

УДК 339.97

## Анализ влияния климатических факторов на потребление электроэнергии предприятиями в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД»

**М. А. Андреева**

Омский государственный университет путей сообщения, Россия, 644046, Омск, пр. Карла Маркса, 35

**Для цитирования:** Андреева М. А. Анализ влияния климатических факторов на потребление электроэнергии предприятиями неперевозочного процесса ОАО «РЖД» // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 3. С. 34–44. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-34-44

### Аннотация

**Цель:** анализ затрат на потребление энергоресурсов предприятиями ОАО «РЖД» в разрезе по видам топлива, выявление наиболее затратного вида энергии. Систематизация факторов, влияющих на энергопотребление. Характеристика климатических факторов, влияющих на энергопотребление. Поставлена задача оценки возможности применения данных АСКУЭ для совершенствования системы анализа и планирования расхода электроэнергии в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД». Анализ климатических факторов, влияющих на потребление электроэнергии предприятием в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД». Выявление максимального временного интервала для проведения анализа данных об энергопотреблении. **Методы:** сбор информации о потреблении электроэнергии и изменении климатических характеристик. Основным методом исследования является метод корреляционного анализа, позволяющий выявить наиболее важные факторы воздействия на потребление электроэнергии. На основе коэффициента корреляции будет составлена корреляционная матрица с применением программного комплекса Statistica. **Результаты:** выявлены климатические факторы, в наибольшей степени влияющие на энергопотребление предприятием в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД». Уточнен максимально укрупненный интервал для анализа данных об энергопотреблении. **Практическая значимость:** предложены климатические факторы, на характеристики которых необходимо опираться при планировании потребления электроэнергии на предприятиях неперевозочного вида деятельности ОАО «РЖД». Данные факторы могут использоваться при дальнейшей разработке модели планирования потребления энергоресурсов. Также выявлен максимально укрупненный интервал для анализа факторов влияния, позволяющий получить точные результаты. Доказана возможность использования почасовых данных АСКУЭ для оценки и выявления климатических факторов, влияющих на потребление электроэнергии предприятиями неперевозочной деятельности.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, энергопотребление, электроэнергия, климатические факторы, предприятия железнодорожного транспорта, неперевозочный вид деятельности

Предприятия железнодорожного транспорта функционируют в условиях неопределенности, поэтому на современном этапе их развития все большую актуальность приобретает вопрос энергоэффективности и энергопотребления. С одной стороны, это обусловлено ограниченностью энергоресурсов, а также тенденцией сохранения и улучшения экологии, с другой стороны — постоянным ростом их стоимости. Рост стоимости энергоресурсов негативно сказывается на себестоимости и маржинальности услуг и, как следствие, на конечной стоимости услуг для потребителя [1].

Железнодорожный транспорт, по сравнению с автомобильным и воздушным видами, представляется как более экономичное решение для ТЭР пассажиров и грузов. Развитие и модернизация инфраструктуры, способствующая увеличению объемов перевозок, является неотъемлемой частью стратегии для оптимизации деятельности и показателей ОАО «РЖД», что потенцирует необходимость в непрерывном прогрессе. В контексте энергосбережения это особенно точно, так как активность в этой области способствует повышению рентабельности. Вклад ОАО «РЖД» в улучшение благосостояния и развитие России по мере развития предприятия, предполагается, будет усиливаться [2].

Рассмотрим затраты на потребление энергоресурсов ОАО «РЖД». На следующем рисунке представлены затраты предприятий железнодорожного транспорта на потребление энергоресурсов. Из рисунка видно, что затраты на потребление энергетических ресурсов в 2022 году составили 325 200,8 млн руб. Рост затрат на энергоресурсы в размере почти 10% является негативной тенденцией. Также можно сделать вывод, что наибольшие затраты приходятся на электроэнергию. Поэтому в последующем в исследовании будут рассматриваться потребление электроэнергии и факторы, влияющие на ее потребление.

