

УДК 620.9

А.П. Куцый, А.В. Линявский

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Российская Федерация

УСИЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТЯГОВОЙ СЕТИ УЧАСТКА УЛАН-УДЭ – ПЕТРОВСКИЙ ЗАВОД

Аннотация. В статье приведен анализ существующей пропускной и провозной способности участка Восточно-Сибирской железной дороги Улан-Удэ – Петровский завод. Данный участок является частью Транссибирской магистрали, которая является основной транспортной артерией связующей запад и восток Российской Федерации. На данную магистраль приходится наибольший объем существующих перевозок.

В условиях наращивания социально-экономических связей и торгового оборота с азиатскими партнерами необходимо оценить предельные возможности участка магистрали и предложить оптимальные методы повышения пропускной и провозной способности, в части усиления системы тягового электроснабжения, на существующую перспективу [1].

В работе рассмотрены некоторые технические способы повышения пропускной и провозной способности за счет увеличения энергоэффективности, нормализации уровня напряжения, снижения нагрева трансформаторов и проводов тяговой сети.

Ключевые слова: Транссиб, тяговая сеть, напряжение, пропускная способность, электроподвижной состав

A.P. Kutsyi, A.V. Linyavsky

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

STRENGTHENING THE CAPACITY OF THE TRACTION NETWORK OF THE ULAN-UDE – PETROVSKY PLANT SECTION

Abstract. The article provides an analysis of the existing throughput and carrying capacity of the section of the East Siberian Railway Ulan-Ude - Petrovsky Zavod. This section is part of the Trans-Siberian Railway, which is the main transport artery linking the west and east of the Russian Federation. This highway accounts for the largest volume of existing traffic.

In the context of increasing socio-economic ties and trade turnover with Asian partners, it is necessary to assess the limiting capabilities of the section of the highway and propose optimal methods for increasing the throughput and carrying capacity, in terms of strengthening the traction power supply system, for the existing perspective.

The paper considers some technical ways to increase the throughput and carrying capacity by increasing energy efficiency, normalizing the voltage level, reducing the heating of transformers and traction network wires.

Keywords: Transsib, traction network, voltage, carrying capacity, electric rolling stock.

Описание участка

Участок Улан-Удэ – Петровский завод находится в границах Восточно-Сибирской железной дороги. Станция Петровский завод является пограничной станцией с Забайкальской железной дорогой. Данный участок имеет сложный горно-перевальный профиль, который продемонстрирован на рис. 1.

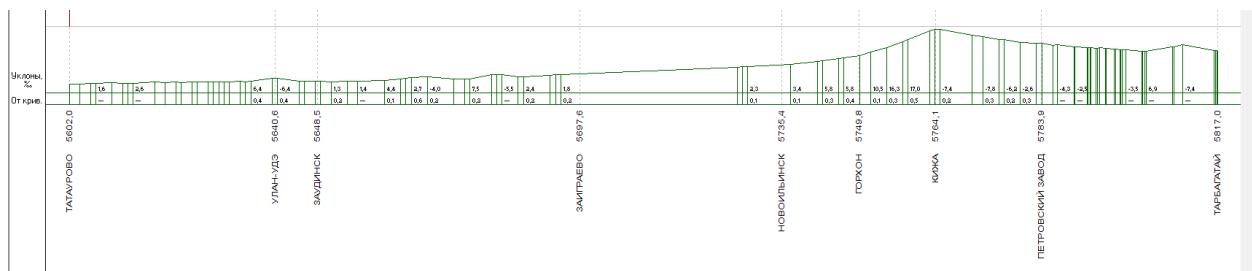


Рис. 1. Профиль пути участка Улан-Удэ – Петровский завод

Питание контактной сети обеспечено системой тягового электроснабжения 1x25 кВ. На участке расположено 6 ТП, 6 постов секционирования и один пункт параллельного соединения. Схема и координаты расположения объектов продемонстрированы на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Схема расположения объектов тяговой инфраструктуры

