

Научная статья
УДК 330.4
<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2026-1-130-2>
<https://elibrary.ru/fterwd>

Построение кластерной линейной регрессионной модели потребления электроэнергии в Сибирском федеральном округе

Сергей Иванович Носков^{1✉}, Сергей Вячеславович Беляев²,
Александра Романовна Чекалова³

^{1,2,3}Иркутский государственный университет путей сообщения,
Иркутск, Россия

^{1✉}sergey.noskov.57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4097-2720>

²bsv2001@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8824-9867>

³chekalova49@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3811-9051>

Аннотация. В работе дан краткий обзор публикаций по применению методов математического моделирования для анализа закономерностей влияния различных факторов на уровень регионального энергопотребления в некоторых странах. В частности, рассмотрены: применение многопараметрической регрессионной модели для детального изучения потребления электроэнергии в регионах Китая; методы анализа неоднородных панельных данных для изучения причинно-следственных связей между экономическим ростом, потреблением электроэнергии и показателями урбанизации; эконометрическое исследование потребления электроэнергии в жилых помещениях Португалии с акцентом на определении влияния на него характеристик жилья; восходящая стохастическая имитационная модель для анализа среднего профиля регулярного потребления электроэнергии в Испании в зависимости от количества членов семьи и дней недели. В статье разработана кластерная линейная регрессионная модель потребления электроэнергии в Сибирском федеральном округе Российской Федерации по пространственной выборке данных за 2023 г. Показано, что, если в качестве расстояния между расчетными и фактическими значениями зависимой переменной используется манхэттенское расстояние, задача оценивания параметров и расчета составов задающих соответствующие кластеры индексных множеств с помощью метода наименьших модулей сводится к задаче линейно-булева программирования. Построенная модель обладает высокой точностью, существенно превышающей точность обычной линейной регрессии. В качестве независимых переменных модели задействованы объем валового регионального продукта и суммарная мощность электростанций.

Ключевые слова: математическое моделирование, кластерная линейная регрессия, потребление электроэнергии, метод наименьших модулей, объем валового регионального продукта, мощность электростанций, оценивание параметров, задача линейно-булева программирования

Для цитирования: Носков С. И., Беляев С. В., Чекалова А. Р. Построение кластерной линейной регрессионной модели потребления электроэнергии в Сибирском федеральном

© Носков С. И., Беляев С. В., Чекалова А. Р., 2026

округе. *Вестник Череповецкого государственного университета*, 2026, № 1 (130), с. 26–35.
<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2026-1-130-2>; EDN: FTERWD

Construction of a cluster-based linear regression model for electricity consumption in the Siberian Federal District

Sergey I. Noskov^{1✉}, Sergey V. Belyaev², Aleksandra R. Chekalova³

^{1,2,3}Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russia

¹sergey.noskov.57@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4097-2720>

²bsv2001@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8824-9867>

³chekalova49@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3811-9051>

Abstract. The paper provides a brief review of publications on the application of mathematical modeling methods to analyze the patterns of influence of various factors on regional energy consumption levels in several countries. Specifically, the following studies are examined: the use of a multiparameter regression model for a detailed analysis of electricity consumption in Chinese regions; methods for analyzing heterogeneous panel data to study causal relationships between economic growth, electricity consumption, and urbanization indicators; an econometric study of residential electricity consumption in Portugal, focusing on identifying the influence of housing characteristics; and a bottom-up stochastic simulation model for analyzing average regular electricity consumption profiles in Spain based on household size and day of the week. The article develops a cluster-based linear regression model for electricity consumption in the Siberian Federal District of the Russian Federation using spatial data for 2023. It is shown that when Manhattan distance is used as the metric between predicted and actual values of the dependent variable, the problem of parameter estimation and determining cluster-indexing sets via the least absolute deviation method reduces to a linear Boolean programming problem. The constructed model demonstrates high accuracy, significantly surpassing that of conventional linear regression. Independent variables in the model include gross regional product and total power plant capacity.

