

*А. П. Куцкий, И. С. Овечкин, А. А. Галков*

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ЯКУРИМ – КИРЕНГА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ Поездов С МАКСИМАЛЬНОЙ МАССОЙ 7100 ТОНН**

**Аннотация.** *В настоящее время Правительство Российской Федерации, совместно с руководством ООО «РЖД» видят в стратегическом положении Байкало-Амурской магистрали, его огромный технико-экономический потенциал, который будет востребован в обозримом будущем [1].*

*В статье рассмотрены вопросы эффективности применения технических способов усиления системы тягового электроснабжения 2х25кВ двухпутного участка Якурим – Киренга. По результатам проведенного моделирования в программном комплексе Кортэс, предложен оптимальный комплексный вариант усиления системы тягового электроснабжения для обеспечения тяги электроподвижных составов массой 7100 тонн.*

**Ключевые слова:** *система тягового электроснабжения, БАМ, Кортэс, напряжение, электроподвижной состав.*

*A. P. Kutsyi, I. S. Ovechkin, A. A. Galkov*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **INCREASING THE CAPACITY OF THE YAKURIM – KIRENGA SECTION TO ENSURE THE SCHEDULE OF TRAINS WITH A MAXIMUM WEIGHT OF 7100 TONS**

**Abstract.** *Currently, the Government of the Russian Federation, together with the management of Russian Railways LLC, see in the strategic position of the Baikal-Amur mainline, its huge technical and economic potential, which will be in demand in the foreseeable future [1].*

*The article considers the issues of the effectiveness of the application of technical methods for strengthening the 2X25 kV traction power supply system of the Yakurim – Kirenga double-track section. Based on the results of the simulation carried out in the Kortés software package, the optimal integrated option for strengthening the traction power supply system to provide traction for electric rolling stock weighing 7,100 tons is proposed.*

**Keywords:** *traction power supply system, BAM, Kortés, voltage, electric rolling stock.*

### **Введение**

Проект расширения Байкало-Амурской магистрали предусматривает строительство второй ветки магистрали на большей части пути, электрификацию отдельных участков и замену подвижного состава. Потребность в перевозках по Байкало-Амурской магистрали к 2025 году составит около 100 миллионов тонн грузов.

В общей сложности на развитие железнодорожной сети в стране в 2021 году потратят порядка 730 млрд руб., до 2023-го — свыше 2 трлн руб. Инвестиционная программа РЖД была одобрена в конце декабря прошлого года. Значение стальной магистрали как надежного звена экономики России трудно переоценить. На нее приходится более 85% общего грузооборота страны.

В соответствии с паспортом инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей (второй этап)», утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2021 г. № 1100-р, будут реализованы мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры с достижением в IV квартале 2024 года на участке Лена-Восточная – Таксимо провозной способности в 51,2 млн. тонн в год в грузовом направлении с предельной массой грузового состава в 7100 тонн.

Запланированные объемы перевозок не могут быть полноценно обеспечены без усиления системы тягового электроснабжения 2х25 кВ, которая осуществляет питание электрифицированного подвижного состава на данном участке.

Разработка проектной документации с целью повышения пропускной способности Байкало-Амурская магистрали не может обойтись без современных средств компьютерного моделирования и математического анализа, тем более при наличии столь сложного и специфического объекта.

### Расчетные данные для моделирования

Участок Якурим – Киренга является сложным горно-перевальным участком железной дороги, электрифицированным по системе 2х25 кВ. На участке расположено 4 тяговые подстанции от Лены-Восточной (город Усть-Кут) до Киренги. Профиль пути участка представлен на рисунке 1.

