

Д.А. Пазов, В.В. Милюшин, Е.Ю. Пузина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Аннотация. Данная работа посвящена задаче повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения участков Восточного полигона. Анализ профиля пути таких участков позволяет предварительно выбрать те из них, которые при увеличении объема грузопотока в перспективе потребуют выполнить модернизацию отдельных устройств и узлов тяговых подстанций и контактной сети. Решение указанной задачи особенно актуально в связи с планируемым развитием Восточного полигона в ближайшей перспективе на 2025 год.

С целью выбора наиболее оптимального варианта модернизации системы тягового электроснабжения взят один из участков Восточного полигона, в рамках которого и в настоящее время проявляется ограничение пропускной способности тяжелых поездов массой 7100 тонн. Выполнено моделирование в ПВК Кортэс нескольких вариантов модернизации, в которых использованы различные средства усиления системы электроснабжения: устройства поперечной и продольной компенсации, увеличение сечения контактной сети путем подвешивания усиливающего провода, включение в параллельную работу дополнительного силового трансформатора, строительство новой подпитывающей тяговой подстанции. Результаты анализа параметров режима работы системы тягового электроснабжения при пропуске пакетов поездов, включающих в обоих направлениях, четном и нечетном, поезда максимальной массы согласно перспективных размеров движения, показали, что единственным способом модернизации, обеспечивающим достижение необходимой пропускной способности при соответствии нормируемых параметров режима работы их допустимым значениям, является строительство подпитывающей тяговой подстанции в месте расположения поста секционирования в исследуемой межподстанционной зоне. Указанное техническое решение рекомендуется к практическому применению.

Ключевые слова: устройства компенсации реактивной мощности, профиль пути, продольная компенсация, подпитывающая подстанция.

D.A. Puzov, V.V. Milyushin, E.Yu. Puzina

Irkutsk State Transport University, t. Irkutsk, Russia

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM OF THE EASTERN LANDFILL SITE

Annotation. This work is devoted to the task of improving the energy efficiency of the traction power supply system for the sites of the Eastern landfill. The analysis of the path profile of such sections allows you to pre-select those that, with an increase in the volume of cargo traffic, in the future will require the modernization of individual devices and nodes of traction substations and the contact network. The solution of this problem is especially relevant in connection with the planned development of the Eastern landfill in the near future for 2025.

In order to choose the most optimal option for the modernization of the traction power supply system, one of the sections of the Eastern Landfill was taken, within the framework of which the capacity of heavy trains weighing 7,100 tons is currently being limited. Several modernization options were modeled in PVK Kortess, in which various means of strengthening the power supply system were used: transverse and longitudinal compensation devices, increasing the cross-section of the contact network by hanging a reinforcing wire, including an additional power transformer in parallel operation, construction of a new feeding traction substation. The results of the analysis of the parameters of the operating mode of the traction power supply system when passing train packages, including in both directions, even and odd, trains of maximum mass according to the prospective dimensions of movement, showed that the only way to modernize, ensuring the achievement of the necessary throughput in accordance with the normalized operating mode parameters to their permissible values, is the construction of a feeding traction substation at the location of a sectioning post in the inter-substation zone under study. The specified technical solution is recommended for practical use.

Keywords: reactive power compensation devices, path profile, longitudinal compensation, feeding substation.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется модернизации инфраструктуры участков железных дорог Восточного полигона [1-2]. Это связано с перспективным ростом пропускной способности, которая должна к 2025 году достичь 210 млн тонн. Столь значительное увеличение грузопотока будет обеспечиваться увеличением масс поездов, сокращением межпоездных интервалов, ростом скорости движения поездов [3-7], что в свою очередь приведет к повышению нагрузок на элементы систем тягового электроснабжения (СТЭ) данных участков и потребует обновления и усиления устройств контактной сети [8], тяговых подстанций, линейных объектов. Соответственно, необходимо проверить пропускную способность СТЭ участков Восточного полигона с учетом перспективного роста объема грузоперевозок [9-10] и внести предложения по повышению их энергоэффективности [11-13].

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

Рассмотрим проблему необходимости модернизации СТЭ при развитии Восточного полигона на примере участка НУ-КХ. Исследуемый участок содержит две тяговые подстанции НУ и ЯЧ с силовыми трансформаторами ТДТНЖ-40000/220-76У1, четыре автотрансформаторных пункта (АТП) и пост секционирования (ПС). Профиль пути данного участка представлен на рис. 1. Как видим, профиль пути отличается достаточно протяженными подъемами от 5 до 9 промилей.

