiveness of using the proposed model to ensure forecasting with sufficient accuracy is demonstrated.

Keywords. Electric load profile, stochastic models, demand response, electric heating, smart grid.

Article info. Received 2 October, 2024; Accepted 16 December, 2024; Available online 24 December, 2024.

Введение

Точное прогнозирование потребления электроэнергии позволяет спланировать развитие и модернизацию всей энергосистемы, обеспечить ее стабильную работу и снизить экономические издержки. Однако прогнозирование невозможно без исследования и моделирования энергопотребления коммунально-бытового сектора, объемы потребления в котором зависят от местоположения потребителя, времени года, времени суток, режима трудовой деятельности населения, дня недели и большого числа других, в том числе вероятностных случайных факторов. Моделирование в большинстве случаев производится на основе экспериментальных данных об уровнях энергопотребления объектов, этот процесс требует больших трудозатрат и значительного количества времени. Поэтому задачи, связанные с созданием вероятностных моделей потребления электроэнергии и оптимизацией расчетов при прогнозировании, не теряют свою актуальность. Вероятностные модели энергопотребления рассматривались в различных научных трудах, в некоторых из них в роли потребителя электроэнергии аналогично рассматривался коммунально-бытовой сектор [1–4].

Прогнозирование энергопотребления объектов, подключенных к централизованной системе теплоснабжения

Автором на основе теории сверток была построена модель, позволяющая прогнозировать энергопотребление коммунально-бытовых потребителей [5]. На рис. 1 приведены графики функции энергопотребления 500 квартир в многоэтажных городских домах за 24 ч одних суток при разных значениях Δt — экспоненциальной полуширины распределения, характеризующей сдвиг по времени включения устройств.

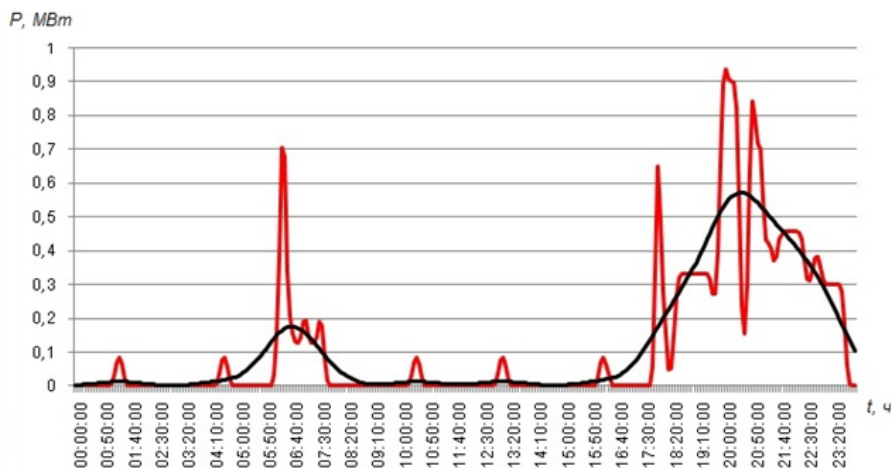


Рис. 1. Функция энергопотребления $F(t)$ для 500 городских квартир, $\Delta t = 0.1$ ч (красным); $\Delta t = 1$ ч (черным)

Графики энергопотребления одно-, двух- и трехкомнатных квартир практически идентичны, поскольку приборы, характеризующиеся наибольшей потребляемой мощностью, такие как электроплиты, чайники, стиральные и посудомоечные машины представлены в подавляющем большинстве квартир в единичном экземпляре. Отличия же в большинстве случаев обусловлены увеличением количества осветительных приборов. Так как современные светодиодные лампы обладают достаточно высокой энергоэффективностью, то их влияние на график прогнозируемого энергопотребления незначительно.

Определение наличия электроотопления на ячейке бытовых потребителей

Актуальность рассмотрения этого вопроса обусловлена тем, что большая часть территории Российской Федерации располагается в суровых климатических условиях с продолжающимися большую часть календарного года холодами. Этот факт придает вопросам теплоснабжения особую социальную значимость, критически важную для жилищного сектора.

В качестве средств электроотопления наибольшее распространение к настоящему времени получили электрические котлы, системы теплых полов и электроконвекторы. При использовании этих устройств жители могут самостоятельно регулировать уровень обогрева помещений, снижая температуру нагревательных элементов в дневное время суток и увеличивая в ночное. Благодаря этому население имеет возможность поддерживать комфортную температуру дома, в том числе устанавливая в комнатах различный уровень поддерживаемой системами обогрева температуры, тем самым внося изменения в свой график потребления электроэнергии и уменьшая счета за коммунальные услуги. На рис. 2 приведены графики, предоставленные Иркутскими электрическими сетями для одного ввода ячейки, обслуживающей поселок на 500 сельских домов и садовых участков. На графиках отражено энергопотребление поселка в самый теплый и в самый холодный дни весеннего месяца. Хорошо заметно, что в ночное время уровень энергопотребления практически идентичен. В светлое время суток самого теплого дня месяца, в период бодрствования людей, заметен значительный спад энергопотребления, что подтверждает тот факт, что жители действительно активно следят за расходами электроэнергии на отопление.