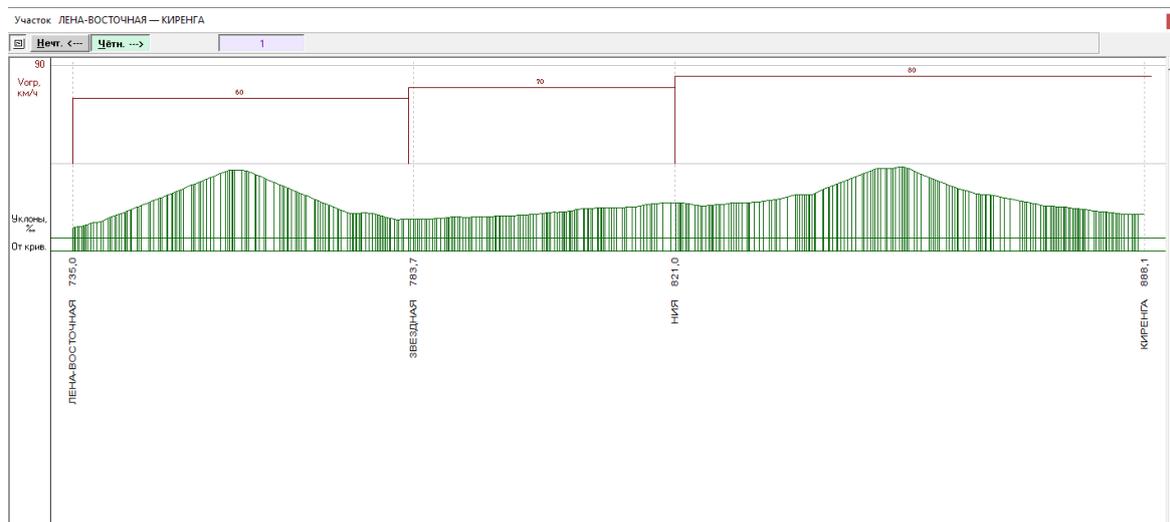


Рис. 2. Профиль пути участка Лена-Восточная – Киренга

В таблице 1 приведены расположение и расстояния между тяговыми подстанциями (далее – ТП). На рисунке 2 изображена схема питания и секционирования тяговой сети рассматриваемого участка.

Таблица 1 – Расположение и название тяговых подстанций

Название тяговой подстанции	Расположение, км	Расстояние между ТП, км
Якурим	734,6	0
Таюра	785,6	51
Ния	821,5	35,9
Киренга	890,6	69,1