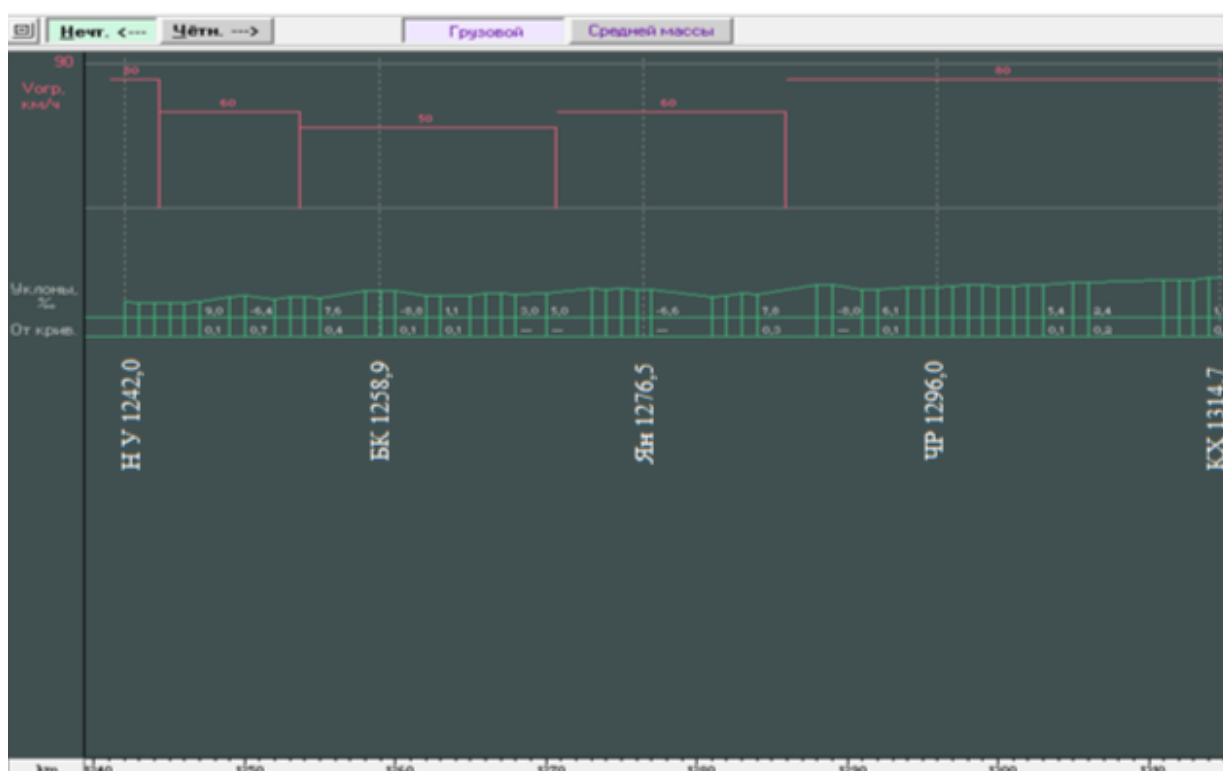


Рис. 1. Профиль пути исследуемого участка

При пропуске тяжеловесных поездов в пакетном режиме по указанным участкам возникают существенные просадки напряжения в контактной сети, коэффициенты загрузки силовых трансформаторов превышают допустимые значения. Такие результаты получены в процессе имитационного моделирования [14-15] в ПВК Кортэс пакетного графика движения, приведенного на рис. 2. При этом пакет сформирован с учетом перспективных размеров движения, представленных в табл. 1.