Список объектов

Расстояния

Тип объекта	Координ. оси, км	Наименование	Число примык.	Фидерные линии, точки присоед., КУ и УПК на ПС
ЭЧЗ	5609.400	ТАТАУРОВО	-	+
ПС	5619.000	МОСТОВОЙ	-	-
ПС	5641.000	УЛАН-УДЭ	-	-
ЭЧЗ	5650.100	ЗАУДИНСК	-	+
ПС	5676.100	ОНОХОЙ	-	-
ЭЧЗ	5698.500	ЗАИГРАЕВО	-	+
ПС	5721.300	ИЛЬКА	-	-
ЭЧЗ	5736.300	НОВОИЛЬИНСК	-	+
ПС	5750.700	ГОРХОН	-	-
ППС	5759.000	5759-й км	-	{1 - 2}
ЭЧЗ	5764.100	КИЖА	-	+
ПС	5789.000	ДЕКАБРИСТЫ	-	-
ЭЧЗ	5816.000	ТАРБАГАТАЙ	-	+

OK

Рис. 3. Координаты расположения объектов тяговой инфраструктуры

На данный момент тяговая сеть состоит из проводов марок ПБСМ-70+МФ-100. С 5736.5 км. по 5767.0 км. на четном направлении добавляется усиливающий провод А-185.

На рис. 4 изображены параметры тяговых подстанций участка.

Параметры тяговых подстанций

Основные КУ (поперечн.) УПК (продольн.) Дополнит.

Наименование подстанции	Сks, МВА	Фаза плеча лев. прав.	Тип трансформатора	Кол-во вкл.	КУ лев. плеча Ополезн	КУ прав. плеча Ополезн	УПК лев. плеча Оном	УПК прав. плеча Оном	УПК в фазе С Оном	Sр. МВА	Sh. МВА	Принадлежность к энергосистеме
ТАТАУРОВО	921	отст опер	ТДТНК-4000/110-7191	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗАУДИНСК	2753	опер отст	ТДТНК-4000/110-7191	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗАИГРАЕВО	1964	опер отст	ТДТНК-4000/220-7691	1	-	-	-	-	14400 2400	-	-	-
НОВОИЛЬИНСК	2035	опер отст	ТДТНК-4000/220-7691	1	-	-	-	-	14400 2400	-	-	-
КИЖА	2316	отст опер	ТДТНК-4000/220-7691	2	5000	-	-	-	-	-	-	-
ТАРБАГАТАЙ	2400	отст опер	ТДТНК-4000/220-7691	1	-	-	-	-	14400 2400	-	-	-

Рис. 4. Параметры тяговых подстанций участка

Тяговый расчет для перспективных масс поездов 14200 тонн

В настоящее время, на рассматриваемом участке осуществляется движение грузовых составов с максимальной загруженной массой вагонов 7100 тонн. Для расчета перспективного (пакетного) графика движения будут использоваться сдвоенные поезда общей массой 14200 тонн [2-7]. В связи с тем, что профиль пути в четном и нечетном направлениях значительно различается, необходимо провести моделирование тягового расчета в обоих направлениях. От результатов моделирования будет зависеть количество локомотивов, осуществляющих тягу состава. Для проведения более точного и качественного анализа, моделирование будет проводится с учетом влияния смежных МПЗ Татаурово – Улан-Удэ и Петровский Завод – Тарбагатай.

Результаты расчетов тяговых нагрузок грузовых поездов, состоящих из сдвоенных составов общей массой 14200 тонн приведены на рис. 5 и 6.

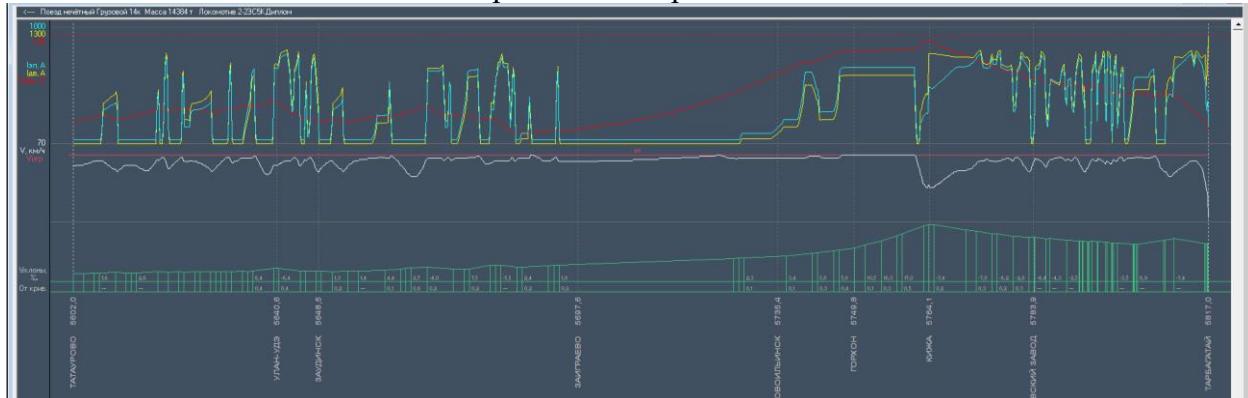


Рис. 5. Результаты тягового расчета состава массой 14200 тонн в нечетном направлении

