

А. Е. Исаков, С.С. Урлапов, Е.Ю. Пузина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, Российская Федерация

УСИЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ТР - ВД РОССИЙСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Аннотация. Целью данной работы является проверка необходимости усиления системы тягового электроснабжения на участке ТР – ВД одной из российских железных дорог для обеспечения пропускной способности тяжелых поездов согласно перспективным размерам движения на 2030 год, так как с нарастанием промышленного потенциала страны увеличиваются и объемы грузоперевозок посредством железнодорожного сообщения. В связи с этим возникает проблема реализации движения на сложных участках Восточного полигона. Система тягового электроснабжения на рассматриваемом участке оказалась не способна обеспечить необходимую пропускную способность, поэтому принято решение о рассмотрении вариантов усиления системы тягового электроснабжения.

В статье рассмотрены несколько вариантов усиления системы тягового электроснабжения на участке ТР – ВД, которые позволяют повысить уровень напряжения в контактной сети. В результате анализа и сравнения предлагаемых вариантов определено, что наиболее оптимальным является комбинированный вариант с монтажом усиливающего провода в контактной сети и установкой дополнительного силового трансформатора на тяговые подстанции КЖ и ВД.

Этот комбинированный вариант позволит обеспечить необходимую пропускную способность для прохода тяжелых поездов на указанном участке и будет способствовать развитию промышленного потенциала страны. Установка дополнительного силового трансформатора позволит повысить уровень напряжения на тяговых подстанциях, что обеспечит более эффективную передачу энергии к контактной сети. Монтаж усиливающего провода в контактной сети также повышает ее энергоемкость и позволяет обеспечивать надежную и стабильную поставку электроэнергии для работы поездов.

В итоге, реализация комбинированного варианта усиления системы тягового электроснабжения на участке ТР - ВД будет способствовать развитию железнодорожной инфраструктуры и обеспечению эффективных грузоперевозок до 2030 года.

Ключевые слова: усиление системы электроснабжения, пропускная способность, силовые трансформаторы, система тягового электроснабжения.

A.E. Isakov, S.S. Uralov, E.Yu. Puzina

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

STRENGTHENING THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM ON THE SITE TR - VD RUSSIAN RAILWAY

Annotation. The purpose of this work is to check the need to strengthen the traction power supply system on the TR-VD section of one of the Russian railways to ensure the passage of heavy trains in accordance with the prospective traffic volumes for 2030, since with the growth of the country's industrial potential, the volume of freight traffic by rail also increases. In this regard, there is a problem of the implementation of traffic in difficult areas of the Eastern range. The traction power supply system in the area under consideration turned out to be unable to provide the necessary throughput, so a decision was made to consider options for strengthening the traction power supply system.

The article considers several options for strengthening the traction power supply system in the TR-VD section, which allow increasing the voltage level in the contact network. As a result of the analysis and comparison of the proposed options, it was determined that the most optimal is the combined option with the installation of a reinforcing wire in the contact network and the installation of an additional power transformer at the KZh and VD traction substations.

This combined option will provide the necessary capacity for the passage of heavy trains on the specified section and will contribute to the development of the country's industrial potential. Installing an additional power transformer will increase the voltage level at traction substations, which will ensure more efficient energy transfer to the contact network. The installation of a reinforcing wire in the contact network also increases its energy intensity and makes it possible to provide a reliable and stable supply of electricity for the operation of trains.

As a result, the implementation of a combined option for strengthening the traction power supply system in the TR-VD section will contribute to the development of the railway infrastructure and ensure efficient freight transportation until 2030.

Keywords: reinforcement of the power supply system, system throughput, power transformers, traction power supply system.

Введение

Железнодорожный транспорт является одним из основных видов транспорта, используемых для перевозки грузов и пассажиров. Одним из ключевых элементов железнодорожной инфраструктуры [1] является система тягового электроснабжения, которая обеспечивает передачу электрической энергии к тяговым подстанциям и локомотивам. В связи с увеличением объема грузоперевозок, вызывающем увеличение нагрузок в нормальном режиме работы на все элементы и узлы системы электроснабжения, утяжеляющем течение аварийных режимов работы [2-5] и также развитием технологий, необходимо постоянно улучшать и модернизировать систему тягового электроснабжения [6-13]. В данной работе рассмотрен участок ТР - ВД на предмет необходимости усиления системы тягового электроснабжения (СТЭ) с целью осуществления пропуска поездов согласно перспективным размерам движения на 2030 год.