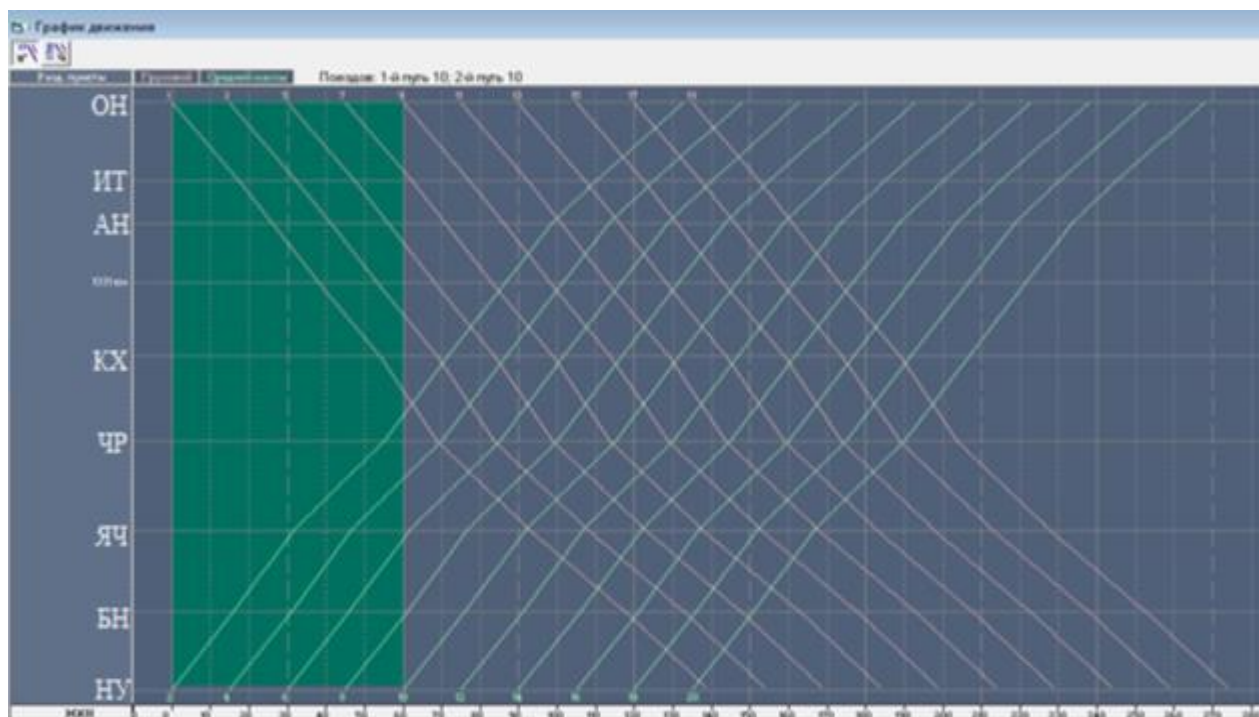


Рис. 2. Расчетный график движения

Таблица 1 – Существующие и перспективные размеры движения

Наименование участка	Весовые нормы грузовых поездов, тонн	Размеры движения грузовых поездов, поездов/сутки			
		2023 год		2025 год	
		Четное	Нечетное	Четное	Нечетное
НУ-КХ	7100	-	20		47
	6000	4	0,5	5,5	5
	4000	4	8,5	4	10
	3000 кон.	4	4	3,5	3,5
	1500-1700 пор.	21		54	1,5
	Итого	33	33	67	67

Выполнен анализ результатов моделирования вышеуказанного графика движения. Наиболее критичные значения параметров анализируемого режима работы СТЭ исследуемого участка представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры режима работы СТЭ при имеющихся объектах и перспективных размерах движения

Наименование объекта	Наименование параметра	Расчетное значение параметра	Допустимое значение параметра
Тяговая подстанция ЯЧ	Ограничивающий коэффициент загрузки силового трансформатора	2,31	2,0
Тяговая подстанция ЯЧ	Температура обмоток трансформатора	101 °С	95 °С
АТП - 1243	Ограничивающий коэффициент загрузки автотрансформатора	0,50	1,5
АТП - 1243	Температура обмотокавтотрансформатора	65 °С	95 °С
Контактная сеть 1-го пути зоны НУ-ЯЧ	Минимальное напряжение в контактной сети	17,93 кВ	21 кВ

Видим, что такие характеристики, как ограничивающий коэффициент загрузки силового трансформатора тяговой подстанции ЯЧ, достигающий 2,31, превышает допустимое значение 2, температура нагрева обмоток трансформатора 101°C превышает допустимое значение 95°C, минимальное напряжение в контактной сети (КС) 17,93 кВ существенно ниже допустимого значения. Из этого можно сделать вывод, что для исследуемого участка требуется усиление системы тягового электроснабжения.