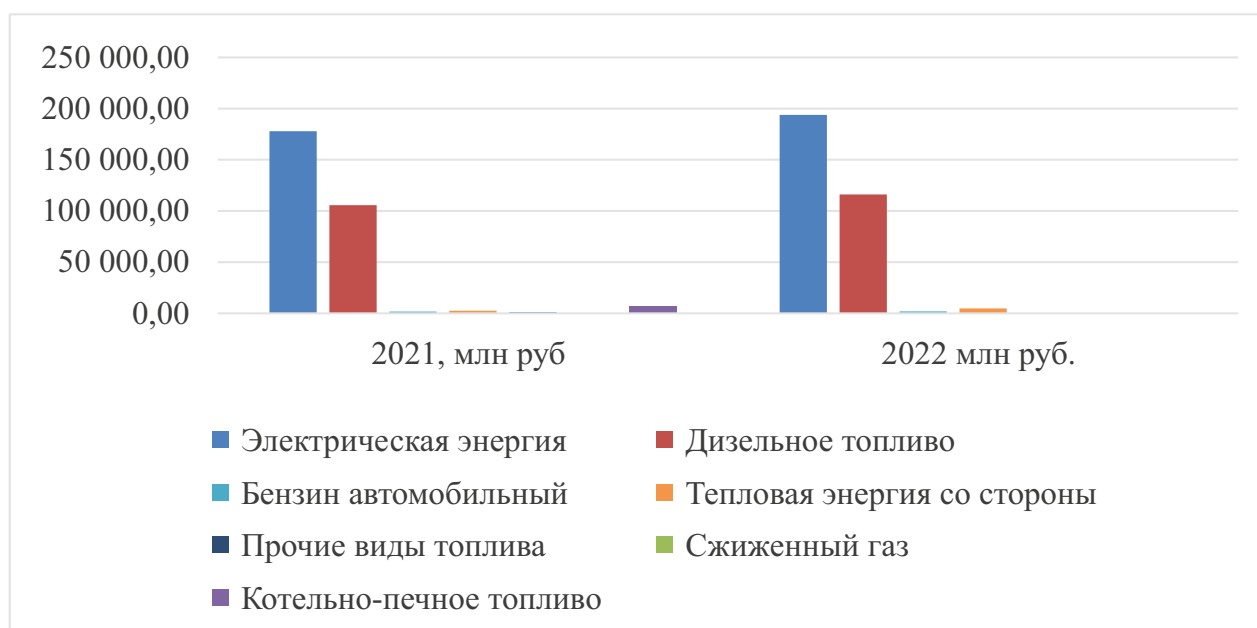


Рис. 1. Затраты на потребление энергетических ресурсов в ОАО «РЖД»

В настоящее время в соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» здания, сооружения и другие объекты ОАО «РЖД», потребляющие энергоресурсы, должны быть оснащены собственным прибором учета электроэнергии. За последние годы принят ряд нормативных актов, в частности Федеральный закон от 27.12.2018 № 522-ФЗ «О внесении изменений

в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации», Постановление Правительства РФ от 19.06.2020 № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)», Постановление Правительства РФ от 18.04.2020 № 554 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам совершенствования организации учета электрической энергии», которые устанавливают новые требования к системам учета электроэнергии. Так, расход электроэнергии должен фиксироваться на часовых интервалах, при этом должна быть реализована возможность передачи показаний счетчиков и результатов измерений. Данные требования реализованы в ОАО «РЖД» в виде автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

АСКУЭ в ОАО «РЖД» функционирует достаточно давно, однако ее возможности используются не в полной мере. В частности, данные о почасовом потреблении не используются в системе анализа и планирования расхода электроэнергии. На сегодняшний день минимальным периодом для нормирования является один месяц, а горизонт планирования — квартал и год.

В связи с этим в настоящем исследовании поставлена задача оценки возможности применения данных АСКУЭ для совершенствования системы анализа и планирования расхода электроэнергии в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД».

В ходе работы будут рассматриваться факторы, влияющие на потребление электроэнергии. Для того чтобы минимизировать потребление электроэнергии и повысить энергоэффективность деятельности ОАО «РЖД», необходимо выявить факторы, влияющие на потребление электроэнергии, а также систематизировать их по значимости и степени влияния.

Факторы, влияющие на потребление электроэнергии, можно разделить на две группы [3] (рис. 2).

Производственные факторы прямо пропорционально влияют на потребление электроэнергии, так как при увеличении количества работ потребление возрастает. Влияние климатических факторов имеет различную направленность на энергопотребление. На рис. 3 представлена экспертная оценка влияния климатических факторов.