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

В данной работе для анализа выбран один из наиболее сложных участков Восточного полигона – ТР - ВД протяженностью 460 км. На данном участке имеются крутые подъёмы с уклоном 8,6‰ протяженностью 14 км и спуски с уклоном 8,8‰ протяженностью 10 км, из-за чего возникают ограничения в пропуске тяжеловесных поездов.

Моделирование размеров движения и расчеты по определению параметров режима работы СТЭ заданного участка произведены с помощью программного комплекса КОРТЭС. Профиль пути показан на рис. 1.

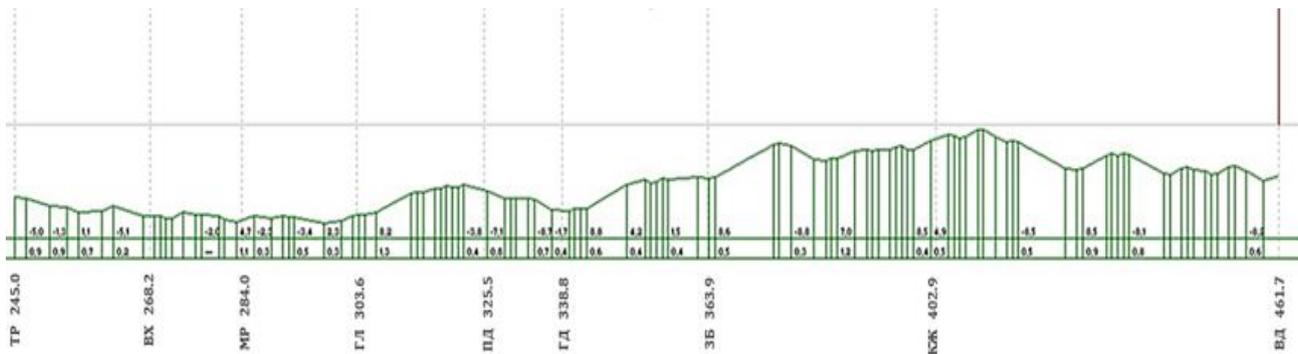


Рис. 1. Профиль пути участка ТР - ВД

Моделируемый график движения показан на рис. 2. Согласно существующим размерам движения для анализа организован пакетный график движения с интервалом 10 минут. Размеры движения в четном направлении представляют собой три состава массой 7100 т, один состав массой 6300 т и один состав 4000 т, в нечетном направлении пакет поездов массой 3000 т, при котором каждый 4-й состав массой 6300 т.

В результате моделирования в программном комплексе КОРТЭС получен недопустимый уровень напряжения в контактной сети (КС) на участке «КЖ – ВД», минимальное – 19,71 кВ и трёхминутное – 20,02 кВ.

По результатам проверки пропускной способности, можно увидеть, что, уровень напряжения на участке ТР – КЖ соответствует нормативному значению, а участок КЖ-ВД нуждается в усилении, что отражено на рис.3.

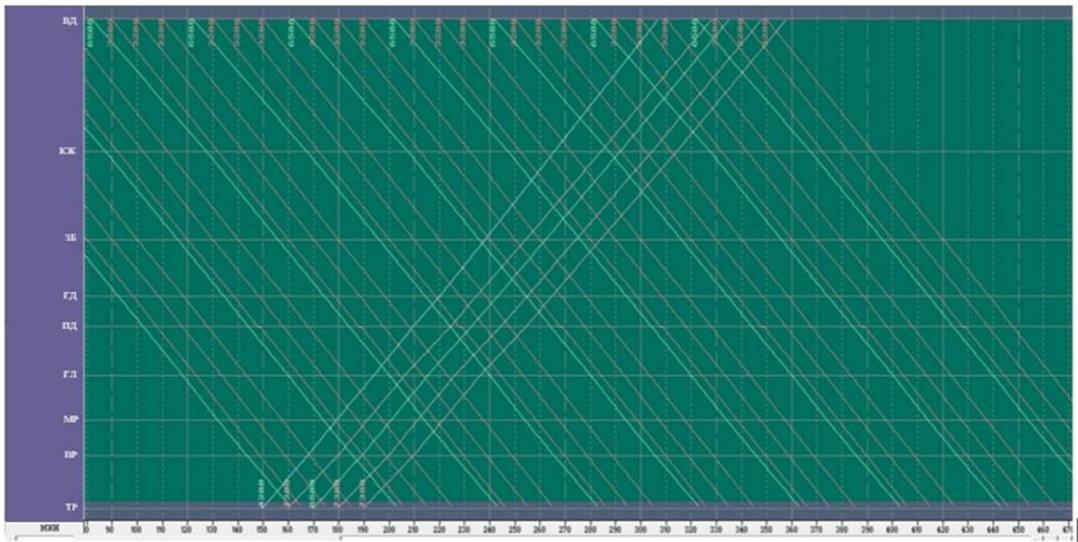


Рис. 2. Моделируемый график движения

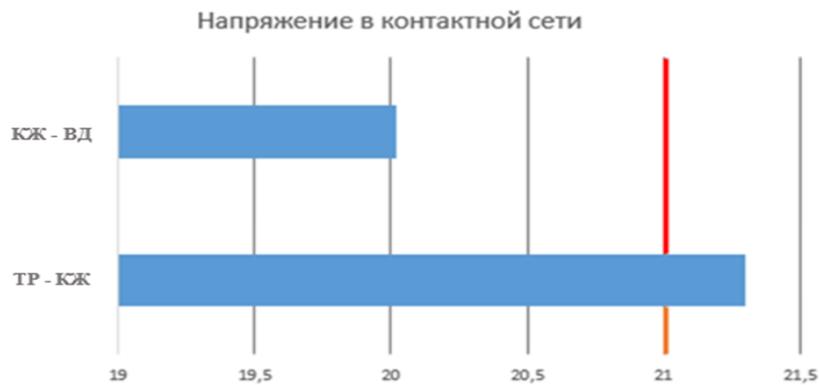


Рис. 3. Сравнительная диаграмма минимальных напряжений

Предложения по усилению системы тягового электроснабжения

Для увеличения напряжения в КС возможно использовать несколько способов усиления СТЭ [14-18], таких как:

1. Установка устройства продольной компенсации в отсасывающей линии и в плечах тяговых подстанциях;
2. Установка дополнительного силового трансформатора на тяговых подстанциях;
3. Монтаж усиливающего провода в контактной сети.

Для достижения более существенного эффекта по повышению напряжения в КС возможно использование устройств продольной компенсации (УПК), которые снижают комплексное сопротивление тяговой сети и тягового электроснабжения и приводят к уменьшению потерь напряжения.

Включение дополнительного силового трансформатора (СТ) позволит более равномерно распределить нагрузку на силовые трансформаторы подстанции и, соответственно, снизить загруженность уже установленного на подстанции трансформатора, а также увеличить напряжение в контактной сети. Снижение загрузки силовых трансформаторов будет способствовать продлению остаточного ресурса оборудования, повышению надежности работы аппаратуры тяговых подстанций и СТЭ в целом.

Монтаж усиливающего провода марки А-185 приводит к снижению общего электрического сопротивления, а также к увеличению уровня напряжения в контактной сети.

Результаты расчета параметров рабочего режима системы тягового электроснабжения по всем трем предложенным вариантам усиления приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры режима работы СТЭ исследуемого участка при усилении СТЭ

Номер и наименование способа усиления	Параметры режима работы СТЭ					
	Напряжение в КС, кВ		Коэффициент загрузки СТ	Температура нагрева обмоток СТ, °С	Температура нагрева провода, °С	
	минимальное	трёх-минутное			КС	фазы С
1. Установка УПК мощностью 19200 кВАр на ТП КЖ и ВД	19,32	19,65	1,41	74	38	35
2. Установка УПК мощностью 9600 кВАр на ТП КЖ и ВД	20,46	20,75	1,41	76	42	35
3. Установка УПК мощностью 14400 кВАр в правое плечо ТП КЖ и левое плечо ТП ВД	19,91	20,18	1,42	73	36	35
4. Установка УПК мощностью 9600 кВАр в правое плечо ТП КЖ и левое плечо ТП ВД	20,75	20,97	1,42	73	36	35
5. Установка дополнительного СТ на ТП КЖ	20,11	20,46	1,41	72	43	33
6. Установка дополнительного СТ на ТП ВД	20,30	20,92	1,41	73	39	38
7. Установка дополнительного СТ на ТП КЖ и ВД	20,76	21,01	1,41	72	43	36
8. Монтаж усиливающего провода в КС	20,55	20,88	1,40	73	41	32
9. Установка УПК мощностью 9600 кВАр в правое плечо ТП КЖ и дополнительного СТ на ТП ВД	20,76	20,99	1,42	73	36	36
10. Монтаж усиливающего провода в КС и дополнительного СТ на ТП КЖ и ВД	21,55	21,62	1,41	73	42	36

Исходя из полученных результатов, при сравнении способов усиления системы тягового электроснабжения исследуемого участка, видно, что самым оптимальным способом усиления является монтаж усиливающего провода в контактную сеть и установка дополнительного силового трансформатора на тяговые подстанции КЖ и ВД, так как при этом все параметры режима работы СТЭ соответствуют требуемым значениям, в то время как в случае применения других способов усиления минимальное одномоментное напряжение в контактной сети опускалось ниже 21 кВ.

Заключение

В процессе моделирования СТЭ на участке ТР - ВД с учетом пропуска поездов по перспективным размерам движения на 2030 год определено, что для увеличения пропускной способности данный участок нуждается в усилении системы тягового электроснабжения, так как она имеет определенные проблемы при пропуске интенсивного пакета поездов с интервалом 10 мин, а именно – низкое напряжение в контактной сети, явные перегрузки тяговых трансформаторов на ТП КЖ и ВД. Данные проблемы могут быть решены только при усилении системы тягового электроснабжения.

Все предложенные варианты усиления, за исключением одного, приводят к увеличению напряжения в контактной сети, но их значения, по-прежнему не соответствуют нормативным. Единственным способом усиления, который приводит при заданном межпоездном интервале параметры режима работы СТЭ данного участка к требуемым, является монтаж усиливающего провода в контактной сети исследуемого участка и установка дополнительного силового трансформатора на тяговые подстанции КЖ и ВД. Такой способ усиления не только решит проблему пропускной способности исследуемого участка, но и позволит в перспективе существенно увеличить объем грузоперевозок и надежность работы СТЭ [19-20] исследуемого участка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
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. Крюков А.В., Куцкий А.П., Черепанов А.В. Улучшение качества электроэнергии в сетях 110-220 кВ, питающих тяговые подстанции. Электроэнергетика глазами молодежи-2017. Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. 318-321.
4. I. A. Khudonogov, E. Y. Puzina and A. G. Tuigunova, "Modeling Turn Insulation Thermal Aging Process for Traction Substation Transformer," 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020, pp. 1-5.
5. Востриков М.В., Менакер К.В., Пультяков А.В. Прогнозирование динамики пусковых и переходных токов с целью повышения селективности микропроцессорных устройств релейной защиты фидеров контактной сети. Транспорт Урала. 2021. № 1 (68). С. 86-92.
6. 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.
7. Пузина Е.Ю. Целесообразность применения системы мониторинга силовых трансформаторов. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2013. С.167-171.
8. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
9. Филиппов Д.М., Ступицкий В.П., Лобанов О.В. Проблемы диагностики параметров контактной сети. Молодая наука Сибири. 2021. № 2(12). С. 125-131.
10. 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.
11. Воронина Е.В., Куцкий А.П. Модернизация пути и повышение пропускной способности однопутного электрифицированного участка железной дороги Якурим-Киренга. Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 196-204.
12. Жоглик И.В., Пузина Е.Ю. Автоматизированная интеллектуальная система непрерывного компьютерного контроля и диагностики силового оборудования. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 21-25 апреля, 2015 г.): под общей редакцией В.В. Федчишина. - Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015.-Т.2.- С. 104-109.
13. Ступицкий В.П., Худоногов И.А., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. Повышение достоверности диагностирования состояния несущего троса контактной сети. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1 (65). С. 136-143.
14. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.
15. A. Cherepanov, A. Kutsiy, "Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation," International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, 2018.
16. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро-Таксимо

ВСЖД. Транспорт: наука, образование, производство. Труды международной научно-практической конференции. Ростовский государственный университет сообщения. 2016. С. 306-310.

17. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим-Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой 7100 т. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 166-174.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

REFERENCES

1. 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.

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. Kryukov A.V., Kutsiy A.P., Cherepanov A.V. Improving the quality of electricity in 110-220 kV networks supplying traction substations. Electric power industry through the eyes of youth-2017. Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference. 2017. 318-321.

4. I. A. Khudonogov, E. Y. Puzina and A. G. Tuigunova, "Modeling Turn Insulation Thermal Aging Process for Traction Substation Transformer," 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020, pp. 1-5.

5. Vostrikov M.V., Menaker K.V., Pulyakov A.V. Forecasting the dynamics of starting and transient currents in order to increase the selectivity of microprocessor devices for relay protection of catenary feeders. Ural transport. 2021. No. 1 (68). pp. 86-92.

6. 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.

7. Puzina E.Yu. The feasibility of using a monitoring system for power transformers. Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. 2013. P.167-171.

8. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1-5, 2017.

9. Filippov D.M., Stupitsky V.P., Lobanov O.V. Problems of diagnosing the parameters of the contact network. Young science of Siberia. 2021. No. 2(12). pp. 125-131.

10. Zakharova M.Yu., Puzina E.Yu. Features of the energy survey of oil and gas complexes. Improving the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (Irkutsk, April 22-26, 2014): edited by V.V. Fedchishin. -Irkutsk: Publishing House of IRSTU, 2014.- Vol.2.- pp.235-240.

11. Voronina E.V., Kutsy A.P. Modernization of the track and increasing the capacity of the single-track electrified section of the Yakurim-Kirenga railway. The young science of Siberia. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.

12. Zhoglik I.V., Puzina E.Yu. Automated intelligent system of continuous computer control and diagnostics of power equipment. Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia:

materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (Irkutsk, April 21-25, 2015): under the general editorship of V.V. Fedchishin. - Irkutsk: Publishing House of IRNITU, 2015.-V.2.- S. 104-109.

13. V. P. Stupitsky, I. A. Khudonogov, V. A. Tikhomirov, and O. V. Lobanov, Russ. Improving the reliability of diagnosing the state of the carrier cable of the contact network. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2020. No. 1 (65). pp. 136-143.

14. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271385.

15. A. Cherepanov, A. Kutsiy, "Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation," International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, 2018.

16. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Churo-Taksimo section of the VSZHD. Transport: science, education, production. Proceedings of the International scientific and practical conference. Rostov State University of Communications. 2016. pp. 306-310.

17. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the capacity of the Yakurim-Kirenga section to ensure the schedule of trains with a maximum mass of 7,100 tons. The young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 166-174.

18. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim-Kirenga section to provide traction for twin electric rolling stock weighing 14200 tons. The young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 137-149.

19. 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.

20. 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. Т 1. S. 328-332.

Информация об авторах

Исаков Андрей Евгеньевич – студент гр. СОД.1-20-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: isakovandrej28@gmail.com

Урлапов Сергей Сергеевич – студент гр. СОД.1-20-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: worden472754@gmail.com

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, к. т. н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: lana-rus05@mail.ru

Authors

Isakov Andrey Evgenievich – student g. SOD.1-20-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: isakovandrej28@gmail.com

Urlapov Sergey Sergeevich – student g. SOD.1-20-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: worden472754@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, Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: lana-rus05@mail.ru