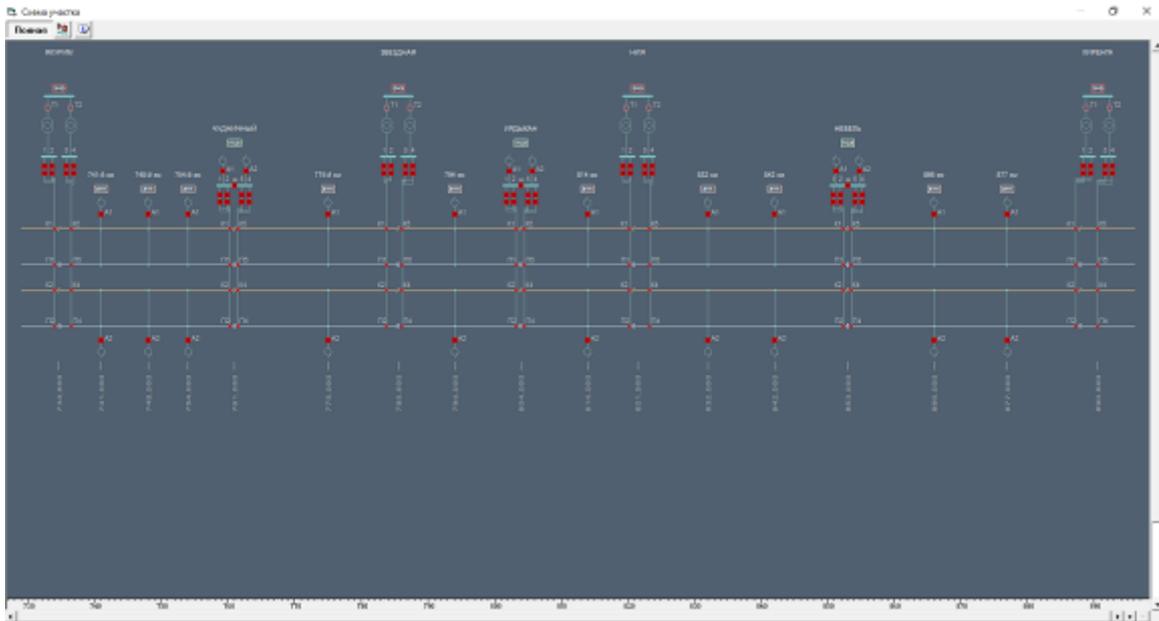


Рис. 1. Схема питания и секционирования тяговой сети участка Якурим - Киренга

### Тяговый расчет и график движения

В соответствии с графиком достижения целевых показателей инвестиционного проекта "Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей» в конце 4-го квартала 2024 года провозная способность на рассматриваемом участке должна составлять 51,2 млн. тонн в год в грузовом направлении, а масса подвижного состава – до 7100 тонн.

Результаты тягового расчета подвижного состава массой 7100 тонн в нечетном и четном направлениях приведены на рисунках 3,4 и в таблицах 2, 3. Для осуществления движения грузового состава в нечетном и четном направлениях, необходимо включить по 3 тяговых локомотива в каждый состав.



Рис. 3. Результаты тягового расчета состава массой 7100 тонн в нечетном направлении



Рис. 4. Результаты тягового расчета состава массой 7100 тонн в четном направлении

Таблица 2 – Результаты тягового расчета грузового состава массой 7100 тонн в нечетном и четном направлении

Нечетное направление					
Расход энергии: 17676.4 кВт·ч; рекуперация 7645.3 кВт·ч; (43.3%)					
Удельный расход: активн. 15.0 Вт·ч/т·км; полн. 28.0 В·А·ч/т·км					
Техническая скорость: 64.3 км/ч					
Макс. ток поезда 1303 А на км 836.80					
Макс. перегрев обмоток двиг. 81° (доп. 120°) на км 852.96					
П е р е г о н	Длина, км	Время хода, мин		Расход энергии	
		полн.	п.током		
Киренга - Ния	67.1	55.4	43.9	9198.1	14441.6
Ния - Звездная	37.3	34.9	9.0	688.9	1754.2
Звездная - Лена-Восточн	48.7	52.5	45.1	7789.2	16698.2
Киренга - Лена-Восточна	153.1	142.9	97.9	17676.4	32894.0
Четное направление					
Расход энергии: 20829.9 кВт·ч; рекуперация 7245.5 кВт·ч; (34.8%)					
Удельный расход: активн. 17.7 Вт·ч/т·км; полн. 30.5 В·А·ч/т·км					
Техническая скорость: 64.1 км/ч					
Макс. ток поезда 1304 А на км 855.19					
Макс. перегрев обмоток двиг. 91° (доп. 120°) на км 757.70					
П е р е г о н	Длина, км	Время хода, мин		Расход энергии	
		полн.	п.током		
Лена-Восточная - Звездная	48.7	53.5	48.2	9647.0	17653.1
Звездная - Ния	37.3	35.3	20.2	4317.7	4959.0
Ния - Киренга	67.1	54.5	46.0	6864.9	13286.4
Лена-Восточная - Киренг	153.1	143.3	114.5	20829.9	35898.4

В соответствии с планируемыми объемами грузоперевозок на рассматриваемом участке, которые на конец 2024 года должны составлять 51,2 млн. тонн в год при массах поездов до 7100 тонн, необходимо провести анализ пропускной способности рассматриваемого участка Якурим – Киренга, получить значения рассматриваемых критериев и предложить возможные варианты усиления системы для достижения требуемой пропускной способности.

В качестве используемого суточного графика движения выбран график состоящий из 36 пар поездов массой 7100 тонн, который отвечает максимальным требованиям инвестиционного проекта на 2025 год. Если обеспечить пропускную способность в соответствии с предложенным, наиболее тяжелым, графиком движения, то можно утверждать, что остальные случайные или пакетные графики движения смогут быть обеспечены мощностями рассматриваемой системы электроснабжения. При текущем предложенном графике, достигается максимально-возможный годовой объем грузоперевозок в 93 млн тонн.

### Результаты расчета пропускной способности

Для определения необходимости проведения мероприятий по усилению системы электроснабжения рассматриваемого участка, необходимо провести моделирование планируемого суточного графика движения поездов на рассматриваемом участке с текущими электроэнергетическими объектами тяговой инфраструктуры [2-5].