Keywords: mathematical modeling, cluster-based linear regression, electricity consumption, least absolute deviation method, gross regional product, power plant capacity, parameter estimation, linear Boolean programming problem

For citation: Noskov S. I., Belyaev S. V., Chekalova A. R. Construction of a cluster-based linear regression model for electricity consumption in the Siberian Federal District. *Cherepovets State University Bulletin*, 2026, no. 1 (130), pp. 26–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2026-1-130-2>; EDN: FTERWD

Введение

Важным показателем социально-экономического развития любого государства является уровень энергопотребления как в его масштабах в целом, так и на уровне отдельных регионов. Для многостороннего исследования закономерностей, влияющих на этот фактор, часто весьма эффективно привлекаются методы математического, в частности регрессионного, моделирования и прогнозирования. Так, в работе¹

¹ Wang M., Wang W., Wu L. Application of a new grey multivariate forecasting model in the forecasting of energy consumption in 7 regions of China // *Energy*. 2022. Vol. 243. Pp. 123024.

описано применение многопараметрической регрессионной модели AGMC для детального изучения потребления электроэнергии в 13 провинциях из 7 различных регионов Китая. В статье¹ изучаются причинно-следственные связи между экономическим ростом, потреблением электроэнергии и показателями урбанизации. Методы анализа неоднородных панельных данных используются для того, чтобы проанализировать неоднородность между тремя экономическими регионами Китая с 2000 по 2017 годы. Неоднородность причинности по Грейнджеру, обнаруженная между этими тремя переменными, варьируется в восточных, центральных и западных экономических регионах Китая. В статье² представлено эконометрическое исследование потребления электроэнергии в жилых помещениях Португалии с акцентом на определении влияния на него характеристик жилья. Связь между характеристиками жилья и потреблением электроэнергии в жилых помещениях на душу населения оценивается в разных масштабах с использованием двух различных баз данных: первая включает данные на уровне муниципалитета за 2001 год, вторая – последнее исследование потребительских расходов в Португалии, которое было проведено в 2005 и 2006 годах. В публикации³ на основе большого набора данных по странам, охватывающего период 1971–2007 гг., изучаются стохастические модели конвергенции потребления электроэнергии на душу населения. Наряду с безусловной β -конвергенцией используется критерий σ -конвергенции и простая модель условной β -конвергенции. В частности, выявлено, что сильная конвергенция в использовании электроэнергии связана с гораздо более высокими темпами глобального роста, чем слабоконвергентное использование энергии. Исследование⁴ посвящено анализу почасового потребления электроэнергии европейскими странами в сети Европейской системы передачи электроэнергии (ENTSO-E) с 2006 по 2018 год. Предлагается метод обнаружения выбросов для определения особых дней и модулированная модель расширения ряда Фурье для разделения промышленного и бытового потребления.

В статье⁵ изучается средний профиль регулярного потребления электроэнергии в Испании в зависимости от количества членов семьи и дней недели. Представлена новая восходящая стохастическая имитационная модель, подкрепленная данными Национального института статистики Испании. Результаты исследований весьма

¹ Wang N., Fu X., Wang S. Economic growth, electricity consumption, and urbanization in China: A tri-variate investigation using panel data modeling from a regional disparity perspective // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 318. Pp. 128529.

² Wiesmann D., Azevedo I. L., Ferrão P., Fernández J. E. Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models // Energy Policy. 2011. Vol. 39, no. 5. Pp. 2772–2779.

³ Mohammadi H., Ram R. Cross-country convergence in energy and electricity consumption, 1971–2007 // Energy Economics. 2012. Vol. 34, no. 6. Pp. 1882–1887.

⁴ Yukseltan E., Aktunc E. A., Bilge A. H., Yucekaya A. An Overview of Electricity Consumption in Europe: Models for Prediction of the Electricity Usage for Heating and Cooling // International Journal of Energy Economics and Policy. 2024. Vol. 14, no. 2. Pp. 96–111.

⁵ Escobar P., Martínez E., Saenz-Diez J. C., Jiménez E., Blanco J. Modeling and analysis of the electricity consumption profile of the residential sector in Spain // Energy and Buildings. 2020. Vol. 207. Pp. 109629.

полезны для анализа потребления энергии, энергоэффективности, управления спросом, почасовых тарифов, энергетической политики и т. д. В публикации¹ анализируется влияние потребления энергии на динамику промышленного развития регионов Индонезии с привлечением инвестиций и инфляции в качестве контрольных переменных. Применяются статическая и динамическая модели панельных данных для 34 провинций за 2012–2019 гг. В исследовании² применяется недавнее достижение в панельном анализе данных для исследования взаимосвязи между потреблением энергии и реальным доходом в регионах Италии с использованием агрегированной производственной функции и контролем основного капитала. На основе теста гетерогенной панельной коинтеграции, предложенного Педрони, выделяется долгосрочная равновесная связь между переменными. На основе методов кластерного анализа разработаны две типологии региональных единиц в Греции, в которых использованы их энергетические характеристики, такие, как потребление электроэнергии в различных энергетических секторах, включая бытовой, промышленный, коммерческий и сельскохозяйственный, а также количество и установленная мощность установок возобновляемых источников энергии³.