Выявление наиболее значимых климатических факторов позволяет решить следующие задачи [4]:

- выявление причин изменения в потреблении энергоресурсов;
- прогнозирование энергопотребления с учетом наиболее значимых факторов;
- минимизация влияния различных факторов на уровень энергопотребления.



Рис. 2. Факторы, влияющие на энергопотребление в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД»



Рис. 3. Влияние климатических факторов на энергопотребление в неперевозочных видах деятельности ОАО «РЖД» [5–7]

Основной задачей анализа является:

- выявление климатических факторов, влияющих на энергопотребление;
- выявление временных интервалов для достоверной оценки влияния климатических факторов. Эталонными являются почасовые данные об энергопотреблении, но не всегда возможно установить почасовые изменения климатических факторов, поэтому необходимо определить максимально возможный укрупненный интервал, позволяющий точно выявить все факторы влияния.

Для оценки влияния климатических факторов на энергопотребление предприятий ОАО «РЖД» будут использоваться данные за 5 лет (2019–2023) о почасовом энергопотреблении станции (Западно-Сибирской ЖД). На рис. 4 представлена почасовая динамика энергопотребления данной станцией за январь 2019 г.

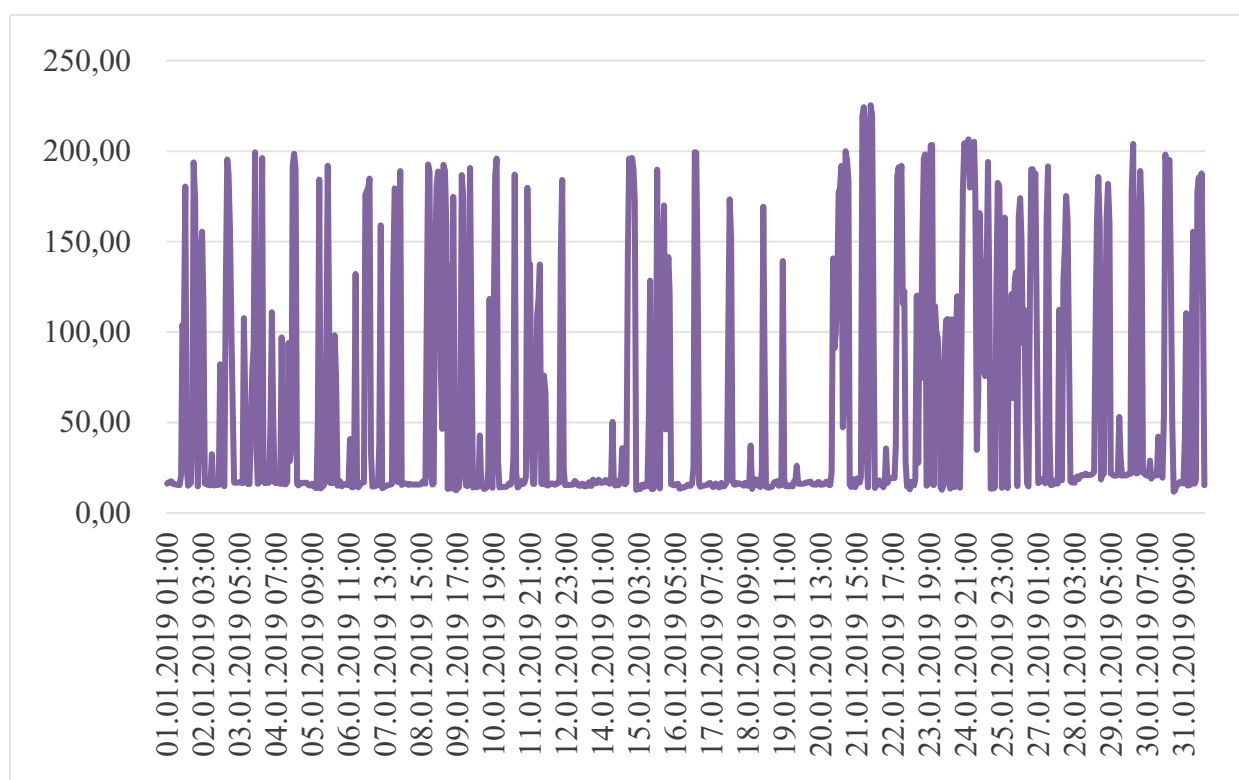


Рис. 4. Динамика почасового энергопотребления за январь 2019 года станцией, по данным АСКУЭ, кВт·ч