Предложения по повышению энергоэффективности СТЭ

Произведем сравнительную оценку способов повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения исследуемого участка Восточного полигона.

На железных дорогах, электрифицированных на переменном токе, одним из способов улучшения показателей энергоэффективности является компенсация реактивной мощности на основе устройств поперечной (параллельной) и продольной (последовательной) емкостной компенсации.

Установки поперечной (КУ) и продольной (УПК) емкостной компенсации в системе тягового электроснабжения решают многие задачи: повышают пропускную способность, снижают потери электроэнергии, обеспечивая энергосбережение, повышают эффективность работы электрооборудования, улучшая качество электроэнергии. Необходимо оснащать СТЭ регулируемые КУ и УПК, т.к. такие установки позволяют поддерживать напряжение в контактной сети в оптимальных пределах, обеспечивая необходимую пропускную способность участка и, при этом, не допускать перекомпенсации.

В рамках выполняемого исследования предложено в качестве способа модернизации СТЭ №1 установить КУ полезной мощностью 2930 кВАр в левое плечо тяговой подстанции НУ и в левое плечо ЯЧ. Это привело к некоторому увеличению уровня напряжения в КС, но температура обмоток и коэффициент загрузки силового трансформатора тяговой подстанции ЯЧ остались недопустимыми (табл. 3).

Далее смоделирован вариант модернизации №2 – применение продольной компенсации. Установки продольной емкостной компенсации применяются для повышения напряжения в контактной сети. Включение УПК относится к наиболее экономичным способам достижения поставленной цели. Регулируемая установка продольной компенсации реактивной мощности предполагает включение конденсаторов последовательно с индуктивной нагрузкой через вольтдобавочный или разделительный трансформаторы, что в свою очередь позволяет автоматически регулировать напряжение в зависимости от изменяющегося тока нагрузки. При использовании УПК не стоит забывать и о возможности возникновения ненормальных и аварийных режимов вследствие явления перекомпенсации при снижении тяговой нагрузки и отсутствии регулирования мощности УПК; расшунтировании конденсаторов, что может вызвать перенапряжение. В общем случае при включении УПК во все фазы трансформаторов напряжение отстающей, опережающей и свободной фаз повышается.

В данной работе установлено УПК номинальной мощностью 12800 кВАр в фазу С тяговых подстанций НУ и ЯЧ. Данный способ модернизации позволил получить напряжение в КС, близкое к минимально допустимому, но привел к существенному увеличению температуры обмоток и коэффициента загрузки силового трансформатора тяговой подстанции ЯЧ (табл. 3).

Для того чтобы получить допустимые значения основных параметров режима работы СТЭ, в качестве варианта модернизации №3 предложено использовать комбинированный способ усиления – КУ и УПК совместно (табл. 3). Как видим, при этом снизились значения температуры обмоток и коэффициента загрузки силового трансформатора тяговой подстанции ЯЧ, однако все еще остались несколько выше допустимых значений.

В качестве варианта модернизации №4 рассмотрено увеличение сечения контактной сети за счет подвешивания усиливающего провода А-185 в межподстанционной зоне НУ-

ЯЧ. Это приводит к уменьшению суммарного сопротивления контактной сети, соответственно, падение напряжения в тяговой сети уменьшается, следовательно, уровень напряжения в КС поднимается, обеспечивая большую пропускную способность участка. Результаты моделирования данного способа модернизации приведены в табл. 3. Они указывают на незначительную эффективность предлагаемого решения.

Таблица 3 – Параметры режима работы СТЭ при использовании вариантов модернизации СТЭ

Наименование объекта	Наименование параметра	Расчетное значение параметра для варианта модернизации						Допустимое значение параметра
		№1	№2	№3	№4	№5	№6	
Тяговая подстанция ЯЧ	Ограничивающий коэффициент загрузки силового трансформатора	2,26	2,97	2,28	2,31	1,83	1,85	2,0
Тяговая подстанция ЯЧ	Температура обмоток трансформатора	97	176	98	101	72	87	95 °С
АТП - 1243	Ограничивающий коэффициент загрузки автотрансформатора	0,48	0,70	0,49	0,50	0,58	0,29	1,5
АТП - 1243	Температура обмоток автотрансформатора	65	65	65	65	65	65	95°С
Контактная сеть 1-го пути зоны НУ-ЯЧ	Минимальное напряжение в контактной сети	18,28	19,84	18,22	17,93	19,15	21,33	21 кВ

Следующий рассмотренный способ модернизации СТЭ №5 – это включение двух силовых трансформаторов в параллельную работу. Включение тяговых трансформаторов на параллельную работу требует соблюдения ряда условий согласно ПТЭ ЭП:

- равенство номинальных мощностей (допускается их соотношение не более, чем 1:3);
- равенство коэффициента трансформации (допускается разность коэффициента трансформации не более $\pm 0,5\%$);
- одинаковые схемы и группы соединения обмоток;
- равенство напряжений короткого замыкания (допускается отклонение не более чем на $\pm 10\%$).