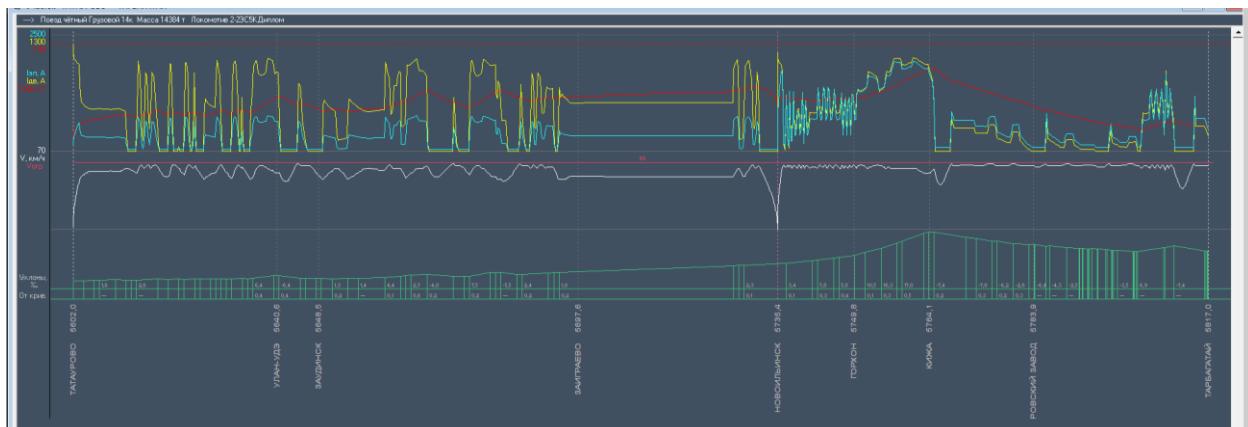


Рис. 6. Результаты тягового расчета состава массой 14200 тонн в четном направлении

По итогам проведения тягового расчета для составов массой 14200 тонн, вследствие сложного горно-перевального рельефа местности на участке «Новоильинск – Кижа» в четном направлении, на станции «Новоильинск» необходимо включить в дополнительно в состав три тяговых локомотива.

Моделирование перспективного графика движения поездов на участке без усиления

В соответствии с планируемым объемом грузоперевозок на рассматриваемом участке, который на IV квартал 2024 года должен составлять 124,7 млн. тонн в год, необходимо провести анализ пропускной способности рассматриваемого участка «Улан-Удэ – Петровский завод» в наиболее нагруженном графике движения поездов – пакетном. Рассчитать возможности пропуска такого графика движения, определить значения критериев режима работы тяговой сети, проанализировать их и предложить оптимальные варианты усиления системы тягового электроснабжения для заданного участка.

Вследствие увеличения объема инвестиций в развитие Транссибирской магистрали, ежегодного повышения плана объемов перевозок, в качестве перспективных масс можно рассмотреть сдвоенные составы массой 14200 тонн.

предлагается использовать следующий график: в нечетном направлении равномерный график движения состоящий из поездов массой 7100 тонн с интервалом движения 12 минут. В четном направлении запуск пакета из четырех поездов массой 14200 тонн с интервалом 10 минут, при обязательном условии нахождения поездов массой 7100 тонн на МПЗ во встречном направлении. График движения представлен на рис. 7.