Анализ динамики энергопотребления рассматриваемого объекта позволяет говорить о существенно неравномерном характере электрической нагрузки. Среднее значение почасового расхода электроэнергии составило 20,1 кВт·ч, а среднее квадратическое отклонение — 43,75 кВт·ч.

Основным методом исследования будет метод корреляционного анализа. На основе коэффициента корреляции будет составлена корреляционная матрица с применением программного комплекса Statistica.

Для оценки степени влияния факторов на расход электрической энергии рассчитывается коэффициент корреляции.

Оценка для коэффициента корреляции определяется по формуле [9–10]

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y (n-1)}, \quad (1)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y$  — средние квадратические отклонения случайных величин;  $x_i, y_i$  —  $i$ -е значения случайных величин;  $n$  — объем выборки;  $m_x, m_y$  — математическое ожидание случайных величин.

Для обработки информации будет использоваться корреляционная матрица

$$\|K_{xy}\| = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

где  $K_{xy}$  — корреляционный момент.

При анализе будут использоваться такие климатические факторы, как (данные взяты из источника API «Яндекс.Погода») температура воздуха, облачность, скорость ветра. Интервалы потребления электроэнергии — 1 час, 3 часа, 6 часов, 12 часов, сутки, неделя. Результаты анализа влияния факторов представлены в следующих корреляционных матрицах.

ТАБЛИЦА 1. Корреляционная матрица при почасовых данных о потреблении электроэнергии

	Потребление электроэнергии	Облачность	Температура	Скорость ветра
Потребление электроэнергии	1,000000	0,100010	−0,192881	−0,005854
Облачность	0,100010	1,000000	−0,230968	0,199336
Температура	−0,192881	−0,230968	1,000000	0,122240
Скорость ветра	−0,005854	0,199336	0,122240	1,000000

Из матрицы видно, что наибольшее влияние на потребление электроэнергии оказывают 2 климатических фактора: облачность и температура. Рассмотрим результаты анализа при укрупнении данных.

ТАБЛИЦА 2. Корреляционная матрица при укрупнении данных о потреблении электроэнергии до 3 часов

	Потребление электроэнергии	Облачность	Температура	Скорость ветра
Потребление электроэнергии	1,000000	0,105942	-0,197703	-0,014723
Облачность	0,105942	1,000000	-0,235861	0,191273
Температура	-0,197703	-0,235861	1,000000	0,126884
Скорость ветра	-0,014723	0,191273	0,126884	1,000000

ТАБЛИЦА 3. Корреляционная матрица при укрупнении данных о потреблении электроэнергии до 6 часов

	Потребление электроэнергии	Облачность	Температура	Скорость ветра
Потребление электроэнергии	1,000000	0,136633	-0,242517	-0,004666
Облачность	0,136633	1,000000	-0,257094	0,210970
Температура	-0,242517	-0,257094	1,000000	0,114438
Скорость ветра	-0,004666	0,210970	0,114438	1,000000

ТАБЛИЦА 4. Корреляционная матрица при укрупнении данных о потреблении электроэнергии до 12 часов

	Потребление электроэнергии	Облачность	Температура	Скорость ветра
Потребление электроэнергии	1,000000	0,167006	-0,263415	0,000217
Облачность	0,167006	1,000000	-0,296527	0,217364
Температура	-0,263415	-0,296527	1,000000	0,084809
Скорость ветра	0,000217	0,217364	0,084809	1,000000

ТАБЛИЦА 5. Корреляционная матрица при укрупнении данных о потреблении электроэнергии до 24 часов

	Потребление электроэнергии	Облачность	Температура	Скорость ветра
Потребление электроэнергии	1,000000	0,193772	-0,282345	0,008033
Облачность	0,193772	1,000000	-0,333007	0,228752
Температура	-0,282345	-0,333007	1,000000	0,077528
Скорость ветра	0,008033	0,228752	0,077528	1,000000

