

Ю.Н. Макаренко, Е.Ю. Пузина

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

НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОК ПО ВОСТОЧНОМУ ПОЛИГОНУ

Аннотация. Данная работа посвящена вопросам модернизации тяговых подстанций, необходимость которой может возникнуть как в случаях повышения объема грузоперевозок, так и в силу морального и физического старения оборудования.

В настоящее время происходит активное развитие Восточного полигона электрифицированных железных дорог. В рамках данного полигона особое внимание уделяется Байкало-Амурской магистрали, поскольку многие ее участки являются лимитирующими для пропускной способности по причине сложного горно-перевального характера профиля пути и однопутного характера движения. Строительство второго пути, происходящее в текущий период времени, требует тщательного анализа пропускной способности системы тягового электроснабжения с учетом перспективных размеров движения.

Выполнена оценка пропускной способности одного из участков Восточного полигона в пределах Байкало-Амурской магистрали. Результаты оценки указывают на необходимость существенной модернизации одной из тяговых подстанций данного участка в связи со значительной перегрузкой тягового трансформатора, питающего левое плечо и перегревом его обмоток и масла. В качестве способа модернизации предложена установка дополнительного тягового трансформатора, который включается в параллельную работу с действующим трансформатором. Такое техническое решение следует признать эффективным, поскольку с его применением, как показало моделирование в ПВК Кортэс, все нормируемые параметры режима работы системы тягового электроснабжения соответствуют допустимым значениям.

Также в рамках модернизации на исследуемой тяговой подстанции предложено заменить действующие масляные выключатели на элегазовые и вакуумные. Такое решение принято на основании статистического анализа отказов оборудования тяговых подстанций и анализа сроков эксплуатации оборудования исследуемой подстанции.

Принятые решения будут способствовать обеспечению перспективной пропускной способности участка и повышению надежности и безопасности перевозочного процесса в целом.

Ключевые слова: тяговая подстанция, профиль пути, пропускная способность, направления модернизации.

Yu.N. Makarenko, E.Yu. Puzina

Irkutsk State Transport University, t. Irkutsk, Russia

DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF TRACTION SUBSTATIONS WITH AN INCREASE IN THE VOLUME OF TRAFFIC THROUGH THE EASTERN LANDFILL

Annotation. This work is devoted to the modernization of traction substations, the need for which may arise both in cases of increased freight traffic and due to the moral and physical aging of equipment.

Currently, there is an active development of the Eastern Landfill of electrified railways. Within the framework of this landfill, special attention is paid to the Baikal-Amur mainline, since many of its sections are limiting for capacity due to the complex mountain-pass nature of the track profile and the single-track nature of traffic. The construction of the second track, which is taking place in the current period of time, requires a thorough analysis of the capacity of the traction power supply system, taking into account the prospective traffic sizes.

An assessment of the throughput capacity of one of the sections of the Eastern polygon within the Baikal-Amur mainline was carried out. The evaluation results indicate the need for significant modernization of one of the traction substations of this section due to significant overload of the traction transformer feeding the left arm and overheating of its windings and oil. As a method of modernization, the installation of an additional traction transformer is proposed, which is included in parallel operation with an existing transformer. Such a technical solution should be recognized as effective, since with its application, as shown by modeling in PVK Kortés, all the normalized parameters of the operation mode of the traction power supply system correspond to acceptable values.

Also, as part of the modernization at the traction substation under study, it was proposed to replace the existing oil switches with gas and vacuum ones. This decision was made on the basis of a statistical analysis of failures of traction substation equipment and an analysis of the service life of the equipment of the substation under study.

The decisions taken will contribute to ensuring the long-term capacity of the site and improving the reliability and safety of the transportation process as a whole.

Keywords: traction substation, track profile, capacity, modernization directions.