При нарушении первых трех условий в обмотках трансформаторов возникают уравнительные токи. Нарушение последнего условия вызывает перегрузку одного из тяговых трансформаторов.

Результаты моделирования данного способа модернизации представлены в табл. 3. Анализ результатов говорит о том, что параметры состояния силовых трансформаторов пришли в соответствие к допустимым значениям, однако, напряжение в КС все еще ниже минимально допустимого.

Поскольку все вышеуказанные способы модернизации не дали необходимых результатов, рассмотрим в качестве способа №6 применение одного из наиболее мощных средств – строительство дополнительной подпитывающей тяговой подстанции с силовым трансформатором, аналогичным установленным на тяговых подстанциях НУ и ЯЧ, на одном из разъездов поблизости от середины межподстанционной зоны. Согласно полученным результатам моделирования, приходим к выводу о том, что данный способ модернизации СТЭ является энергоэффективным, поскольку все нормируемые параметры режима работы системы тягового электроснабжения пришли в соответствие с допустимыми значениями, обеспечивая при этом перспективную пропускную способность исследуемого участка (табл. 3). Для наглядного подтверждения этих результатов и оценки способов модернизации на рис. 3 и 4 приведены сравнительные диаграммы.

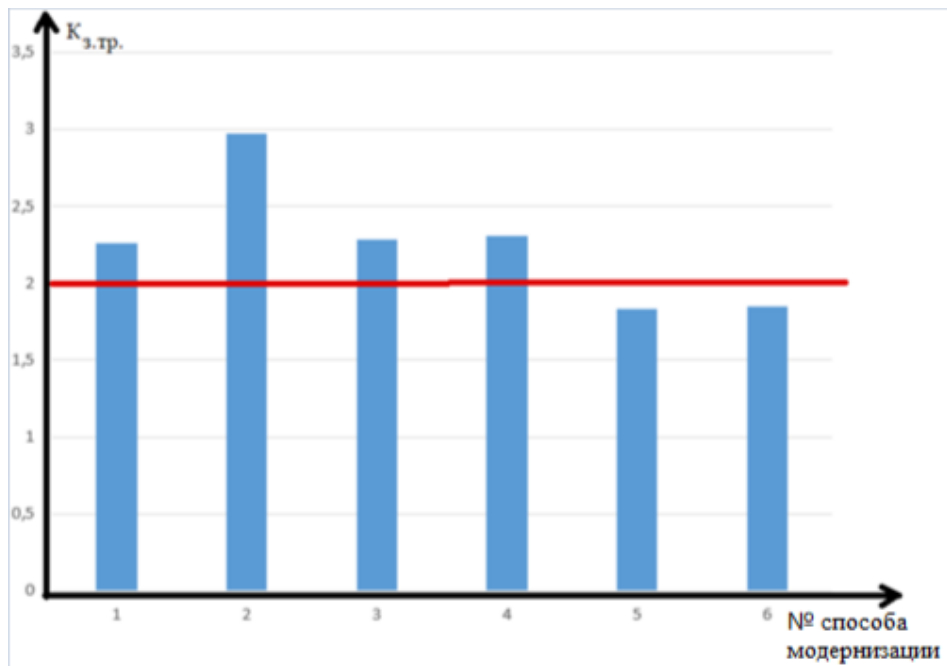


Рис. 3. Гистограмма зависимости коэффициента загрузки силового трансформатора от способов модернизации