ТАБЛИЦА 6. Корреляционная матрица при укрупнении данных о потреблении электроэнергии до 1 недели

	Потребление электроэнергии	Облачность	Температура	Скорость ветра
Потребление электроэнергии	1,000000	0,088912	-0,324521	-0,070455
Облачность	0,288912	1,000000	-0,598715	0,251478
Температура	-0,324521	-0,598715	1,000000	0,092228
Скорость ветра	-0,070455	0,251478	0,092228	1,000000

На основе анализа можно сделать следующие выводы:

1. На потребление электроэнергии данным объектом ОАО «РЖД» влияют такие климатические факторы, как облачность и температура. При планировании потребления электроэнергии необходимо ориентироваться на показатели данных факторов с целью максимально точного планирования расхода. Изменение температуры влияет на потребление электроэнергии устройствами обогрева и охлаждения, облачность оказывает влияние, так как на объекте есть системы освещения.

2. При анализе факторов влияния, как было обозначено ранее, эталонными данными являются данные о почасовом потреблении электроэнергии. При укрупнении до 24 часов результаты остались аналогичными. При укрупнении данных до 1 недели коэффициент корреляции облачности значительно снизился, что предполагает незначительность влияния данного фактора. Таким образом, максимально возможное укрупнение данных возможно до 24 часов.

3. Доказана возможность использования почасовых данных АСКУЭ для оценки и выявления климатических факторов, влияющих на потребление электроэнергии предприятиями неперевозочной деятельности.



## Библиографический список

1. Кажихин К. О. Повышение энергоэффективности и энергосбережения железнодорожного транспорта // Молодой ученый. 2023. № 17 (464). С. 28–29.
2. Биятто Е. В., Шарманова Г. Ю., Привалихина К. К. Зависимость электропотребления от влияния различных факторов. Анализ потребления электроэнергии по ОЭС и энергосистемам 2012–2014 гг. // Молодой ученый. 2015. № 6 (86). С. 126–129.
3. Черемисин В. Т., Комяков А. А. Моделирование процессов электропотребления в системе нетягового электроснабжения железнодорожного транспорта: монография. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2017. 161 с.
4. Тупикина А. А., Чернов С. С. Факторный анализ энергопотребления промышленными предприятиями регионов с различной отраслевой структурой // Инновации. 2017. № 8 (226) [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/faktornyy-analiz-energopotrebleniya-promyshlennymi-predpriyatiyami-regionov-s-razlichnoy-otraslevoy-strukturoy> (дата обращения: 04.05.2024).
5. Система анализа и планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды в ОАО «РЖД» / В. Т. Черемисин [и др.] // Инновационные проекты и новые технологии на железнодорожном транспорте: сборник научных статей / Министерство транспорта Российской Федерации, Федеральное агентство железнодорожного транспорта. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2007. С. 15–24. EDN UXZKFL.
6. Комяков А. А. Совершенствование системы контроля и анализа расхода электрической энергии нетяговыми железнодорожными потребителями: дисс. ... канд. техн. наук. Омск, 2009. 145 с.
7. Комяков А. А. Методология организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте: дисс. ... докт. техн. наук. Омск, 2020. 406 с.
8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974. 832 с.
10. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1980. 721 с.

Дата поступления: 25.06.2024

Решение о публикации: 07.08.2024

### Контактная информация:

АНДРЕЕВА Марина Андреевна — аспирант; [marina.andrew@mail.ru](mailto:marina.andrew@mail.ru)

# Analysis of the influence of climatic factors on electricity consumption by non-transportation enterprises of JSC Russian Railways

**M. A. Andreeva**

Omsk State Transport University, Russia, 644046, Omsk, Karl Marx ave., 35

**For citation:** *Andreeva M. A.* Analysis of the influence of climatic factors on electricity consumption by non-transportation enterprises of JSC Russian Railways // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 3. P. 34–44. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-34-44