Введение

Одним из значимых направлений Восточного полигона является Байкало-Амурская магистраль (БАМ). Стратегией развития железнодорожного транспорта намечается существенный рост грузопотоков по БАМу. В связи с этим осуществляется строительство второго пути на участке Лена – Таксимо. В однопутном исполнении в настоящее время, этот участок является проблемным по пропускной способности, в том числе и в связи со слабой системой внешнего электроснабжения. Система внешнего электроснабжения БАМ получает питание от Усть-Илимской и Братской ГЭС через подстанцию Коршуниха и отдельной линией до подстанции Якурим, выполненной в габаритах 500 кВ и работающей на напряжении 220 кВ. Значительное электропотребление как в системе тягового, так, соответственно, и в системе внешнего электроснабжения, возникает при организации движения тяжеловесными поездами, при их сгущении [1-5]. Особенно большие мощности потребляются при движении составов по горным участкам на межподстанционных зонах (МПЗ) Ния – Киренга, Кунерма – Дабан [6-7]. Тяговые подстанции, питающие данные МПЗ, испытывают большие перегрузки, поэтому необходима проверка потребной мощности силовых трансформаторов таких тяговых подстанций и также замена в обоснованных случаях высоковольтной аппаратуры [8-9].

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

Рассмотрим проблему необходимости модернизации одной из тяговых подстанций, расположенных на Байкало-Амурской магистрали. В своем составе тяговая подстанция СБ имеет четыре распределительных устройства ОРУ-220 кВ, ОРУ-2×27,5 кВ, ОРУ-35 кВ, ЗРУ-10 кВ. Рассмотрим в качестве примера схему ОРУ-220 кВ (рис. 1). Эта схема дает наглядное представление об установленных на подстанции трех тяговых однофазных трансформаторах мощностью 25 МВА и двух районных силовых трансформаторах мощностью 40 МВА.

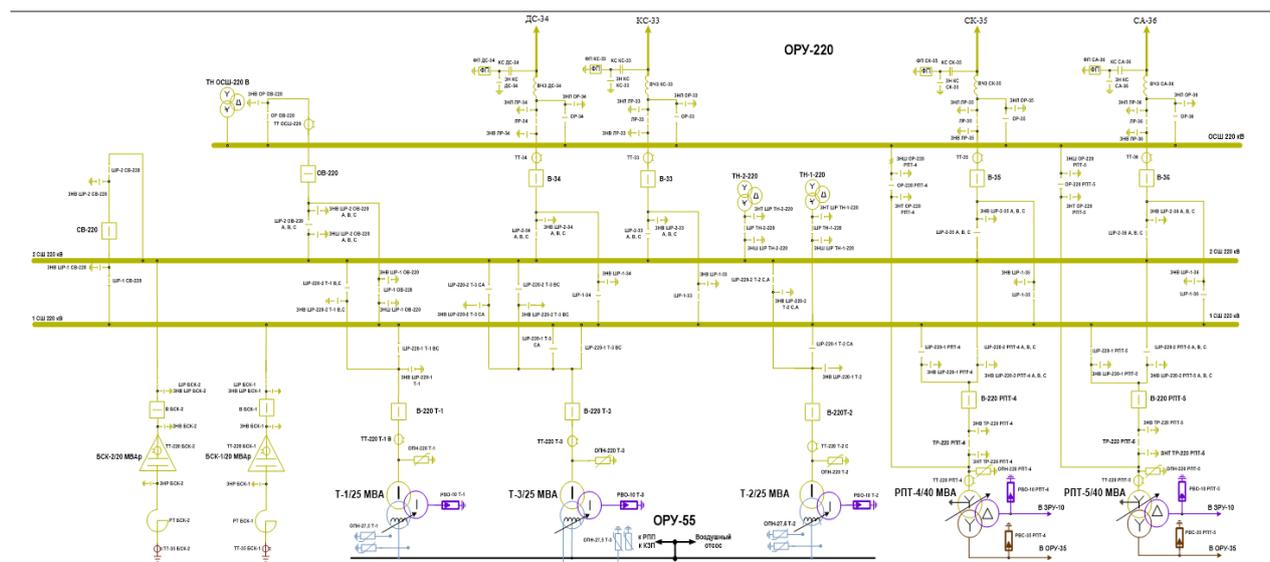


Рис. 1. Однолинейная схема ОРУ-220 кВ

Тяговая подстанция СБ расположена на участке КН–СБ–АН, профиль пути которого представлен на рис. 2. Система тягового электроснабжения (СТЭ) данного участка в двухпутном исполнении приведена на рис. 3. Для исследуемого участка произведен

тяговый расчет с учетом перспективного развития движения на горно-перевальном участке до 2025 года в четном и нечетном направлениях. С целью проверки пропускной способности участка и оценки загруженности тяговых трансформаторов подстанции СБ сформирован пакетный график движения. По первому пути для четного направления проходит пакет из десяти поездов повышенной массы от станции АН до станции КН с интервалом 8 минут, при этом поезда массой 7100 и 6000 тонн чередуются. По второму пути для нечетного направления проходит пакет из десяти поездов с интервалом 8 минут с чередованием поездов массой 4000 и 3000 тонн.