В рамках указанной проблематики интерес представляют результаты, полученные в ходе исследования работ по электро- и энергопотреблению⁴.

Цель настоящей работы состоит в разработке кластерной линейной регрессионной модели потребления электроэнергии в Сибирском федеральном округе Российской Федерации по пространственной выборке данных.

¹ Hadi M. F., Hidayat M., Widiarsih D., Murialtih N. The Role of Electricity and Energy Consumption Influences Industrial Development between Regions in Indonesia // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2021. Vol. 11, no. 3. Pp. 403–408.

² Romano A. A., Scandurra G. Dynamics of economic growth and electricity consumption at regional level: the Italian case // *Energy Systems*. 2011. Vol. 2. Pp. 143–150.

³ Kyriakopoulos G. L., Arabatzis G., Tsialis P., Ioannou K. Electricity consumption and RES plants in Greece: Typologies of regional units // *Renewable Energy*. 2018. Vol. 127. Pp. 134–144.

⁴ Лебедев Ю. А., Летагина Е. Н., Рузанов А. И., Сидоренко Ю. А. Регрессионный анализ энергопотребления в промышленных регионах // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки*. 2014. № 3 (35). С. 29–32; Лозинская А. М., Редькина А. Ю., Шенкман Е. А. Прогнозирование электропотребления объединенной энергосистемы: учет сезонных колебаний // *Прикладная эконометрика*. 2020. № 4 (60). С. 5–25; Устюгов Н. В. Разработка прогноза электропотребления предприятия с учетом часов пиковой нагрузки в регионе // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. 2020. Т. 2. С. 59–63; Карпенко С. М., Карпенко Н. В. Анализ и моделирование регионального электропотребления с учетом влияния внешних факторов // *Энергобезопасность и энергосбережение*. 2021. № 3. С. 12–17; Пержабинский С. М., Карамов Д. Н. Оценка надежности электроэнергетических систем с ветровыми электростанциями и накопителями энергии // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2018. № 5. С. 15–25. Кирпичникова И. М., Соломахо К. Л. Исследование методов прогнозирования электропотребления сбытового предприятия // *Электротехнические системы и комплексы*. 2014. № 3 (24). С. 39–43. Землячева Е. А. Оценка факторов и прогнозирование перспектив устойчивого развития ТЭК в регионах России при их переходе к умной энергетике // *Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)*. 2024. Т. 31, № 3. С. 112–125.

Основная часть

Сибирский федеральный округ (СФО) обладает весьма значительным потенциалом развития. Он включает в себя 10 республик, краев и областей, а его площадь составляет свыше 4,361 млн. км² – около 25 % территории страны. В значительной мере уровень социально-экономического развития СФО, как и любого другого крупного территориального образования, определяется объемом потребляемой электроэнергии. Одними из важнейших влияющих на него факторов являются объем валового регионального продукта (ВРП) и суммарная мощность электростанций. Характер этого влияния в настоящей работе будем исследовать с помощью кластерной линейной регрессионной модели вида¹:

$$y_k = \alpha_0^j + \alpha_1^j x_{k1} + \alpha_2^j x_{k2} + \varepsilon_k^j, \quad j = \overline{1, r}, \quad k \in P^j, \quad (1)$$

где r – заданное число кластеров, $\alpha_i^j, j = \overline{1, r}, i = \overline{0, 2}$ – подлежащие определению оценки параметров, заранее неизвестные индексные множества $P^j \subset \{1, 2, \dots, n\}, j = \overline{1, r}$ содержат номера входящих в соответствующие кластеры наблюдений, y – зависимая, а $x_i, i = \overline{1, 2}$ – независимые переменные (в нашем случае y – объем потребления электроэнергии, млн. кВт час, x_1 – объем ВРП, млрд. руб., x_2 – мощность электростанций, млн. кВт), k – номер наблюдения, n – их количество. Множества $P^j, j = \overline{1, r}$ не могут пересекаться, а их объединение должно совпадать со всем множеством номеров наблюдений выборки:

$$\bigcup_{j=1}^r P^j = \{1, 2, \dots, n\}, P^i \cap P^j = \emptyset, i \neq j.$$