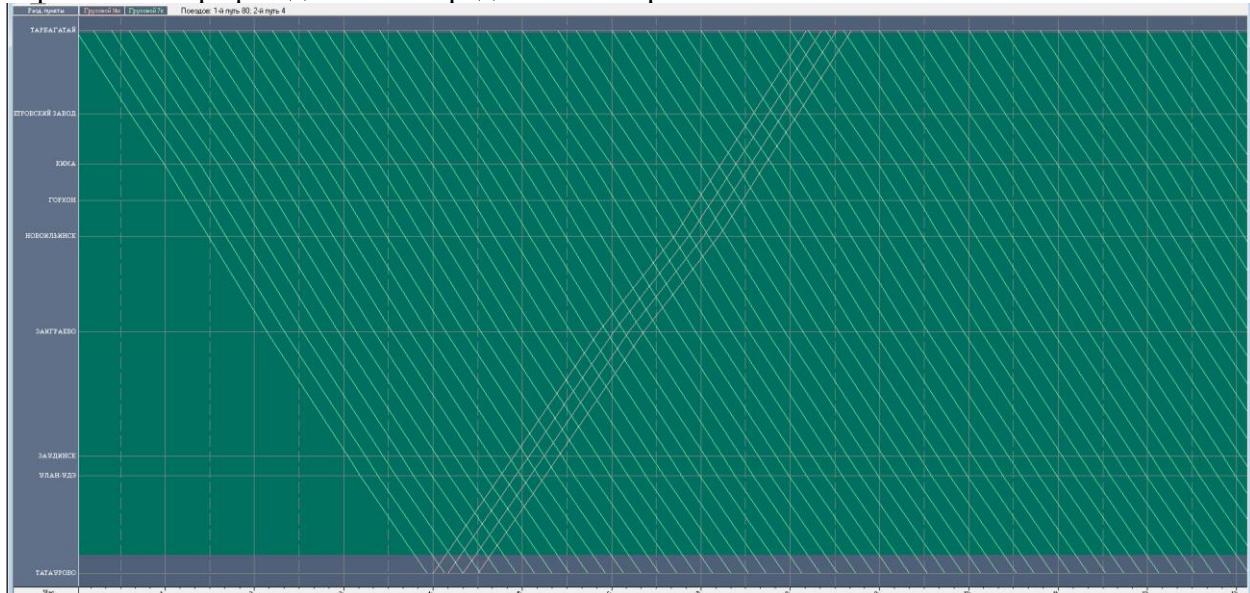


Рис.7. График движения для существующего объема перевозок

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 тягового электроснабжения.

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.

Результаты моделирования приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Основные характеристики рабочего режима участка

Время расчета, мин: начало	0;	продолж. 1440; шаг 1,0
Температура воздуха, °C	20	
Использованы графики движ.	путей	1-го, 2-го
Расход энергии: активн., кВт·ч	490441;	потери в тяг. сети 23564 (4,8%)
реактивн., квр·ч	782675	
Ограничич. коэффиц. нагрузки трансформаторов	2,29*	(доп. 1,75 20 мин)
	ЭЧЭ	Новоильинск
Напряжения, кВ: минимальное	17,86*	2-й путь зоны Новоильинск – Кижма поезд № 4 на km 5752,86 в 431 мин
среднее 3-мин	18,39*	2-й путь зоны Новоильинск – Кижма поезд № 4 на km 5753,80
Огр. темпер., °C: в конт. сети	95	(доп. 100° 3 мин) Ф2 ЭЧЭ Кижма
в отсасывающей линии	116*	(доп. 100° 3 мин) ЭЧЭ Кижма

Таблица 2 – Минимальные напряжения на токоприёмниках локомотивов

Межподстанционная зона	Путь	UЭ, В	Поезд №, на км
		миним.	
Татаурово – Заудинск	1-й	20,34	№ 13, 5623,18
	2-й	19,39	№ 4, 5629,82
Заудинск – Заиграево	1-й	20,20	№ 31, 5672,01
	2-й	19,54	№ 6, 5666,97
Заиграево – Новоильинск	1-й	21,33	№ 51, 5720,98
	2-й	20,35	№ 4, 5730,67
Новоильинск – Кижа	1-й	18,18*	№ 61, 5752,13
	2-й	17,86*	№ 4, 5753,80
Кижа – Тарбагатай	1-й	18,85*	№ 75, 5784,45
	2-й	18,33*	№ 4, 5798,42

*Примечание: значения выделенные * являются недопустимыми относительно требуемых диапазонов величин.*

По результатам проведенных расчетов видно, что на участках Татаурово – Заудинск, Заудинск – Заиграево и Новоильинск – Кижа значение минимального напряжения меньше минимально-допустимого и снижается вплоть до 17,86 кВ, коэффициент нагрузки тягового трансформатора подстанции Новоильинск превышает максимально-допустимое значение и составляет 2,29. На тяговой подстанции Кижа температура нагрева в отсасывающем проводе составляет 116 градусов, что также является недопустимым. Падение уровня значения напряжения вызвано наличием сложного горно-перевального профиля рассматриваемого участка и пропуском тяжелого пакета поездов массой 14200 т.