Разница между дневным максимумом и минимумом энергопотребления в самый холодный день будет равна потреблению домов без учета электроотопления. Исходя из графиков, данная величина составляет $\approx 0,6$ МВт. Это позволяет сделать вывод о том, что максимум функции энергопотребления, наблюдаемый на рис. 1 для 500 городских квартир, достаточно точно отображает реальный уровень энергопотребления.

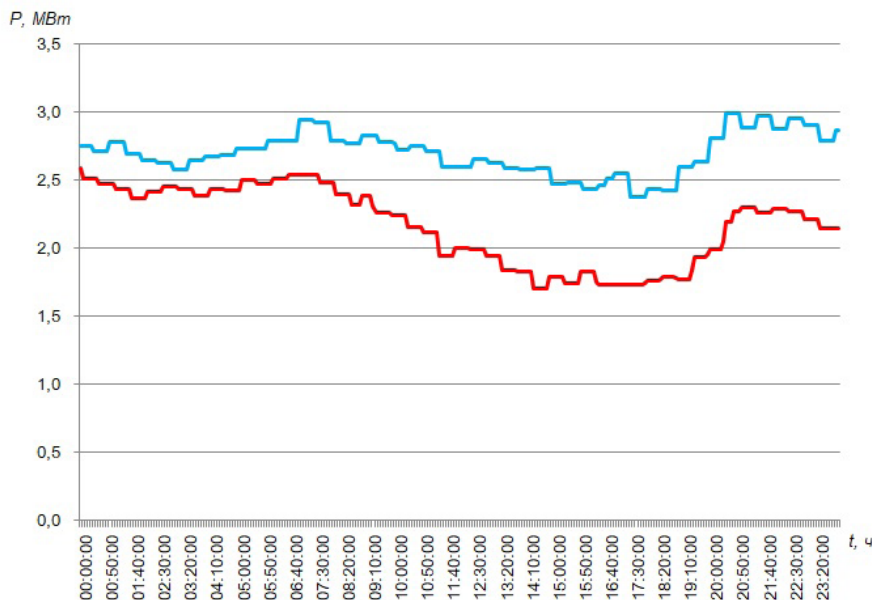


Рис. 2. Графики энергопотребления поселка в самый теплый день месяца (красным) и в самый холодный день месяца (синим)

Таким образом, величина, показывающая минимум энергопотребления в самый холодный день месяца, характеризует затраты электроэнергии жителями на обогрев домов. Учитывая, что в населенном пункте около полутысячи построек, получаем среднюю величину затрат на обогрев в 5 кВт на жилой дом, что представляет собой разумный уровень расходов электроэнергии на обогрев жилого дома в весенний месяц.

Это подтверждается также проведенными исследованиями, результатами которых являются выводы о том, что уровень энергопотребления коммунально-бытового сектора в населенных пунктах начинает расти в осенний период, достигает пика в зимний и идет на спад в весенний период, а минимум годового энергопотребления фиксируется в летние месяцы [6]. Контроль населением за затратами электроэнергии на отопление также приводит к снижению нагрузки на энергосистему, и в масштабах населенного пункта уменьшает риск отключений электроэнергии [7–9].

Прогнозирование энергопотребления объектов, оборудованных автономными системами электроотопления

Исходя из средней величины затрат на электроотопление в 5 кВт на жилой дом, на рис. 3 представлен график функции энергопотребления 500 сельских домов с электроотоплением, экспоненциальная полуширина распределения Δt при моделировании

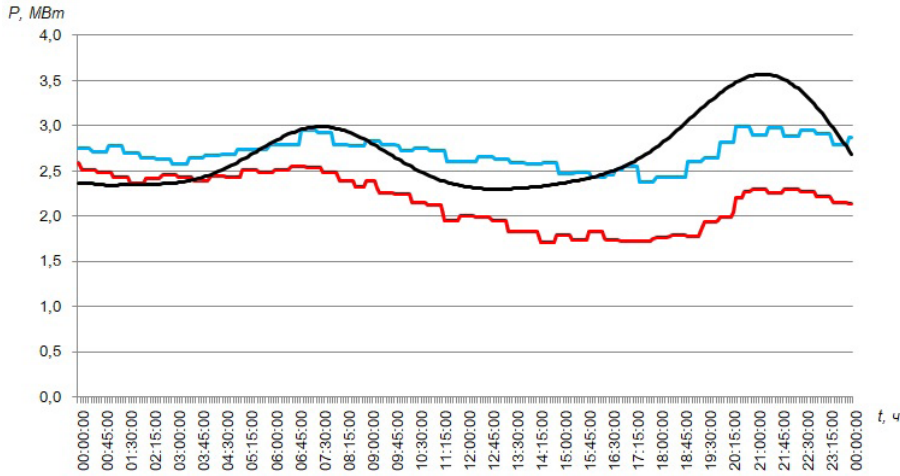


Рис. 3. Функция энергопотребления $F(t)$ для 500 сельских домов с электроотоплением (черным), графики энергопотребления поселка в самый теплый день месяца (красным) и в самый холодный день месяца (синим)