Результаты моделирования приведены в таблицах 3 – 5, рисунке 5.

Таблица 3 – Основные характеристики рабочего режима участка

Время расчета, мин: начало	0;	продолж. 1440; шаг 1,0
Температура воздуха, °С	20	
Использованы графики движ. путей		1-го, 2-го
Расход энергии: активн., кВт·ч	876204;	потери в тяг. сети 82194 ( 9,4% )
реактивн., квар·ч	1476290;	потери х.х. АТ 5616 кВт·ч
Огр. коэфф. нагрузки ЭЧЭ	0,95	(доп. 1,5 10 мин) ЯКУРИМ (прав. пл.)
темпер. трансформ., °С	67	(доп. 95° масл.) ЯКУРИМ (прав. пл.)
Огр. коэфф. нагрузки АТП	0,90	(доп. 1,5 10 мин) 775-й км (1-й путь)
темпер. автотрансформ., °С	65	(доп. 95° масл.) НЕБЕЛЬ (1-й путь)
Напряжения, кВ: минимальное	<b>16,83</b>	1-й путь зоны НИЯ – КИРЕНГА поезд № 7 на км 867,01 в 148 мин
среднее 3-мин	<b>18,08</b>	2-й путь зоны НИЯ – КИРЕНГА поезд № 4 на км 845,91
Огр. темпер., °С: в тяг. сети	46	(доп. 95° 20 мин) К4 ЭЧЭ ЯКУРИМ
в отсасывающей линии	21	(доп. 90° 20 мин) ЭЧЭ НИЯ

Таблица 4 – Минимальные напряжения на токоприёмниках локомотивов

Межподстанционная зона	Путь	Uэ, В		Поезд №, на км
		миним.	3-мин	
Якурим – Звездная	1-й	<b>18,75</b>	<b>19,06</b>	№ 7, 763,72
	2-й	<b>19,27</b>	<b>19,44</b>	№ 12, 765,61
Звездная – Ния	1-й	23,90	24,37	№ 49, 805,79
	2-й	23,54	24,21	№ 52, 810,12
Ния – Киренга	1-й	<b>16,83</b>	<b>18,13</b>	№ 7, 867,01
	2-й	<b>17,12</b>	<b>18,08</b>	№ 4, 845,91

Таблица 5 – Расход и потери электроэнергии

Наименования энергосистем Подстанции	Полный, кВт·А·ч	Активн, кВт·ч	Потери нагр.	в тр-рах х. х.
Якурим	469812	176440	1769,2	1440,0
Звездная	489209	215298	1465,2	2160,0
Ния	488802	313800	1650,6	2160,0
Киренга	283848	170667	761,2	1248,0
Всего по участку	1731671	876204	5646,1	7008,0

По результатам проведенных расчетов видно, что на участках Якурим – Звездная и Ния – Киренга показатель напряжения на токоприемнике имеет значительное отклонение в меньшую сторону от минимально-допустимого значения, на 867 км участка Ния – Киренга напряжение опускается до 16,83 кВ. Как видно из рисунка 3.1, пониженный уровень напряжения вызван наличием горно-перевального участка в зонах тяговых подстанций.