Применение комплекса технических мер для достижения перспективной пропускной способности

Исходя из результатов сравнительного анализа некоторых технических способов усиления [6-8] тяговой сети по отдельности, а именно: установка двух тяговых трансформаторов в параллельную работу, замена несущего троса и усиливающего провода, размещение устройств компенсации реактивной мощности и использования параллельной схемы секционирования контактной сети, были получены следующие выводы:

- существующая схема системы электроснабжения участка Улан-Удэ – Петровский завод не способна обеспечить пропускную способность по перспективному графику движения поездов;

- применение отдельных способов усиления не приводит к требуемым показателям пропускной способности, необходимо использовать комплексный подход и оценивать эффективность устройств по технико-экономическим показателям, срокам эксплуатации оборудования, влиянию на потери активной энергии.

Из чего следует, что необходимо применить комплекс мер, обеспечивающих требуемую пропускную и провозную способность [9-13]. Для решения этой задачи выбраны два комплексных подхода.

Вариант 1 – установка второго ТТ на ТП Новоильинск, добавление усиливающего провода на участке Заудинск – Заиграево (А-185), замена КС на участке Новоильинск – Кижа на М-95+МФ-100+А-185+ЭА-185+4Р65, замена отсасывающего фидера с 3А-185 на 4А-185, установка УПК 14400 кВАр в фидер левого плеча ТП Тарбагатай, добавление усиливающего провода на участке Кижа – Тарбагатай (А-185).

Вариант 2 – установка УПК 14400 кВАр в фидер левого плеча ТП Кижа, установка УПК 14400 кВАр в фидер правого плеча ТП Новоильинск, отключение УПК на фазе С ТП Новоильинск, добавление усиливающего провода на участке Заудинск – Заиграево (А-185), замена КС на участке Новоильинск – Кижа на М-95+МФ-100+А-185+4Р65, замена

отсасывающего фидера с 3А-185 на 4А-185, установка УПК 14400 кВАр в фидер левого плеча ТП Тарбагатай, добавление усиливающего провода на участке Кижа – Тарбагатай (А-185).

Результаты сравнения предложенных вариантов показаны в таблице 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты применения комплекса мер по повышению перспективной пропускной способности

Участок	Расход энергии по зонам		Минимальное напряжение, кВ	Максимальная температура нагрева проводов КС	Максимальный коэффициент нагрузки ТТ (доп. 1,3)	Вариант усиления
	полной, кВАр·ч	активной, кВт·ч				
Татаурово – Заудинск	215780	184189	20,71	40	0,98	Без усиления
	215896	184703	21,78	25	0,96	1
	215902	184715	21,78	25	0,96	2
Заудинск – Заиграево	157641	69695	20,11	59	1,17	Без усиления
	157097	69975	21,52	30	1,13	1
	157012	70004	21,51	30	1,19	2
Заиграево – Новоильинск	138968	-31223	22,35	55	1,69	Без усиления
	141272	-31489	24,31	39	1,2	1
	137687	-30659	22,70	32	1,19	2
Новоильинск – Кижа	185392	1966	18,39	95	1,69	Без усиления
	189206	2543	21,65	61	1,2	1
	81472	7293	22,25	81	1,26	2
Кижа – Тарбагатай	337579	265815	19,00	75	1,23	Без усиления
	344164	272708	22,05	38	1,29	1
	344217	272473	21,78	38	1,29	2

Таблица 4 – Результаты влияния комплекса мер на изменения потерь электроэнергии

Усиление	Расход энергии			Потери в ТТ		Потери в ТС, кВт·ч
	реактивной, кВАр·ч	активной, кВт·ч	полной, кВАр·ч	Нагрузка, кВт·ч	х.х., кВт·ч	
Без усиления	782675	490441	1033238	4002,2	10944,0	23564 (4,8%)
1	787891	492001	1049000	3573,2	12528,0	19607 (4%)
2	676368	497348	946762	3652,4	10944,0	20538 (4,1%)

Из двух предложенных вариантов, наиболее оптимальным можно выделить второй комплекс мер, схема которого представлена на рис. 8, так как имеется существенная разница в минимальных значениях напряжения на наиболее нагруженной МПЗ Новоильинск – Кижа (600 В). Еще одним аргументом в пользу выбора второго варианта, является возможность

отказа от УПК 14400 кВАр на фазе С подстанции Новоильинск. Предложенные методы необходимо качественно сравнить с точки зрения затрат и окупаемости.