нагрузки принималась в пределах от 2 до 4 ч, что достаточно точно характеризует сдвиг по времени включения приборов потребителями коммунально-бытового сектора.

Проведено сравнение смоделированного графика с реальным энергопотреблением в самый теплый и самый холодный день весеннего месяца, по результатам которого выявлено, что предложенная модель графика электрической нагрузки в достаточной степени отображает реальную картину, учтены утренний и вечерний пики энергопотребления, а также практически идентична суммарная величина расходов мегаватт-часов электроэнергии населенным пунктом за одни сутки.

Присутствие на графиках энергопотребления жилых домов утренних и вечерних пиков также подтверждается соответствующими исследованиями и наблюдениями [1; 4; 10].

Следует отметить, что в случае сравнения графиков энергопотребления городских квартир и сельских домов сразу видна значительная разница в уровне энергопотребления, поскольку большинство сельских домов не имеют доступа к системе централизованного отопления, вместо которого население использует автономные системы отопления.

Выводы

В статье предложен способ моделирования суточных графиков электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей на основе теории сверток. Выполнено сравнение смоделированно-

го графика с реальным энергопотреблением населенного пункта, по итогам которого продемонстрирована эффективность использования предлагаемой модели, обеспечивающей отображение объемов потребляемой электроэнергии и процессов изменения электрических нагрузок в жилых зданиях с достаточной точностью. Приведен пример определения среднего уровня затрат на электроотопление, исходя из достоверной информации об уровнях энергопотребления в самый холодный и самый теплый дни холодного периода года.

Точность прогнозирования энергопотребления можно увеличить с помощью интеллектуальных счетчиков и измерительных блоков-ваттметров. В том числе, в последнее время государством совершаются шаги в сторону более широкого распространения интеллектуальных счетчиков, а возможности их контроля за расходами потребителей и преимущества перед обычными счетчиками привлекают энергосбытовые компании, которые в настоящий момент активно устанавливают подобные устройства в сельской местности. В то же время, такие интеллектуальные счетчики уже широко используются на промышленных объектах [5; 11].

С использованием вышеуказанной модели возможно прогнозировать энергопотребление за длительные периоды, а надежный прогноз позволяет точно спланировать объемы выработки электроэнергии, снизить экономические издержки и минимизировать потери.

Список использованной литературы

1. Тарнижевский М.В. Моделирование суточных графиков электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей методом ортогональных разложений / М.В. Тарнижевский, В.И. Михайлов // *Электричество*. — 1985. — № 5. — С. 66–68.
2. Доброго К.В. Модель электрической нагрузки жилищно-коммунального объекта для исследования систем «генератор — накопитель — потребитель» методом Монте-Карло / К.В. Доброго. — DOI 10.21122/2227-1031-2017-16-2-160-170. — EDN ZDUUCT // *Наука и техника*. — 2017. — Т. 16, № 2. — С. 160–170.
3. Построение стохастической модели бытовой нагрузки на примере водонагревателя / Б.Ф. Кузнецов, Ю.Ю. Клибанова, С.В. Сукьясов, В.В. Луговнина. — DOI 10.21285/1814-3520-2019-5-958-966. — EDN YDNCJH // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. — 2019. — Т. 23, № 5 (148). — С. 958–966.
4. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции / Ю.И. Солуянов, А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин, В.И. Солуянов. — EDN OOUAON // *Вопросы электротехнологии*. — 2021. — № 2 (31). — С. 57–67.
5. Боровский А.В. Моделирование стохастической нагрузки в жилом секторе / А.В. Боровский, А.А. Юменчук. — DOI 10.26102/2310-6018/2024.45.2.034. — EDN NTQSA Y // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. — 2024. — Т. 12, № 2 (45). — С. 34.
6. Лозинская А.М. Прогнозирование электропотребления объединенной энергосистемы: учет сезонных колебаний / А.М. Лозинская, А.Ю. Редькина, Е.А. Шенкман // *Прикладная эконометрика*. — 2020. — № 4 (60). — С. 5–25. — DOI 10.22394/1993-7601-2020-60-5-25. — EDN PUZXBE.