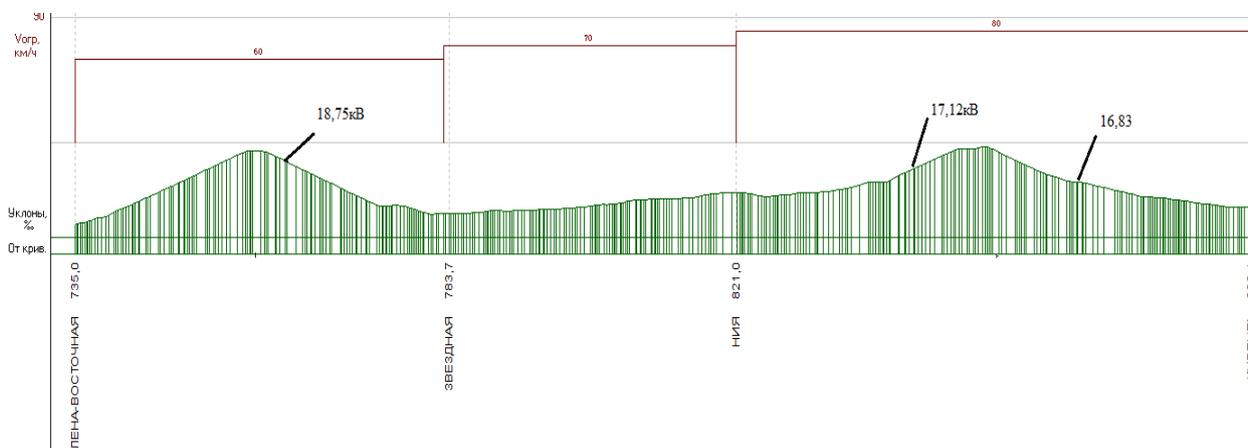


Рис. 5. Минимальные значения напряжений на рассматриваемом участке

Для достижения планируемых показателей перевозочного процесса, необходимо рассмотреть организационные мероприятия и возможные способы технического усиления, определить параметры объектов тяговой инфраструктуры и места их установки при необходимости [6-9].

### Технические мероприятия по обеспечению пропускной способности

Проанализировав эффективность применения различных технических мер по повышению пропускной способности, сделав выводы о степени влияния и недостаточной эффективности при применении мер по отдельности, возникает необходимость применения комплексного подхода по модернизации тяговой сети.

Для анализа эффективности будем производить подключение усиливающих устройств последующим вариантам:

1. Установка новых АТП на 768 км участка Чудничный – Звездная, на 848 км. Участка Ния- Небель, на 860 и 884 км. участка Небель – Киренга. И создание параллельной схемы секционирования контактной сети на участках Якурим – Звездная и Ния – Киренга.

2. Установка КУ на ПСА Чудничный, и шинах КС ТП Якурим (п.п.), ТП Звездная (л.п.), ТП Ния (п.п.), ТП Киренга (л.п.).

3. Установка УПК на шинах КС ТП Якурим (п.п. – 3200 кВАр), ТП Звездная (л.п. – 3200 кВАр), ТП Ния (п.п. – 4000 кВАр), ТП Киренга (л.п. – 4000 кВАр), ПСА Небель (4000 кВАр).

4. Модернизация КС на участке Ния-Киренга (замена ПБСМ-95 на М-95).

5. Повышение мощности КУ на п.п. ТП Ния (до 11250 кВАр), л.п. ТП Киренга (6000 кВАр) и на ПСА Небель (11250 кВАр), установка дополнительного АТП на 826-м км.

Полученные результаты приведены в таблицах 6,7. Схема системы электроснабжения по варианту 5, представлена на рисунке 6.

### Заключение

Участок тяговой сети 2х25кВ Якурим – Киренга имеет сложный, горно-перевальный рельеф местности, что негативно сказывается на пропускной способности системы, тяги поезда и показателя качества электрической энергии. Решение проблем с пропускной способностью может быть найдено только с помощью значительной модификации всей системы тягового