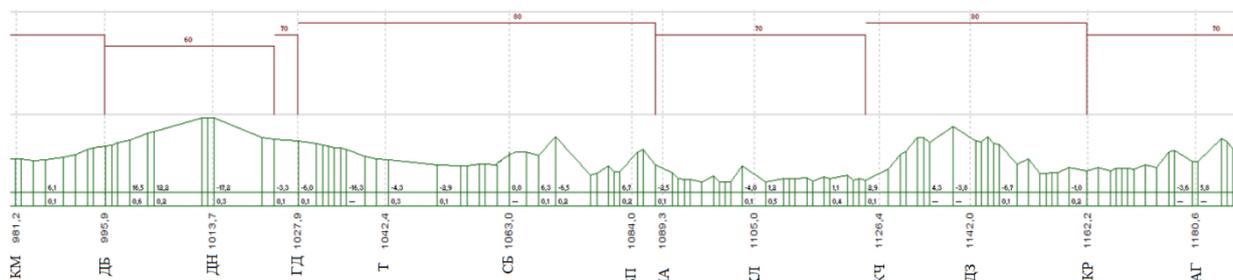


Рис. 2. Профиль пути исследуемого участка

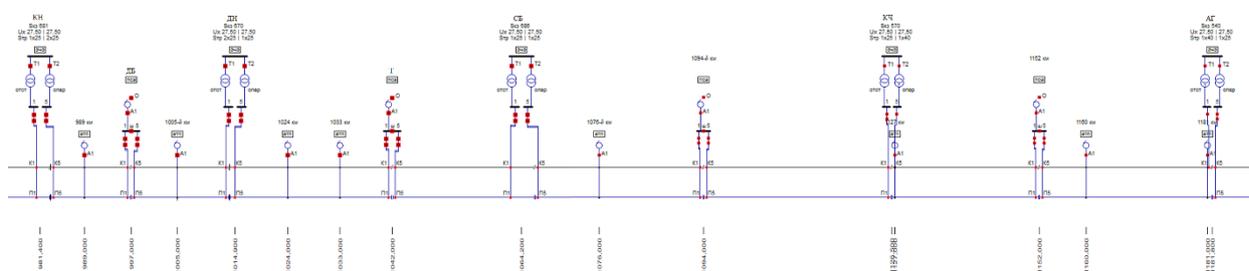


Рис. 3. СТЭ исследуемого участка

Результаты моделирования сформированного графика движения поездов показали, что тяговые трансформаторы подстанции СБ имеют недопустимую перегрузку, поскольку одноминутный коэффициент загрузки силового трансформатора при этом составляет 2,7, десятиминутный – 2,37, что существенно превышает допустимые значения этих коэффициентов – соответственно 2,0 и 1,5. Кроме того, отмечен существенный перегрев обмоток и масла силового трансформатора, работающего в сторону тяговой подстанции ДБ, – их температура, соответственно, достигает 175 °С и 115 °С. Эксплуатация в таких условиях тягового трансформатора не допустима.

С целью разгрузки гаходящегося в работе силового трансформатора предлагается установить дополнительный тяговый трансформатор марки ОРДТНЖ-25000/220-79 УХЛ-1, который будет работать параллельно с имеющимся силовым трансформатором на левое плечо питания, в сторону тяговой подстанции ДБ.

Моделирование, с учетом предлагаемой модернизации тяговой подстанции СБ, приведенного выше графика движения поездов позволило оценить параметры режима работы СТЭ исследуемого участка. Все нормируемые параметры оказались в пределах допустимых значений. Так, одноминутный коэффициент загрузки силового трансформатора при этом составляет 1,68, десятиминутный – 1,38, и, следовательно, не превышает допустимые значения этих коэффициентов – соответственно 2,0 и 1,5. Температура обмоток и масла силового трансформатора, работающего в сторону тяговой подстанции ДБ, не превышает допустимых значений и составляет, соответственно, 106 °С и 79 °С.