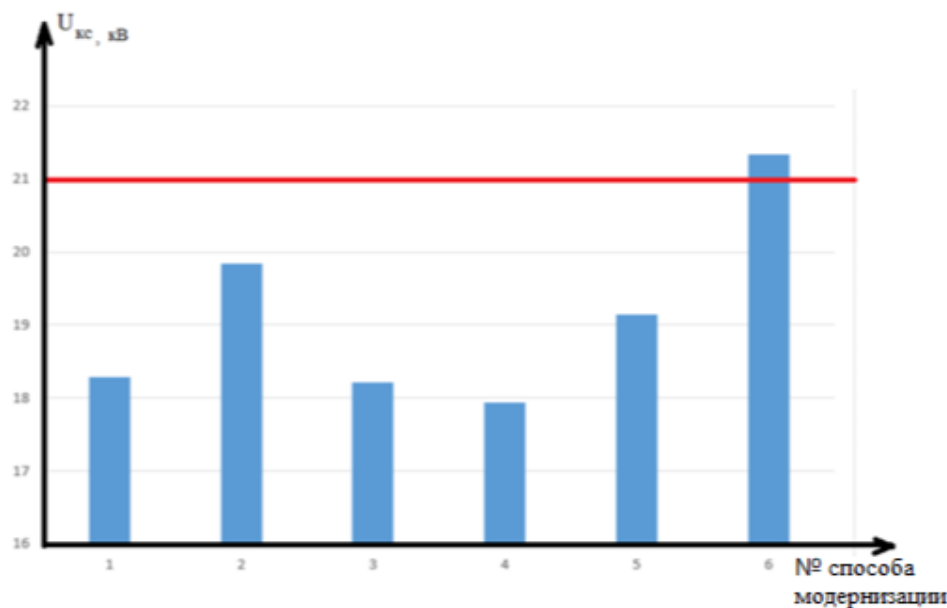


Рис. 4. Гистограмма зависимости напряжения в КС от способов модернизации

Заключение

Сравнительная оценка результатов выполненных исследований по модернизации СТЭ участка НУ-КХ Восточного полигона с целью обеспечения перспективной пропускной способности позволила выбрать наиболее энергоэффективный способ – строительство дополнительной подпитывающей тяговой подстанции в межподстанционной зоне НУ-ЯЧ.

Именно реализация такого мощного средства усиления СТЭ обеспечит нормализацию коэффициента загрузки силового трансформатора тяговой подстанции ЯЧ, снизит до допустимых значений температуру его обмоток, приведет к повышению напряжения в контактной сети и, оно будет иметь значение выше минимально допустимого. В результате, требуемая к 2025 году пропускная способность исследуемого участка будет обеспечена, что, несомненно, положительно скажется на экономических показателях работы Восточного полигона [16].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пультяков А.В., Трофимов Ю.А., Скоробогатов М.Э. Комплексные решения по повышению устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации на участках с электротягой переменного тока. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т 1. С. 328-332.
2. Каимов Е.В., Оленцевич В.А., Власова Н.В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог. Образование – Наука – Производство. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х томах. Чита. 2022. С. 288-296.
3. Puzina E.Yu., Khudonogov I.A. The Study of the Effectiveness of Strengthening the Traction Power Supply System of the Northern Route of the Eastern Polygon of the Russian Railroads. Journal of Physics: Conference Series. Ser. “International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021” 2021. С. 012153.
4. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, “Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer,” 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
5. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2004. № 8. С.24.
6. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро – Таксимо ВСЖД. Транспорт: наука, образование, производство. Труды международной научно-практической конференции. 2016. С. 306-310.
7. Пузина Е.Ю. Моделирование ремонтных режимов работы системы электроснабжения участка Юрты-Нижнеудинск при реализации систем интервального регулирования. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 3 (75). С. 181-194.
8. Есауленко А.С., Ступицкий В.П., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. К повышению надежности устройств контактной сети. Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 200-205.
9. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим-Киренга для обеспечения тяги двоярных электроподвижных составов массой 14200 т. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 137-149.
10. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Анализ эффективности применения организационных и технических способов повышения пропускной способности тяговой сети двухпутного горно-перевального участка. Молодая наука Сибири. 2022. № 3 (17). С. 56-63.
11. Рыжова Е.Л. Энергосберегающие и энергоэффективные технологии транспортной отрасли. Журнал естественнонаучных исследований. 2020. Т. 5. № 2. С. 51-57.
12. Захарова М.Ю., Пузина Е.Ю. Особенности проведения энергетического обследования нефтебазовых комплексов. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 22-26 апреля 2014 г.): под общей редакцией В.В. Федчишина. - Иркутск: Изд-во ИРГТУ, 2014.- Т.2.- С.235-240.
13. Рыжова Е.Л. Новейшие технологии энергосбережения в электро- и теплоэнергетике. Цифровая трансформация в энергетике: материалы Четвертой Международной научной конференции. 2023. С. 131-133.
14. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. С.8501734.
15. Ступицкий В.П., Худоногов И.А., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. Расчет несущей способности металлической решетчатой опоры контактной сети при кручении верхней части методом конечных элементов в САПР FEMAP/ Транспорт Урала. 2021. № 1 (68). С 99-102.
16. Антипина О.В., Распутина Е.А. Инновационное развитие предприятий железнодорожного транспорта. Экономический альманах. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции “Экономика структурных преобразований : проблемы и