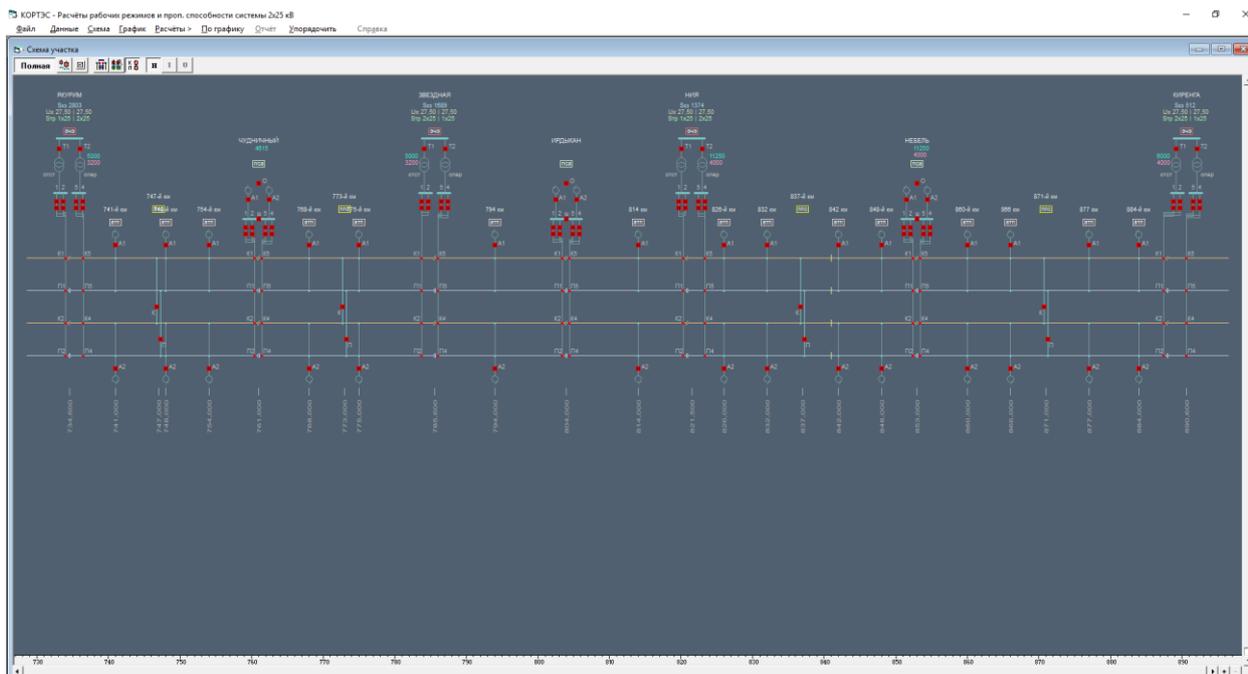
электроснабжения данного участка, в том числе установка новых АТП, устройств компенсации реактивной мощности (КУ и УПК) [10,11], замена проводов применение параллельной схемы секционирования контактной сети.

**Таблица 6 – Результаты применения комплекса мер по повышению необходимой пропускной способности**

Участок	Расход энергии		Минимальное напряжение, кВ	Вариант усиления
	полной, кВАр·ч	активной, кВр·ч		
Якурим - Звездная	860013	328481	18,74	Без усиления
	848352	325726	19,39	1
	602118	333004	20,11	2
	593560	336333	21,02	3
	593560	336333	21,02	4
	593543	336332	21,02	5
Звездная - Ния	225225	172986	23,57	5
Ния- Киренга	655175	375865	16,83	Без усиления
	646210	375613	17,82	1
	506748	383603	18,31	2
	486427	389508	19,21	3
	482768	386656	19,52	4
	395601	395559	20,13	5

**Таблица 7 – Результаты влияния комплекса мер на изменения потерь электроэнергии**

Усиление	Расход энергии		Потери в ТТ		Потери в АТ, кВт·ч	Потери в ТС, кВт·ч
	реактивной, кВАр·ч	активной, кВт·ч	Нагрузка, кВт·ч	х.х., кВт·ч		
Без усиления	1476290	876204	5646	7008	5616	82194 (9,3)
1	1454018	873210	5509	7008	7344	67785 (7,7)
2	977561	888998	4052	7008	7344	64837 (7,2)
3	925175	898310	4140	7008	7344	65655 (7,3)
4	922881	895469	4129	7008	7344	57528 (6,4)
5	622814	905649	4013	7008	7776	57665 (6,4)



**Рис. 6. Рекомендованная схема системы электроснабжения 2x25кВ**

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение правительства Российской Федерации от 28 апреля 2021 г. № 1100-р. «Паспорт инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей (второй этап)»»
2. Пузина Е.Ю., Перельгин В.М. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим-Звездная ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно- практической конференции.-Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013.-С. 176-178.
3. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро-Таксимо ВСЖД /Транспорт: наука, образование, производство: труды Международной научно- практической конференции. - Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2016. - С. 306-310.
4. П.А. Капранов. Реконструкция районов электрических сетей с целью снижения потерь мощности. / П.А. Капранов, Е.Ю. Пузина. / Изд.: Ростовский государственный университет путей сообщения (Ростов-на-Дону). 2020. - 113-116 с.
5. 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.
6. Воронина Е.В., Куцкий А.П. Повышение качества электрической энергии в системах электроснабжения железных дорог // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 118-125.
7. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния-Киренга ВСЖД/ Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте. материалы Шестого Международного симпозиума "Элтранс-2011". 2013. С. 464-468.
8. Черепанов А.В., Куцкий А.П., Хисамов А.Р. Влияние режимов систем внешнего электроснабжения на пропускную способность системы тягового электроснабжения // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 2. С. 8-14.
9. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Управление качеством электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015, 180 с. ий интеллектуальных сетей (SMART GRID). Иркутск: ИрГУПС, pp: 412.
10. Черепанов А.В., Куцкий А.П. Использование управляемых источников реактивной мощности в системах тягового электроснабжения. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9(116). С. 103-110.
11. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Куцкий А.П. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных установками компенсации реактивной мощности//Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 1 (57). С. 72-79.

## REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1100-r dated April 28, 2021. "Passport of the investment project "Modernization of the railway infrastructure of the Baikal-Amur and Trans-Siberian railway with the development of access and carrying capacity (second stage)""
2. Puzina E.Yu., Perelygin V.M. Strengthening of the traction power supply system of the Yakurim-Zvezdnaya section of the VSZHD. Transport-2013: Proceedings of the International Scientific and practical conference.-Rostov-on-Don: Publishing House of RSUPS, 2013.-pp. 176-178.
3. 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-on-Don: Publishing House of RSUPS, 2016. - pp. 306-310.
4. P.A. Kapranov. Reconstruction of areas of electric networks in order to reduce power losses. / P.A. Kapranov, E.Yu. Puzina. / Ed.: Rostov State University of Railways (Rostov-on-Don). 2020. - 113-116 p.

5. Voronina E.V., Kutsy A.P. Modernization of the track and increasing the capacity of a single-track electrified section of the Yakurim – Kirenga railway // *Molodaya nauka Sibiri*. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.
6. Voronina E.V., Kutsy A.P. Improving the quality of electric energy in the power supply systems of railways // *Molodaya nauka Sibiri*. 2021. No. 2 (12). pp. 118-125.
7. Puzina E.Yu. Strengthening the traction power supply system of the Nia-Kirenga section of the VSZHD/ Electrification and development of the infrastructure for power supply of train traction on railway transport. materials of the Sixth International Symposium "Eltrans-2011". 2013. pp. 464-468.
8. Cherepanov A.V., Kutsy A.P., Hisamov A.R. Influence of modes of external power supply systems on the capacity of traction power supply system // *Transport infrastructure of the Siberian region*. 2019. Vol. 2. pp. 8-14.
9. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. Quality management of electric energy in railway power supply systems. Irkutsk: IrGUPS, 2015, 180 p. of intelligent networks (SMART GRID). Irkutsk: IrGUPS, pp: 412.
10. Cherepanov A.V., Kutsy A.P. The use of controlled reactive power sources in traction power supply systems. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2016. Vol. 20. No. 9(116). pp. 103-110.
11. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Kutsy A.P. Modeling of non-sinusoidal modes of traction power supply systems equipped with reactive power compensation units//*Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2018. No. 1 (57). pp. 72-79.

#### **Информация об авторах**

*Куцкий Антон Павлович* – начальник МНИЦ УНИР, старший преподаватель каф. ЭТ, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: kutsyi\_ap@irgups.ru

*Овечкин Илья Сергеевич* – студент гр. СОД.1-18-2, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

*Галков Александр Андреевич* – студент гр. СОД.1-18-2, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

#### **Information about the authors**

*Kutsyi Anton Pavlovich* – Head of the UNIR Research Center, senior lecturer of the Faculty. ET, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsyi\_ap@irgups.ru

*Ovechkin Ilya Sergeevich* – student gr. SOD.1-18-2, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.

*Galkov Alexander Andreevich* – student gr. SOD.1-18-2, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.