## Abstract

**Purpose:** analysis of the costs of energy consumption by enterprises of JSC Russian Railways by type of fuel, identification of the most costly type of energy. Systematization of factors influencing energy consumption. Characteristics of climatic factors affecting energy consumption. The task was set to assess the possibility of using ASKUE data to improve the system for analyzing and planning energy consumption in non-transportation activities of JSC Russian Railways. Analysis of climatic factors affecting electricity consumption by enterprises in non-transportation activities of JSC Russian Railways. Determine the maximum time interval for analyzing energy consumption data. **Methods:** collecting information on electricity consumption and changes in climate characteristics. The main research method is the method of correlation analysis, which allows us to identify the most important factors influencing electricity consumption. Based on the correlation coefficient, a correlation matrix will be compiled using the Statistica software package. **Results:** climatic factors have been identified that have the greatest impact on the energy consumption of the enterprise in non-transportation activities of JSC Russian Railways. The maximum enlarged interval for analyzing energy consumption data has been clarified. **Practical significance:** climatic factors have been proposed, the characteristics of which must be relied upon when planning electricity consumption at non-transportation enterprises of JSC Russian Railways. These factors can be used in the further development of a model for planning energy consumption. The maximum enlarged interval for analyzing influencing factors has also been identified, allowing to obtain accurate results. The possibility of using hourly ASCAE data to assess and identify climatic factors affecting electricity consumption by non-transportation enterprises has been proven.

**Keywords:** energy efficiency, energy consumption, electricity, climatic factors, railway transport enterprises, non-transportation activities

## References

1. Kazhixin K. O. Povyshenie energoeffektivnosti i energosberezheniya zheleznodorozhnogo transporta // Molodoj uchenyj. 2023. № 17 (464). S. 28–29. (In Russian)
2. Biyatto E. V., Sharmanova G. Yu., Privalihina K. K. Zavisimost' elektropotrebleniya ot vliyaniya razlichnyh faktorov. Analiz potrebleniya elektroenergii po OES i energosistemam 2012–2014 gg. // Molodoj uchenyj. 2015. № 6 (86). S. 126–129. (In Russian)
3. Cheremisin V. T., Komyakov A. A. Modelirovanie processov elektropotrebleniya v sisteme netyagovogo elektrosnabzheniya zheleznodorozhnogo transporta: monografiya. Omsk: Omskij gosudarstvennyj universitet putej soobshheniya, 2017. 161 s. (In Russian)
4. Tupikina A. A., Chernov S. S. Faktornyj analiz energopotrebleniya promyshlennymi predpriyatiyami regionov s razlichnoj otraslevoj strukturoj // Innovacii. 2017. № 8 (226)

[Elektronnyj resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/faktornyy-analiz-energopotrebleniya-promyshlennymi-predpriyatiyami-regionov-s-razlichnoy-otraslevoy-strukturoy> (data obrashheniya: 04.05.2024). (In Russian)

5. Sistema analiza i planirovaniya rashoda elektricheskoy energii na netyagovye nuzhdy v OAO “RZhD” / V.T. Cheremisin [i dr.] // Innovacionnye proekty i novye tehnologii na zheleznodorozhnom transporte: sbornik nauchnyh statej / Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii, Federal'noe agentstvo zheleznodorozhnogo transporta. Omsk: Omskij gosudarstvennyj universitet putej soobshheniya, 2007. S. 15–24. EDN UXZKFL. (In Russian)

6. Komyakov A.A. Sovershenstvovanie sistemy kontrolya i analiza rashoda elektricheskoy energii netyagovymi zheleznodorozhnymi potrebitelyami: diss. ... kand. tehn. nauk. Omsk, 2009. 145 s. (In Russian)

7. Komyakov A.A. Metodologiya organizacii resursosberegayushhih proizvodstvennyh sistem na zheleznodorozhnom transporte: diss. ... dokt. tehn. nauk. Omsk, 2020. 406 s. (In Russian)

8. Ventcel' E.S. Teoriya veroyatnostej. M.: Nauka, 1969. 576 s. (In Russian)

9. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike (dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov). M.: Nauka, 1974. 832 s. (In Russian)

10. Bronshtejn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashhihsya vuzov. M.: Nauka, 1980. 721 s. (In Russian)

Received: 25.06.2024

Accepted: 07.08.2024

**Author's information:**

Marina A. ANDREEVA — Postgraduate Student; [marina.andrew@mail.ru](mailto:marina.andrew@mail.ru)