Введем обозначения: $A = \|\alpha_i^j\|, j = \overline{1, r}, i = \overline{0, 2}; \Xi = \|\sigma_{kj}\|, k = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}$, где

$$\sigma_{kj} = \begin{cases} 1, & k \in P^j \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Если в качестве расстояния между расчетными и фактическими значениями зависимой переменной принять городское расстояние, оценивание параметров и расчет составов индексных множеств $P^j, j = \overline{1, r}$ регрессии (1) с помощью метода наименьших модулей (МНМ) осуществляется путем решения следующей оптимизационной задачи с вещественными и булевыми переменными²:

¹ Носков С. И., Беляев С. В. Оценка непротиворечивости кластерной линейной регрессионной модели // Вестник Технологического университета. 2025. Т. 28, № 2, С. 88–91.

² Там же.

$$G(A, \Xi) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^r \sigma_{kj} \left| \varepsilon_k^j \right| \quad (2)$$

В качестве информационной базы исследования используем статистическую информацию по выделенным переменным за 2023 г. по всем десяти субъектам СФО¹ (табл. 1).

Таблица 1

Статистическая информация

№	Субъект	y	x ₁	x ₂
1	Республика Алтай	816,9	92	0,1
2	Республика Тыва	917,6	108	0,1
3	Республика Хакасия	17101,8	349	7,2
4	Алтайский край	10733,7	945	1,6
5	Красноярский край	59810,9	3319	18,9
6	Иркутская область	66813,6	2357	14
7	Кемеровская область	34214,2	2189	5,5
8	Новосибирская область	17708,3	1939	3,1
9	Омская область	11330,8	947	1,7
10	Томская область	8666,5	809	1,2

Таким образом, $n = 10$. Будем исходить из разбиения всей выборки данных на два кластера ($r = 2$).

Как показано в статье Носкова С. И., Беляева С. В. «Оценка непротиворечивости кластерной линейной регрессионной модели»², решение оптимизационной задачи (2) в этом случае сводится к следующей задаче линейно-булева программирования (ЛБП):

$$\alpha_0^j + \alpha_1^j x_{k1} + \alpha_2^j x_{k2} - M \sigma_{kj} + u_k \geq y_k - M, \quad j = \overline{1,2}, \quad k = \overline{1,10}, \quad (3)$$

$$\alpha_0^j + \alpha_1^j x_{k1} + \alpha_2^j x_{k2} + M \sigma_{kj} - u_k \leq M + y_k, \quad j = \overline{1,2}, \quad k = \overline{1,10}, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^2 \sigma_{kj} = 1, \quad k = \overline{1,10}, \quad (5)$$

¹ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 24.03.2025). Федеральная статистическая служба (Федстат). URL: <https://fedstat.ru/> (дата обращения: 24.03.2025).

² Носков С. И., Беляев С. В. Оценка непротиворечивости кластерной линейной регрессионной модели // Вестник Технологического университета. 2025. Т. 28, № 2. С. 88–91.

$$s_{kj} \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, 2}, \quad k = \overline{1, 10}, \quad (6)$$

$$u_k \geq 0, \quad k = \overline{1, 10}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{10} u_k \rightarrow \min. \quad (8)$$

Здесь M – заранее заданное большое положительное число (примем $M = 1\,000\,000$).

В результате решения задачи ЛБП (3) – (8) получим следующую кластерную линейную регрессионную модель объема потребления электроэнергии в СФО:

$$y_k = 83,02 + 5,61x_{k1} + 2174,4x_{k2} + \varepsilon_k^1, \quad k \in P^1, \quad (9)$$

$$P^1 = \{1, 2, 3, 5, 8\},$$

$$y_k = -1693,5 + 7,12x_{k1} + 3694,5x_{k2} + \varepsilon_k^2, \quad k \in P^2, \quad (10)$$

$$P^2 = \{4, 6, 7, 9, 10\},$$

$$E = 0,43 \text{ \%}.$$

Здесь E – средняя процентная ошибка.