Рис. 8. Схема участка по варианту 2

Заключение

Для обеспечения перспективной пропускной и провозной способности выбран следующий комплекс усилений: установка УПК 14400 кВАр в фидер левого плеча ТП Кижа, установка УПК 14400 кВАр в фидер правого плеча ТП Новоильинск, отключение УПК на фазе С ТП Новоильинск, добавление усиливающего провода на участке Заудинск – Заиграево (А-185), замена КС на участке Новоильинск – Кижа на М-95+МФ-100+А-185+4Р65, замена отсасывающего фидера с 3А-185 на 4А-185, установка УПК 14400 кВАр в фидер левого плеча ТП Тарбагатай, добавление усиливающего провода на участке Кижа – Тарбагатай (А-185).

Существуют отличные варианты комплексов усиления, которые также позволяют обеспечить провозную и пропускную способность, необходимо провести глубокий сравнительный анализ возможных затрат и окупаемости.

Наиболее загруженный участок оказался Новоильинск – Кижа, с учетом этого факта можно сделать вывод о наличии запаса мощности и уровня напряжения для пропуска более тяжелого графика движения.

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., Перелыгин 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. 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.
4. Воронина Е.В., Куцый А.П. Модернизация пути и повышение пропускной способности однопутного электрифицированного участка железной дороги Якурим – Киренга // Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 196-204.
5. Воронина Е.В., Куцый А.П. Повышение качества электрической энергии в системах электроснабжения железных дорог // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 118-125.
6. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 тонн // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». 2022. № 2(16), доступно на: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/778>.
7. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой

7100 тонн. // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». 2022. № 2(16), доступно на: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/777>.

8. 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.

9. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Управление качеством электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2015, 180 с.

10. Черепанов А.В., Куцый 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., Куцый А.П. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных установками компенсации реактивной мощности//Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 1 (57). С. 72-79.

12. Куцый А. П., Галков А. А. Применение технологии «виртуальная сцепка» на участке Слюдянка – Улан-Удэ. // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири», 2023, № 1(19), доступно на: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/1323>.

13. Куцый А. П., Бураев Б. Б. Повышение пропускной способности системы тягового электроснабжения на участке Киренга – Северобайкальск при пропуске пакета поездов массой 7100 тонн. // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири», 2023 № 1(19), доступно на: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/1322>.

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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Kutsiy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim - Kirenga section to provide traction for dual electric rolling stock weighing 14200 tons // Electronic scientific journal «Young Science of Siberia». 2022. No. 2(16), available at: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/778>.
7. 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 7100 tons. // Electronic scientific journal «Young science of Siberia». 2022. No. 2(16), available at: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/777>.
8. 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.

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.
10. Cherepanov A.V., Kutsyy 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., Kutsyy 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.
12. Kutsyi A. P., Galkov A. A. Application of the "virtual coupling" technology on the Slyudyanka - Ulan-Ude section. // Electronic scientific journal "Young Science of Siberia", 2023, No. 1(19), available at: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1323>.
13. Kutsyi A. P., Buraev B. B. Increasing the capacity of the traction power supply system on the Kirenga - Severobaikalsk section when passing a package of trains weighing 7100 tons. // Electronic scientific journal "Young Science of Siberia", 2023 No. 1(19), available at: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1322>.

Информация об авторах

Куцый Антон Павлович – начальник МНЦ УНИР, старший преподаватель каф. ЭТ, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru.

Линяевский Алексей Витальевич – студент 2 курса факультета «Управление на транспорте и информационные технологии», гр.ПИ.1-23-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г.Иркутск, email:kutsyi_ap@irgups.ru.

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

Linyavsky Alexey Vitalievich-2nd year student of the Faculty of Transport Management and Information Technology, class 1-23-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email:kutsyi_ap@irgups.ru