REFERENCES

1. A. V. Pult'yakov, Yu. A. Trofimov, and M. E. Skorobogatov, Russ. Integrated solutions to improve the stability of the operation of automatic locomotive signaling devices in areas with AC electric traction. Transport infrastructure of the Siberian region. 2015. T 1. S. 328-332.
2. Kaimov E.V., Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Problems of formation, development and reconstruction of the elements of the infrastructure complex of railways. Education - Science - Production. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation). In 2 volumes. Chita. 2022. S. 288-296.
3. Puzina E.Yu., Khudonogov I.A. The Study of the Effectiveness of Strengthening the Traction Power Supply System of the Northern Route of the Eastern Polygon of the Russian Railroads. Journal of Physics: Conference Series. Ser. “International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021” 2021. C. 012153.
4. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, “Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer,” 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
5. Sheverdin I.N., Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. Influence of heavy trains on track circuits and ALS. Automation, communication, informatics. 2004. No. 8. P.24.
6. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Churo – Taksim section of the VSZHD. Transport: science, education, production. Proceeding of the International scientific and practical conference. 2016. pp. 306-310.
7. Puzina E.Yu. Modeling of repair modes of operation of the power supply system of the Yurt – Nizhneudinsk section during the implementation of interval control systems. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2022. No. 3 (75). pp. 181-194.
8. Esaulenko A.S., Stupitsky V.P., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. To increase the reliability of contact network devices. Young science of Siberia. 2021. No. 2 (12). pp. 200-205.
9. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the capacity of the Yakurim-Kirenga section to provide traction for dual electric rolling stock weighing 14,200 tons. Young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 137-149.
10. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Analysis of the effectiveness of the application of organizational and technical methods to increase the capacity of the traction network of a double-track mining and transshipment section. The young science of Siberia. 2022. No. 3 (17). pp. 56-63.
11. Ryzhova E.L. Energy-saving and energy-efficient technologies of the transport industry. Journal of Natural Science Research. 2020. Vol. 5. No. 2. pp. 51-57.
12. Zakharova M.Yu., Puzina E.Yu. Features of energy inspection of oil storage complexes. Increasing the efficiency of energy production and use in Siberian conditions: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (Irkutsk, April 22-26, 2014): under the general editorship of V.V. Fedchishina. -Irkutsk: IRGTU Publishing House, 2014.- T.2.- P.235-240.
13. Ryzhova E.L. The latest energy saving technologies in electric and thermal power engineering. Digital transformation in the energy sector: proceedings of the Fourth International Scientific Conference. 2023. pp. 131-133.
14. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. C.8501734.
15. Stupitsky V.P., Khudonogov I.A., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. Calculation of the bearing capacity of a metal lattice support of a contact network during torsion of the upper part by the finite element method in CAD FEMAP / Transport of the Urals. 2021. No. 1 (68). From 99-102.
16. Antipina O.V., Rasputina E.A. Innovative development of railway transport enterprises. Economic almanac. Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference

“Economics of Structural Transformations: Problems and Prospects of Development”. Issue No. 7. 2020. P. 194-198.

Информация об авторах

Пазов Дмитрий Анатольевич – студент гр. СОД.1-20-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email: pazov_2016@mail.ru

Милушин Владислав Владимирович – студент гр. СОД.1-20-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email: vlad.milushin1@mail.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Authors

Dmitriy Anatol'evich Pazov – student g. SOD.1-20-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pazov_2016@mail.ru

Vladislav Vladimirovich Milyushin – student g. SOD.1-20-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: vlad.milushin1@mail.ru

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru;