

Зеленский К.Р., Леонов И.Н., Пузина Е.Ю.

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПУЭ ПО РЕЗЕРВИРОВАНИЮ ПИТАНИЯ ПОСТОВ ЭЦ

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема обеспечения бесперебойного электроснабжения поста электрической централизации станции ЛН, расположенной на одной из развивающихся железных дорог России, и относящегося к потребителям первой категории надежности согласно требованиям ПУЭ 7-го издания, где в настоящее время электропитание объекта осуществляется по фидеру ВЛ-10 кВ с ненадежным резервным источником питания, что не соответствует нормативам для потребителей 1-й категории. Проведен анализ трех технических решений: 1) подключение к распределительным устройствам подстанций УК и ЯК одной из российских железных дорог было исключено из-за значительной удаленности (8 и 14 км соответственно) и сложных топографических условий местности; 2) применение дизель-генераторной установки признано экономически и технически нецелесообразным вследствие ограниченного предложения отечественного оборудования требуемой мощности и сложностей сервисного обслуживания; 3) организация резервного питания от линии «два провода - рельс» с устройством трансформаторной подстанции 27,5/10 кВ. Последний вариант определен как оптимальное решение, имеющее ключевые преимущества: наличие технической возможности размещения оборудования на выделенном участке площадью 12 м² в полосе отвода, обеспечение надежного контура заземления через дроссель-трансформатор М32, а также полное соответствие действующим нормативным документам в области электроснабжения железнодорожного транспорта. Реализация предложенного технического решения с использованием линии «два провода - рельс» напряжением 27,5 кВ в качестве резервного источника питания обеспечит требуемую надежность электроснабжения поста ЭЦ в соответствии с категорическими требованиями.*

***Ключевые слова:** электрическая централизация, первая категория электроснабжения, резервирование питания, фидер «два провода - рельс», трансформаторная подстанция.*

Zelenskiy K.R., Leonov I.N., Puzina E.Yu.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

DEVELOPMENT OF TECHNICAL SOLUTIONS TO MEET THE REQUIREMENTS OF THE PUE FOR RESERVATION OF POWER SUPPLY OF EC POSTS

***Abstract.** The article considers the problem of ensuring uninterrupted power supply of the post of electric centralization of the LN station, located on one of the developing railways of Russia, and related to consumers of the first reliability category according to the requirements of the PUE 7th edition, where at present the power supply of the facility is carried out via a 10 kV VL feeder with an unreliable backup power source, which does not meet the standards for consumers of the 1st category. An analysis of three technical solutions was carried out: 1) connection to the distribution devices of the UK and YAK substations of one of the Russian railways was excluded due to significant remoteness (8 and 14 km, respectively) and complex topographic conditions of the area; 2) the use of a diesel generator set was recognized as economically and technically inexpedient due to the limited supply of domestic equipment of the required capacity and the complexity of servicing; 3) organization of backup power supply from the "two wires - rail" line with the installation of a 27.5/10 kV transformer substation. The last option is determined as the optimal solution with key advantages: the technical feasibility of placing equipment on a dedicated site of 12 m² in the right-of-way, ensuring a reliable grounding loop through the M32 choke-transformer, as well as full compliance with current regulatory documents in the field of power supply of railway transport. The implementation of the proposed technical solution using a 27.5 kV "two-wire-rail" line as a backup power source will ensure the required reliability of power supply to the EC post in accordance with the category requirements.*

***Keywords:** electrical centralization, first category of power supply, power backup, "two-wire-rail" feeder, transformer substation.*

Введение

В данной статье рассматривается разработка технических решений для обеспечения требований ПУЭ по резервированию питания постов электрической централизации, которые

относятся к потребителям первой категории [1]. К 1-й категории относят наиболее важные потребители, перерыв в электроснабжении которых может привести к несчастным случаям, крупным авариям, нанесению большого материального ущерба по причине выхода из строя целых комплексов оборудования и взаимосвязанных систем. Для электроснабжения потребителей 1-й категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого источника. В качестве третьего источника могут использоваться местные электростанции, электростанции энергосистем, агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи. К таким потребителям на железной дороге относят автоматические и полуавтоматические блокировки, посты электрической централизации, пункты обнаружения нагретых брукс.

Ко 2-й категории относят потребители, при отключении питания которых, останавливается работа важных городских систем, на производстве возникает массовый брак продукции, есть риск выхода из строя крупных взаимосвязанных систем, циклов производства. Электроприёмники 2-й категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания. При отказе одного из них допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного источника дежурным персоналом или оперативной выездной бригадой.

К потребителям 3-й категории относят оставшихся потребителей, которые не вошли в первые две категории. Обычно это небольшие населенные пункты, городские учреждения, системы, перерыв в электроснабжении которых не влечет за собой последствий. Также к данной категории относят многоквартирные жилые дома, частный сектор, дачные и гаражные кооперативы. Перерыв в электроснабжении потребителей данной категории, как правило, не более суток - на время выполнения аварийно-восстановительных работ.

Рассмотрим потребители 1-й категории, а именно посты электрической централизации. Посты электрической централизации на железной дороге - это пункты и объекты, связанные с эксплуатацией и обслуживанием электросетей и электротехнического оборудования на железнодорожных объектах. Пост электрической централизации обеспечивает функционирование сигналов (светофоров) и стрелок и их взаимосвязь; установку и замыкание маршрутов, контроль проследования поездов по маршрутам, размыкание маршрутов [2-3]. На некоторых станциях, помимо основных постов, используют модульные посты электрической централизации. Это готовые контейнерные здания с необходимой аппаратурой. Их применяют для размещения технологического оборудования систем сигнализации и блокировки, а также средств связи и радио при капитальном ремонте пути. Посты электрической централизации обычно размещают в непосредственной близости от железнодорожных путей. При этом важным аспектом проектирования является учёт перспективного развития инфраструктуры и прогнозируемых изменений в транспортных потоках. В соответствии с нормативными требованиями, обязательным условием является обеспечение физической доступности к управляемым объектам, в то время как требование прямой видимости не является критически значимым. Эти посты играют ключевую роль в обеспечении надежной и безопасной работы железнодорожных электросетей и оборудования. Поэтому требуют питания от 3-х независимых источников, причем среди двух резервных один обязательно должен быть автономным.

Также следует помнить о том, что при организации движения тяжеловесными поездами на электрифицированных железных дорогах [4-9] возможно наличие негативного влияния на качество электроэнергии, подводимой к постам электрической централизации [10-13].

В данной работе исследуется проблема, которая заключается в том, что в КШ-АН дистанции электроснабжения от подстанции «ОС», которая в данный момент принадлежит городу, отходит фидер ВЛ-10 кВ, от которого производится питание поста электрической централизации (ЭЦ), который расположен на станции ЛН. Данный пост электрической централизации является потребителем 1-й категории, но не имеет 3-го независимого резервного источника питания.

Цель данной работы является проведение всестороннего анализа альтернативных решений по созданию третьего независимого резервного источника питания для поста электрической централизации (ЭЦ) станции ЛН. На основании проведенного анализа необходимо осуществить обоснованный выбор оптимального варианта, обеспечивающего максимальную надежность и эффективность функционирования системы в условиях повышенной эксплуатационной нагрузки.

Разработка технических решений

В настоящее время авторами разработано несколько путей решения обозначенной выше проблемы [3]. В рамках комплексного анализа существующих технических решений для обеспечения бесперебойного функционирования системы электрической централизации на станции ЛН рассмотрен вариант установки третьего независимого резервного источника питания по нескольким вариантам.

Вариант № 1. В непосредственной близости от поста электрической централизации расположены две подстанции: УК и ЯК. Для оценки возможности использования данных подстанций в качестве резервных источников питания проведён детальный анализ их расположения относительно поста электрической централизации. Установлено, что расстояние от поста до подстанции УК составляет 8 километров, а до подстанции ЯК — 14 километров (рис.1). Принимая во внимание климатические условия и сложный рельеф местности, следует отметить, что строительство воздушной линии электропередачи между постом электрической централизации и подстанциями представляет собой технически сложную и экономически затратную задачу. Ввиду вышеуказанных факторов, данный способ признан нецелесообразным для реализации [14].

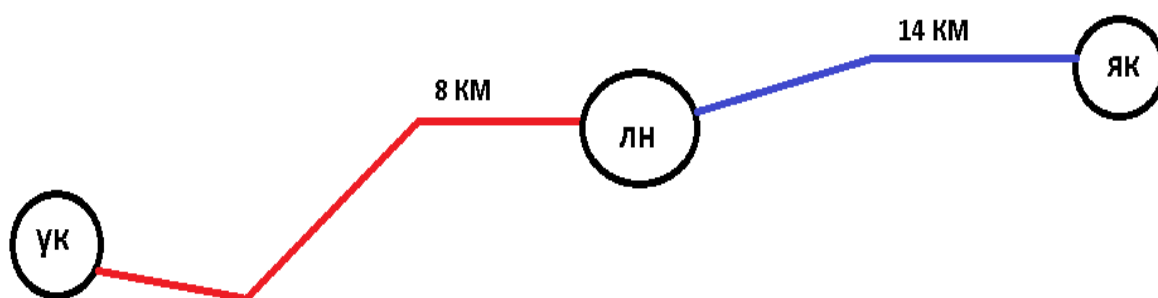


Рис. 1. Спутниковый снимок с указанием расстояния до поста ЭЦ от подстанций УК и ЯК

Вариант № 2. Вторым методологическим подходом к решению проблемы является внедрение третьего независимого резервного источника электропитания посредством установки дополнительного дизельного генератора (табл. 1). В ходе анализа доступных на рынке моделей дизельных генераторов выявлена значительная сложность, обусловленная геополитической ситуацией. Большинство производителей дизельных генераторов, имеющих более приемлемую стоимость, расположены в странах, недружественных по отношению к Российской Федерации, что существенно затрудняет процесс приобретения оборудования и комплектующих, а также оказывает негативное влияние на доступность технического обслуживания.

Альтернативой может служить использование дизельных генераторов отечественного производства, однако данный подход сопряжен с определенными трудностями. В частности, существует проблема ограниченного ассортимента моделей, соответствующих требуемым техническим характеристикам и имеющих сопоставимую с зарубежными моделями стоимость.

Параметры отечественных и зарубежных дизельных генераторов

Параметры	Отечественные дизель-генераторы		Зарубежные дизель-генераторы	
	TCC АД-50-T400-1PKM7	GFS-50	Yuchai (JAP)	MGE Cummins (USA)
Мощность, кВт	50	50/55	50/62	52/65
Напряжение, В	230/400	220/380	220/380	220/380
Вес, кг	1160	1310	4500	1510
Двигатель	Weichai	-	YC6B	Cummins
Цена, руб	1130600	1262600	706000	852000

Учитывая вышеупомянутые сложности, связанные с выбором и стоимостью дизельных генераторов, а также потенциальные риски, обусловленные санкционными ограничениями, принято решение отказаться от данного варианта. Это решение основывается на необходимости минимизации потенциальных рисков и обеспечения устойчивого функционирования системы электропитания в условиях существующих геополитических и экономических реалий.

Вариант № 3. Третьим способом решения проблемы является организация третьего независимого резервного источника питания с использованием фидера «два провода — рельс», проходящего рядом с постом электрической централизации. Этот способ позволяет зарезервировать воздушную линию напряжением 10 кВ, обеспечивающую питание поста. Для реализации данной идеи необходимо строительство распределительной трансформаторной подстанции с понижающим трансформатором мощностью 1600 кВА и классами напряжения 27,5/10 кВ в непосредственной близости от опор контактной сети. С этой целью изучена схема питания и секционирования контактной сети на участке КШ — АН с указанием поста ЭЦ (рис. 2).

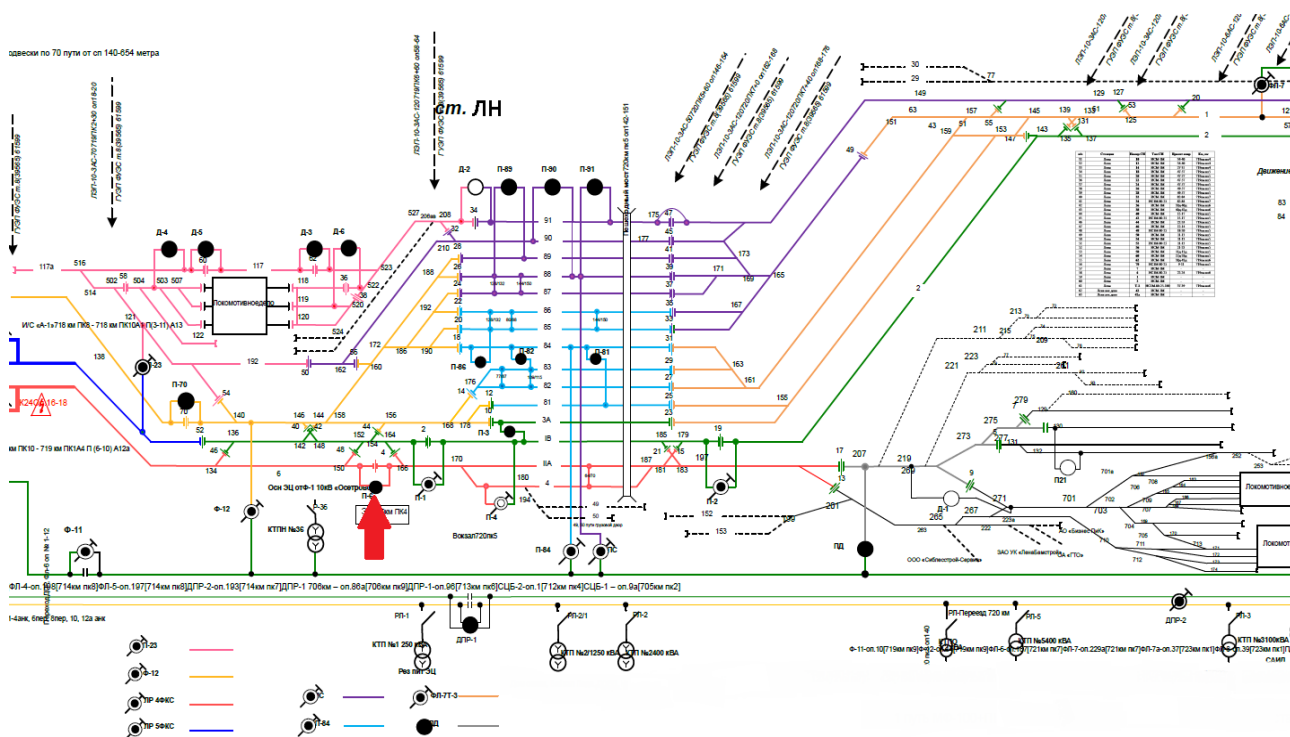


Рис. 2. Нормальная схема питания и секционирования контактной сети на участке КШ-АН с указанием поста ЭЦ

Выбрано ближайшее место к воздушной линии 10 кВ и контактной сети для строительства подстанции с учетом расположения автомобильной дороги (рис. 3). Участок находится в полосе отвода, его площадь составляет 12 м², и на нём нет коммуникаций. Дополнительно, в процессе разработки данного способа организации третьего независимого резервного источ-

ника питания выбрано место для заземления распределительной трансформаторной подстанции: к средней точке дроссель-трансформатора М32 станции ЛН, что обеспечивает дополнительную надежность и безопасность системы питания (рис. 4). Таким образом, предложенный способ представляет собой высокоэффективное решение для обеспечения бесперебойного питания поста электрической централизации, основанное на использовании современных технических решений и нормативных требований [15].

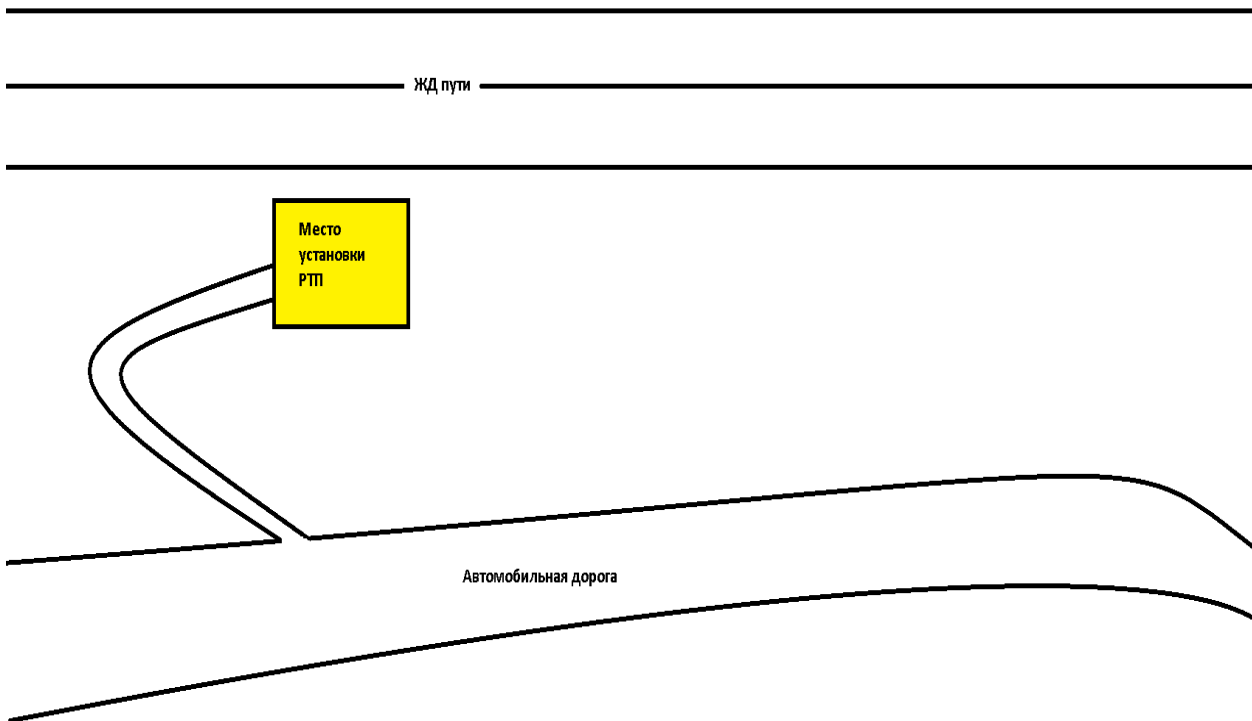


Рис. 3. Место установки распределительной трансформаторной подстанции РПТ-1600/27.5/10

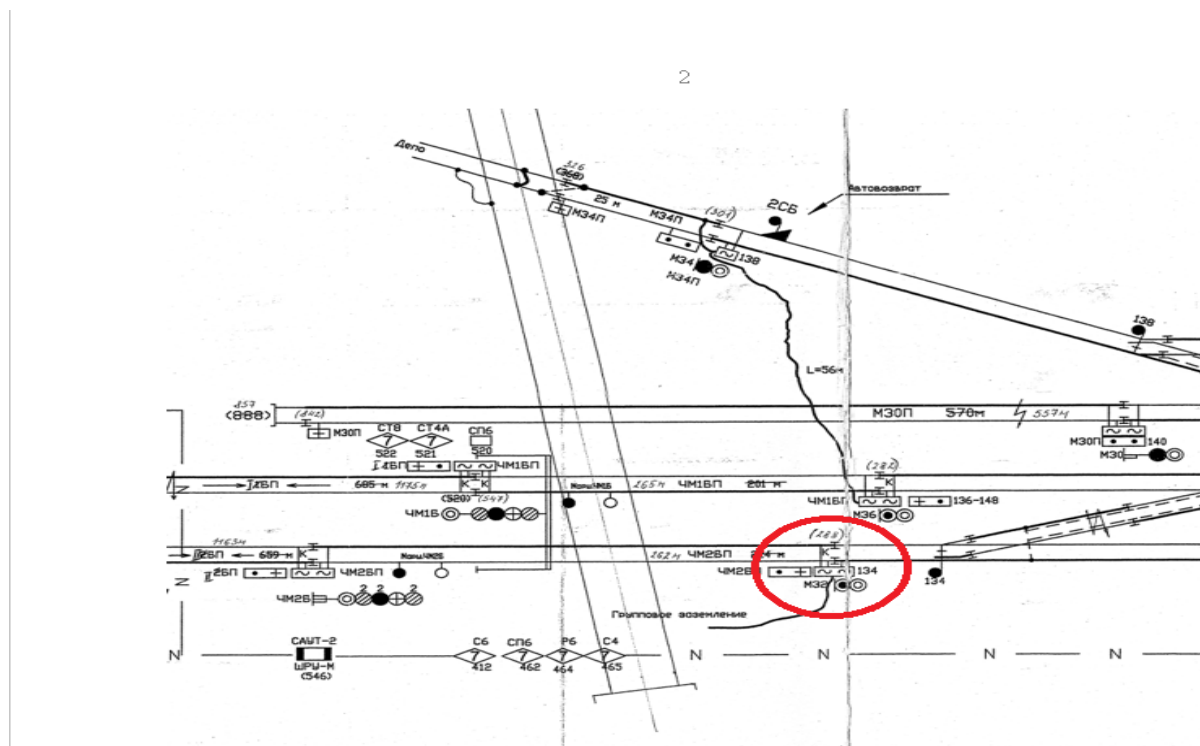


Рис. 4. Место для заземления распределительной трансформаторной подстанции: к средней точке дроссель-трансформатора М32 станции ЛН

Заключение

В результате проведенного исследования по обеспечению бесперебойного функционирования системы электрической централизации на станции ЛН рассмотрены три возможных технических решения: установка дополнительного резервного источника питания от существующих подстанций УК и ЯК признана нецелесообразной из-за значительных расстояний (8 и 14 км соответственно) до подстанций и сложных климатических условий региона. Вариант с установкой дизельного генератора оказался проблематичным в связи с геополитической ситуацией, сложностями с поставками оборудования и ограниченным ассортиментом отечественных моделей, соответствующих необходимым техническим характеристикам. Наиболее эффективным и реализуемым решением признано использование фидера «два провода — рельс» с организацией распределительной трансформаторной подстанции 27,5/10 кВ.

Данный способ имеет следующие преимущества:

- наличие необходимого пространства (12 м²) в полосе отвода без коммуникаций;
- получение разрешения на заземление к дроссель-трансформатору МЗ2;
- соответствие современным техническим требованиям и нормативным документам;
- обеспечение дополнительной надежности и безопасности системы питания.

Таким образом, оптимальным решением проблемы является реализация третьего предложенного способа, который обеспечивает надежное и бесперебойное электроснабжение поста электрической централизации с учетом всех существующих технических и экономических ограничений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПУЭ, изд. 7-е.: НТД. М.: ЭНАС, 2013. URL: <https://tech-expo.ru/pue/> (дата обращения: 23.05.2025).
2. Давыдова И.К., Попов Б.И., Эрлих В.М. Справочник по эксплуатации тяговых подстанций и постов секционирования [Текст] / И. К. Давыдова, Б. И. Попов, В. М. Эрлих. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Транспорт, 1978. - 416 с.
3. СТО РЖД 12.003-2011 «Требования к техническому обслуживанию и ремонту тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств тягового электроснабжения».
4. Крапивин М.И., Пузина Е.Ю. Разработка предложений по устранению лимитирующих межподстанционных зон при развитии Восточного полигона // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта: сборник трудов Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2024. С. 61–65.
5. Бардушко А.Ю., Куцкий А.П. Повышение пропускной способности электрифицированного участка железной дороги Якурим-Киренга на перспективу // Молодая наука Сибири. 2023. №4 (22). С. 182-193.
6. Куцкий 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.
7. Крапивин М.И., Куцкий А.П., Пузина Е.Ю. Разработка технических решений по увеличению пропускной способности системы тягового электроснабжения участка Восточного полигона // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Москва. 2024. С. 180-186.
8. Пузина Е.Ю. Увеличение пропускной и провозной способности системы тягового электроснабжения Восточного участка БАМа // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2025. № 1 (65). С. 99-108.
9. 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.

10. Овечкин И.С., Пузина Е.Ю. Организация бесперебойного питания устройств автоблокировки при внедрении системы АБТЦ-МШ // Техничко-экономические проблемы развития регионов. Материалы XXVI научно-практической конференции с международным участием. Иркутск. 2023. С. 213-217.
11. Пузина Е.Ю. Повышение надежности электроснабжения постов электрической централизации Восточного полигона // Транспорт Урала. 2024. № 1 (80). С. 110-115.
12. Овечкин И.С., Пузина Е.Ю. Разработка технических решений по уменьшению искажения синусоидальности кривой напряжения воздушных линий, питающих устройства автоблокировки // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 3 (79). С. 112-123.
13. Овечкин И.С., Пузина Е.Ю. Снижение несимметрии напряжения воздушных линий, питающих устройства автоблокировки // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 4 (60). С. 84-95.
14. Бесков Б.А., Геронимус Б.Е., Давыдов В.Н., Крестьянов М.Е., Марквардт Г.Г., Минин Г.А. Под общ. ред. инж. Перцовского Л.М. — Учебное пособие для высших учебных заведений ж.д. транспорта. — М: Трансжелдориздат, 1963. — 471 с.
15. Давыдов, В.Н. Справочник по проектированию, монтажу и эксплуатации устройств энергоснабжения электрической тяги [Текст] / В.Н. Давыдов, В.П. Луппов, А.А. Вашурин. — М.: Транспорт, 1967. — 312 с.

REFERENCES

1. PUE, 7th ed.: NTD. M.: ENAS, 2013. URL: <https://tech-expo.ru/pue/> (date of access: 23.05.2025).
2. Davydova I.K., Popov B.I., Erlich V.M. Handbook on the operation of traction substations and sectioning posts [Text] / I.K. Davydova, B.I. Popov, V.M. Erlich. - 2nd ed., revised. and additional - M: Transport, 1978. - 416 p.
3. STO RZhD 12.003-2011 "Requirements for the maintenance and repair of traction substations, transformer substations and linear devices of traction power supply".
4. Krapivin M.I., Puzina E.Yu. Development of proposals for the elimination of limiting inter-substation zones in the development of the Eastern Polygon // Research and development of rail and road transport: collected papers of the International scientific and practical conference. Ekaterinburg, 2024. Pp. 61–65.
5. Bardushko A.Yu., Kutsyi A.P. Increasing the throughput capacity of the electrified section of the Yakurim-Kirenga railway for the future // Young Science of Siberia. 2023. No. 4 (22). Pp. 182–193.
6. Kutsyi A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Analysis of the efficiency of applying organizational and technical methods to increase the throughput capacity of the traction network of a double-track mountain pass section // Young Science of Siberia. 2022. No. 3 (17). P. 56-63.
7. Krapivin M.I., Kutsyi A.P., Puzina E.Yu. Development of technical solutions to increase the throughput capacity of the traction power supply system of the Eastern Polygon section // Problems of Electric Power Industry and Telecommunications of the North of Russia. Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference. Moscow. 2024. P. 180-186.
8. Puzina E.Yu. Increasing the throughput and carrying capacity of the traction power supply system of the Eastern section of the BAM // Bulletin of the Ural State University of Railway Engineering. 2025. No. 1 (65). P. 99-108.
9. 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. P. 012153.
10. Ovechkin I.S., Puzina E.Yu. Organization of uninterruptible power supply of automatic blocking devices during the implementation of the ABTC-MSh system // Technical and economic problems of regional development. Proceedings of the XXVI scientific and practical conference with international participation. Irkutsk. 2023. P. 213-217.

11. Puzina E.Yu. Improving the reliability of power supply of electrical centralization posts of the Eastern Polygon // Transport of the Urals. 2024. No. 1 (80). P. 110-115.
12. Ovechkin I.S., Puzina E.Yu. Development of technical solutions to reduce the distortion of the sinusoidality of the voltage curve of overhead lines supplying automatic blocking devices // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2023. No. 3 (79). P. 112-123.
13. Ovechkin I.S., Puzina E.Yu. Reducing the voltage asymmetry of overhead lines supplying automatic blocking devices // Bulletin of the Ural State Transport University. 2023. No. 4 (60). P. 84-95.
14. Beskov B.A., Geronimus B.E., Davydov V.N., Krestyanov M.E., Marquardt G.G., Minin G.A. Under the general editorship of engineer L.M. Pertsovsky. — Textbook for higher educational institutions of railway transport. — M: Transzheldorizdat, 1963. — 471 p.
15. Davydov, V.N. Handbook of design, installation and operation of electric traction power supply devices [Text] / V.N. Davydov, V.P. Luppov, A.A. Vashurin. — M.: Transport, 1967. — 312 p.

Информация об авторах

Зеленский Кирилл Романович – студент гр. СОД.1-22-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kirill.zel04@mail.ru

Леонов Иван Николаевич – студент гр. СОД.1-22-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: esleon900133@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

Zelensky Kirill Romanovich – student g. SOD.1-22-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kirill.zel04@mail.ru

Leonov Ivan Nikolaevich – student g. SOD.1-22-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: esleon900133@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