Следовательно, для достижения перспективной пропускной способности исследуемого участка необходимо на данной тяговой подстанции осуществить установку

дополнительного тягового трансформатора в левое плечо исследуемой подстанции, что повлечет за собой определенные изменения в схеме подстанции и поставит задачу, в частности, установки новых коммутационных аппаратов. В связи с этим, представляется актуальным выполнить оценку состояния имеющейся в настоящее время аппаратуры, поскольку данная тяговая подстанция введена в эксплуатацию в 1986 году, и накопился определенный опыт эксплуатации аналогичной аппаратуры не только на данной, но и на других тяговых подстанциях.

Анализ состояния оборудования тяговых подстанций и предложения по использованию его новых образцов

Анализ состояния оборудования исследуемой тяговой подстанции проведем в двух направлениях: оценим сроки эксплуатации установленного на ней оборудования, и выполним анализ отказов оборудования тяговых подстанций той железной дороги, в рамках которой эксплуатируется данная тяговая подстанция, за последние 6 лет.

В табл. 1 представлена информация о сроках службы оборудования тяговой подстанции СБ.

Таблица 1 – Сроки службы оборудования ЭЧЭ СБ

Марка оборудования	Год ввода в эксплуатацию	Нормативный срок службы	Количество лет в эксплуатации
Выключатели			
У-220-2000/25	1986	25	37
ВМКЭ-35-16/1000	1986	25	37
ВМКЭ-27.5-16/1000	1986	25	37
С-35-630-10	1986	25	37
ВМПЭ-10-630-20	1986	25	37
ВМПЭ-10-1600-20	1986	25	37
Силовые трансформаторы			
ОРДТНЖ-25000/220-79 УХЛ-1	1986	25	37
ОРДТНЖ-25000/220-79 УХЛ-1	1986	25	37
ОРДТНЖ-25000/220-79 УХЛ-1	1986	25	37
ТДТН-40000/220-70 У-1	1986	25	37
ТДТН-40000/220-70 У-1	1986	25	37
Измерительные трансформаторы			
ТВ-220-1У2	1986	25	37
ТМЖ-400 /25-69У1	1986	25	37
ЗНОМ-35-65	2015	25	8
ТЛИ-10	2015	25	8
ТПЛ-10/400/5	2015	25	8
ТФЗМ-35	2015	25	8
ТОЛ-СЭЩ-35-IV-0,4	2015	25	8
ТВ-35-600/5	1986	25	37
Разъединители			
РНДЗ-2-220/1000 УХЛ 1	1986	25	37
РНДЗ-220/1000	1986	25	37
РНДЗ-1-35/1000	1986	25	37
РГ-1а-220/1000	2005	25	18

Согласно приведенной в табл. 1 информации построена круговая диаграмм по срокам эксплуатации оборудования, представленная на рис. 4.

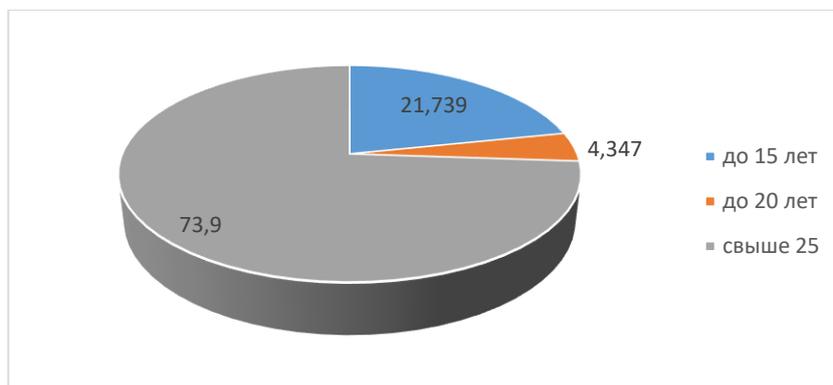


Рис. 4. Распределение оборудования по срокам эксплуатации, в %

На круговой диаграмме видно, что 73,9% эксплуатируемого оборудования всех распределительных устройств на тяговой подстанции СБ имеет срок эксплуатации существенно выше нормативного, физически и морально устарело, что ведет к повышению вероятности отказов и к значительным эксплуатационным расходам, также необратимые физико-химические явления приводят к ухудшению качества материалов и деталей. Масляные выключатели тяговой подстанции (ЭЧЭ) СБ не обеспечивают требуемый в современных условиях уровень надёжности.