7. Demand Side Management Techniques for Home Energy Management Systems for Smart Cities / M. Hussain, R. Akram, Z. Memon [et al]. — DOI 10.3390/su132111740 // Sustainability. — 2021. — Vol. 13, no. 21. — P. 11740.
8. Cortés-Cediel M. Analyzing Citizen Participation and Engagement in European Smart Cities / M. Cortés-Cediel, I. Cantador, M. Bolívar. — DOI 10.1177/0894439319877478 // Social Science Computer Review. — 2021. — Vol. 39, no. 4. — P. 592–626.
9. Mansouri M. Impact of Demand Response on Reliability Enhancement in Distribution Networks / M. Mansouri, M. Simab, B. Bahmani. — DOI 10.3390/su132313201 // Sustainability. — 2021. — Vol. 13, no. no. 23. — P. 13201.
10. Соловьева А.С. Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов / А.С. Соловьева, Г.К. Шведов. — DOI 10.14529/power230103. — EDN WNEGUM // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. — 2023. — Т. 23, № 1. — С. 27–37.
11. Боровский А.В. Стохастические модели потребления электроэнергии / А.В. Боровский, А.А. Юменчук. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(1).31-46. — EDN YNLLUE // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2024. — Т. 6, № 1. — С. 31–46.

References

1. Tarnizhevskii M.V., Mikhailov V.I. Modeling of Daily Schedules of Electrical Loads of Public Utility Consumers Using the Method of Orthogonal Decompositions. *Elektrichestvo = Electricity*, 1985, no. 5, pp. 66–68. (In Russian).
2. Dobrego K.V. Model for Electric Load of Community Housing Projects to Investigate "Generator — Accumulator — Consumer" System While Using Monte-Carlo Method. *Nauka i tekhnika = Science and Technique*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 160–170. (In Russian). EDN: ZDUUCT. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-160-170.
3. Kuznetsov B.F., Klibanova Yu.Yu., Sukyasov S.V., Lugovnina V.V. Building a Stochastic Model of Residential Load on Example of a Water Heater. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 958–966. (In Russian). EDN: YDNCJH. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-5-958-966.
4. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., Soluyanov V.I. Analysis of Electric Loads in Multi-Apartment Residential Complexes During an Outbreak of Coronavirus Disease. *Voprosy ehlektrotekhnologii = Electrical Engineering Issues*, 2021, no. 2, pp. 57–67. (In Russian). EDN: OOUAOH.
5. Borovskiy A.V., Yumenchuk A.A. Stochastic Load Modeling in the Residential Sector. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 34. (In Russian). EDN: NTQSAY. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.034.
6. Lozinskaia A.M., Redkina A.Yu., Shenkman E.A. Electricity Consumption Forecasting for Integrated Power System with Seasonal Patterns. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*, 2020, no. 4, pp. 5–25. (In Russian). EDN: PUZX-BE. DOI: 10.22394/1993-7601-2020-60-5-25.
7. Hussain M., Akram R., Memon Z., Nazir M., Javed W., Siddique M. Demand Side Management Techniques for Home Energy Management Systems for Smart Cities. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 21, pp. 11740. DOI: 10.3390/su132111740.
8. Cortés-Cediel M., Cantador I., Bolívar M. Analyzing Citizen Participation and Engagement in European Smart Cities. *Social Science Computer Review*, 2021, vol. 39, no. 4, pp. 592–626. DOI: 10.1177/0894439319877478.

9. Mansouri M., Simab M., Bahmani B. Impact of Demand Response on Reliability Enhancement in Distribution Networks. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 23, pp. 13201. DOI: 10.3390/su132313201.

10. Solovyova A.S., Shvedov G.V. A Comparative Analysis of the Electric Load on Weekdays and Weekends of Multi-Apartment Buildings with Electric Stoves in the Power Supply Systems of Large Cities. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika = Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 27–37. (In Russian). EDN: WNEGUM. DOI: 10.14529/power230103.

11. Borovsky A.V., Yumenchuk A.A. Stochastic Models of Electricity Consumption. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 31–46. (In Russian). EDN: YNLLUE. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(1).31-46.

Информация об авторе

Юменчук Андрей Анатольевич — аспирант, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: andrey.yumenchuk@mail.ru.

Information about the Author

Andrey A. Yumenchuk — PhD Student, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: andrey.yumenchuk@mail.ru.

Для цитирования

Юменчук А.А. Влияние электроотопления на прогнозные значения энергопотребления в жилом секторе / А.А. Юменчук. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(4).457-464. — EDN TKJVFV // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2024. — Т. 6, № 4. — С. 457–464.

For Citation

Yumenchuk A.A. Influence of Electric Heating on Forecasted Values of Energy Consumption in the Residential Sector. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2024, vol. 6, no. 4, pp. 457–464. (In Russian). EDN: TKJVFV. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(4).457-464.