Анализ КЛР (9), (10) показывает, что она обладает весьма высоким качеством аппроксимации. При этом регрессионные коэффициенты в частных регрессиях различаются весьма существенно. В первый кластер вошли Республики Алтай, Тыва, Хакасия, Красноярский край и Новосибирская область, а во второй – Алтайский край, Иркутская, Кемеровская, Омская и Томская области. Разумеется, такое разделение правомерно лишь по отношению к кластерной линейной регрессионной модели (9), (10).

Имеет смысл сравнить КЛР (9), (10) с обычной линейной регрессией, также построенной с помощью МНМ. Она примет вид:

$$y_k = -129,1 + 8,1x_{k1} + 2000,1x_{k2} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 10}, \quad E = 15,3 \text{ \%}. \quad (11)$$

Очевидно, что модель (11) сильно уступает по точности КЛР (9), (10).

Выводы

В работе построена кластерная линейная регрессионная модель потребления электроэнергии в Сибирском федеральном округе Российской Федерации по пространственной выборке данных за 2023 г. Показано, что, если в качестве расстояния между расчетными и фактическими значениями зависимой переменной используется городское расстояние, задача оценивания параметров и расчета составов задающих соответствующие кластеры индексных множеств с помощью метода наименьших модулей сводится к задаче линейно-булева программирования. Построенная

модель обладает высокой точностью, существенно превышающей точность обычной линейной регрессии.

Список литературы / References

Землячева Е. А. Оценка факторов и прогнозирование перспектив устойчивого развития ТЭК в регионах России при их переходе к умной энергетике. *Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)*, 2024, т. 31, № 3, с. 112–125.

Zemliacheva E. A. Assessment of factors and forecasting the prospects for sustainable development of the FEC in the regions of Russia during their transition to smart energy. *Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH)*, 2024, vol. 31, no. 3, pp. 112–125. (In Russ.)

Карпенко С. М., Карпенко Н. В. Анализ и моделирование регионального электропотребления с учетом влияния внешних факторов. *Энергобезопасность и энергосбережение*, 2021, № 3, с. 12–17.

Karpenko S. M., Karpenko N. V. Analysis and modeling of regional electric power consumption subject to influence of external factors. *Energy safety and energy economy*, 2021, no. 3, pp. 12–17. (In Russ.)

Кирпичникова И. М., Соломахо К. Л. Исследование методов прогнозирования электропотребления сбытового предприятия. *Электротехнические системы и комплексы*, 2014, № 3 (24), с. 39–43.

Kirpichnikova I. M., Solomakho K. L. Research of forecasting methods of electricity consumption in power enterprises. *Electrotechnical Systems and Complexes*, 2014, no. 3 (24), pp. 39–43. (In Russ.)

Лебедев Ю. А., Летягина Е. Н., Рузанов А. И., Сидоренко Ю. А. Регрессионный анализ энергопотребления в промышленных регионах. *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки*, 2014, № 3 (35), с. 29–32.

Lebedev Yu. A., Letiagina E. N., Ruzanov A. I., Sidorenko Yu. A. Regression analysis of energy consumption in industrial regions. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhny Novgorod. Series: Social Sciences*, 2014, no. 3 (35), pp. 29–32. (In Russ.)

Лозинская А. М., Редькина А. Ю., Шенкман Е. А. Прогнозирование электропотребления объединенной энергосистемы: учет сезонных колебаний. *Прикладная эконометрика*, 2020, № 4 (60), с. 5–25.

Lozinskaia A. M., Redkina A. Yu., Shenkman E. A. Electricity consumption forecasting for integrated power system with seasonal patterns. *Applied Econometrics*, 2020, no. 4 (60), pp. 5–25. (In Russ.)

Носков С. И., Беляев С. В. Оценка непротиворечивости кластерной линейной регрессионной модели. *Вестник Технологического университета*, 2025, т. 28, № 2, с. 88–91.

Noskov S. I., Beliaev S. V. Assessment of the consistency of a cluster linear regression model. *Herald of Technological University*, 2025, vol. 28, no. 2, pp. 88–91. (In Russ.)

Пержабинский С. М., Карамов Д. Н. Оценка надежности электроэнергетических систем с ветровыми электростанциями и накопителями энергии. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, 2018, № 5, с. 15–25.

Perzhabinsky S. M., Karamov D. N. Adequacy assessment of electric power systems with wind power stations and energy storages. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energetics*, 2018, no. 5, pp. 15–25. (In Russ.)