На основе собранной за последние 6 лет статистики отказов оборудования на тяговых подстанциях указанной выше российской железной дороги построена диаграмма Парето, которая приведена на рис. 5.

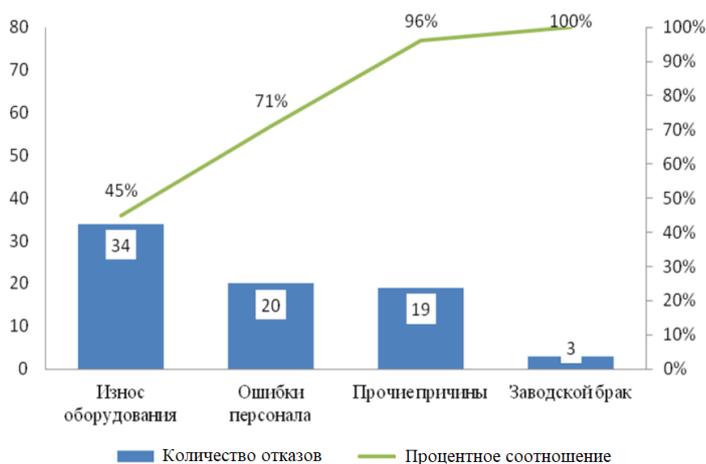


Рис. 5. Диаграмма Парето

По диаграмме Парето видно, что основной причиной отказов оборудования на тяговых подстанциях является износ оборудования – 45%, поэтому предлагается, прежде всего, заменить основные коммутационные аппараты, а именно масляные выключатели во всех распределительных устройствах, имеющие значительной срок эксплуатации – 37 лет, на более современные и надежные виды выключателей.

К настоящему времени в российских электрических сетях обновление подстанций по выключателям происходит по двум направлениям – это установка элегазовых и вакуумных выключателей [10-11]. При этом, в распределительных устройствах 110 кВ и выше преимущественно используются в процессе модернизации элегазовые выключатели, а в распределительных устройствах среднего класса напряжения – вакуумные. Имеющийся опыт эксплуатации на тяговых подстанциях исследуемой железной дороги отечественных элегазовых выключателей показывает, что после 10-12 лет нахождения в эксплуатации баковых выключателей данного типа, к сожалению, отмечаются случаи нарушения их герметичности и утечек элегаза, а также произошел единичный случай полного разрушения

изоляции встроенных трансформаторов тока. В то же время, установленные колонковые элегазовые выключатели практически не имеют повреждений. Соответственно, для анализируемой в данной работе тяговой подстанции рекомендуем к установке в ОРУ-220 кВ элегазовый выключатель колонкового исполнения отечественного производства ВГТЗ-УЭТМ-220-40/3150 ХЛ1.

В распреустройствах среднего класса напряжения накоплен достаточно богатый и положительный опыт эксплуатации на тяговых подстанциях вакуумных выключателей. Учитывая их существенно меньшую стоимость в сравнении с элегазовыми выключателями, анализируя отзывы организаций, эксплуатирующих вакуумные выключатели различных отечественных производителей, предлагаем к установке на исследуемой тяговой подстанции в РУ-2х27,5 кВ и РУ-35 кВ вакуумные выключатели серии ВВН-СЭЩ-35-31,5/1000, а в РУ-10 кВ – ВРС-10-31,5/2500.

Предлагаемые к замене элегазовые выключатели отличаются значительным нормативным сроком эксплуатации в 40 лет, низкими эксплуатационными расходами, высокой надежностью, пожаро- и взрывобезопасностью. Указанные марки вакуумных выключателей являются экологичными, малозатратными в эксплуатации, малогабаритными, имеют высокий коммутационный и механический ресурс. Следовательно, использование предлагаемой коммутационной аппаратуры на исследуемой подстанции позволит повысить надежность и безопасность ее работы, приведет к сокращению расходов на ее эксплуатацию.

Заключение

Исследование пропускной способности участка КН–СБ–АН Восточного полигона с учетом перспективных размеров движения согласно увеличения объемов грузоперевозок, планируемых в соответствии со стратегией развития железнодорожного транспорта к 2025 году, и с учетом его двухпутного развития показало существенную перегрузку тягового трансформатора ЭЧЭ СБ, который питает левое плечо в сторону подстанции ДБ. В качестве основного направления модернизации исследуемой тяговой подстанции предложено установить дополнительный тяговый трансформатор и включить его в параллельную работу с имеющимся. Моделирование СТЭ указанного участка в ПВК Кортэс с учетом внесенного предложения показало эффективность принятого решения, поскольку коэффициенты загрузки и температура обмоток и масла тягового трансформатора в этом случае оказываются в пределах допустимых значений и не оказывают ограничения планируемой пропускной способности.

Установка дополнительного силового трансформатора влечет за собой изменение параметров рабочего и аварийных режимов работы исследуемой тяговой подстанции. Соответственно, с целью замены, в частности, коммутационных аппаратов данной тяговой подстанции выполнен анализ сроков эксплуатации ее оборудования и статистический анализ отказов оборудования тяговых подстанций одной из российских железных дорог за последние 6 лет. Результаты проведенного анализа позволили выявить основную причину отказов – это старение оборудования, что подтверждается приведенными значительными сроками эксплуатации оборудования исследуемой тяговой подстанции.

Согласно результатам анализа, и, опираясь на опыт эксплуатации разных видов высоковольтных выключателей в российских электрических сетях, даны рекомендации по замене имеющихся масляных выключателей во всех распреустройствах исследуемой подстанции на наиболее надежные и малозатратные в эксплуатации конкретные марки элегазовых и вакуумных выключателей.

Предложенные направления модернизации тяговых подстанций будут способствовать не только осуществлению планируемой перспективной пропускной способности исследуемого участка, но и повышению надежности работы, а также сокращению эксплуатационных расходов при обслуживании тяговых подстанций [12-15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2004. № 8. С.24.
3. 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.
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. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. С.8501734.
6. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим-Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 т. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 137-149.
7. 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.
8. 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.
9. Овечкин И.С. Оценка эффективности применения комплектных распределительных устройств для тяговых подстанций. Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 181-194.
10. Попов А.Ю., Пузина Е.Ю., Кашин А.А. Сравнительный анализ выключателей для сетей класса 6-35 кВ. Техничко-экономические проблемы развития регионов. Материалы научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 162-171.
11. Попов А.Ю., Пузина Е.Ю., Брылев В.А. Оценка эффективности применения выключателей зарубежного и отечественного производства в сетях среднего класса напряжения. Техничко-экономические проблемы развития регионов. Материалы научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 172-178.
12. Рыжова Е.Л. Энергосберегающие и энергоэффективные технологии транспортной отрасли. Журнал естественнонаучных исследований. 2020. Т. 5. № 2. С. 51-57.
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. Антипина О.В., Распутина Е.А. Инновационное развитие предприятий железнодорожного транспорта. Экономический альманах. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции "Экономика структурных преобразований: проблемы и перспективы развития". Выпуск № 7. 2020. С. 194-198.
15. 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.

REFERENCES

1. 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.

2. 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.
3. 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.
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. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. C.8501734.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Ovechkin I.S. Evaluation of the effectiveness of the use of complete switchgear for traction substations. The young science of Siberia. 2021. No. 2 (12). pp. 181-194.
10. Popov A.Yu., Puzina E.Yu., Kashin A.A. Comparative analysis of switches for networks of class 6-35 kV. Technical and economic problems of regional development. Materials of the scientific and practical conference with international participation. 2019. pp. 162-171.
11. Popov A.Yu., Puzina E.Yu., Brylev V.A. Evaluation of the effectiveness of using switches of foreign and domestic production in medium-voltage networks. Technical and economic problems of regional development. Materials of the scientific and practical conference with international participation. 2019. pp. 172-178.
12. 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.
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. 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.
15. 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.

Информация об авторах

Макаренко Юрий Николаевич – студент гр. СОД.1-20-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email: makarenkaa73@gmail.com

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

Authors

Makarenko Yuri Nikolaevich – student g. SOD.1-20-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: makarenkaaa73@gmail.com

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: lenarus05@mail.ru;