Устюгов Н. В. Разработка прогноза электропотребления предприятия с учетом часов пиковой нагрузки в регионе. *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*, 2020, т. 2, с. 59–63.

Ustiugov N. V. Performance of the electric power consumption of the enterprise taking into account peak load hours in the region. *Mathematical Methods in Technics and Technologies – ММТТ*, 2020, vol. 2, pp. 59–63. (In Russ.)

Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 24.03.2025).

Federal State Statistics Service (Rosstat). Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (In Russ.) (accessed: 24.03.2025).

Федеральная статистическая служба (Федстат). URL: <https://fedstat.ru/> (дата обращения: 24.03.2025).

Federal Statistical Service (Fedstat). Available at: <https://fedstat.ru/> (In Russ.) (accessed: 24.03.2025).

Escobar P., Martínez E., Saenz-Díez J. C., Jiménez E., Blanco J. Modeling and analysis of the electricity consumption profile of the residential sector in Spain. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 207, pp. 109629.

Hadi M. F., Hidayat M., Widiarsih D., Murialtih N. The role of electricity and energy consumption influences industrial development between regions in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 403–408.

Kyriakopoulos G. L., Arabatzis G., Tsialis P., Ioannou K. Electricity consumption and RES plants in Greece: Typologies of regional units. *Renewable Energy*, 2018, vol. 127, pp. 134–144.

Mohammadi H., Ram R. Cross-country convergence in energy and electricity consumption, 1971-2007. *Energy Economics*, 2012, vol. 34, no. 6, pp. 1882–1887.

Romano A. A., Scandurra G. Dynamics of economic growth and electricity consumption at regional level: the Italian case. *Energy Systems*, 2011, vol. 2, pp. 143–150.

Wang M., Wang W., Wu L. Application of a new grey multivariate forecasting model in the forecasting of energy consumption in 7 regions of China. *Energy*, 2022, vol. 243, pp. 123024.

Wang N., Fu X., Wang S. Economic growth, electricity consumption, and urbanization in China: A tri-variate investigation using panel data modeling from a regional disparity perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 318, pp. 128529.

Wiesmann D., Azevedo I. L., Ferrão P., Fernández J. E. Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy*, 2011, vol. 39, no. 5, pp. 2772–2779.

Yukseltan E., Aktunc E. A., Bilge A. H., Yucekaya A. An overview of electricity consumption in Europe: Models for prediction of the electricity usage for heating and cooling. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2024, vol. 14, no. 2, pp. 96–111.

Сведения об авторах

Сергей Иванович Носков – доктор технических наук, профессор; <https://orcid.org/0000-0003-4097-2720>, sergey.noskov.57@mail.ru, Иркутский государственный университет путей сообщения (д. 15, ул. Чернышевского, 664074 Иркутск, Российская Федерация); **Sergey I. Noskov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-4097-2720>, sergey.noskov.57@mail.ru, Irkutsk State Transport University (15, ul. Chernyshevsky, 664074 Irkutsk, Russia).

Сергей Вячеславович Беляев – зав. лабораторией; <https://orcid.org/0009-0005-8824-9867>, bsv2001@list.ru, Иркутский государственный университет путей сообщения (д. 15, ул. Чернышевского, 664074 Иркутск, Российская Федерация); **Sergey V. Belyaev** – Head of Laboratory, <https://orcid.org/0009-0005-8824-9867>, bsv2001@list.ru, Irkutsk State Transport University (15, ul. Chernyshevsky, 664074 Irkutsk, Russia).

Александра Романовна Чекалова – лаборант; <https://orcid.org/0009-0009-3811-9051>, chekalova49@gmail.com, Иркутский государственный университет путей сообщения (д. 15, ул. Чернышевского, 664074 Иркутск, Российская Федерация); **Aleksandra R. Chekalova** – Laboratory Assistant, <https://orcid.org/0009-0009-3811-9051>, chekalova49@gmail.com, Irkutsk State Transport University (15, ul. Chernyshevsky, 664074 Irkutsk, Russia).

Заявленный вклад авторов: авторы сделали разный вклад в подготовку публикации, что отражено в последовательности персоналий авторского коллектива. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors made different contributions to the preparation of the publication, which is reflected in the sequence of personalities of the authors' team. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.03.2025; одобрена после рецензирования 10.12.2025; принята к публикации 14.01.2026.

The article was submitted 31.03.2025; Approved after reviewing 10.12.2025; Accepted for publication 14.01.2026.