

УДК 620.9

*А. В. Черепанов, Е. Н. Хамуева*

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

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УСИЛЕНИЮ УСТРОЙСТВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ СОХАТЫЙ – ЯКУРИМ ДЛЯ ПРОПУСКА СДВОЕННЫХ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ 12600-14200 ТОНН**

**Аннотация.** В статье проведен анализ методов усиления системы тягового электроснабжения железных дорог переменного тока на участке Сохатый – Якурим для пропуска сдвоенных поездов повышенной массы 12600 – 14200 тонн. По результатам многовариантных расчетов выявлены наиболее эффективные меры усиления системы тягового электроснабжения для обеспечения требуемой пропускной способности.

**Ключевые слова:** Моделирование, тяговое электроснабжение, пропускная способность, сдвоенный поезд.

*A. V. Cherepanov, E. N. Khamueva*

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

## **DEVELOPMENT OF MEASURES TO STRENGTHEN TRACTION POWER SUPPLY DEVICES ON THE SOKHATY – YAKURIM SECTION FOR THE PASSAGE OF DOUBLE TRAINS OF INCREASED WEIGHT 12600-14200 TONS**

**Abstract.** The article analyzes the methods of strengthening the traction power supply system of AC railways on the Sokhaty – Yakurim section for the passage of double trains of increased weight 12600 – 14200 tons. According to the results of multivariate calculations, the most effective measures of strengthening the traction power supply system to ensure the required throughput have been identified.

**Keywords:** *Simulation, traction power supply, capacity, double train.*

### **Введение**

На современном этапе развития железных дорог России освоение нарастающего объема перевозок выполняется путем увеличения числа грузовых поездов в обращении и повышения их массы и длины. Известно, что увеличение размеров движения связано с использованием пропускной способности линий, а повышение массы поездов реализуется на основе усиления тяги, усиления инфраструктуры, совершенствования парка грузовых вагонов [1, 2].

Применение сдвоенных поездов часто практикуется как мера улучшения пропускной способности линии на период ремонтных и строительных работ. Также возможна постоянная эксплуатация сдвоенных поездов для увеличения провозной способности участка. В этом случае в графике движения предусматриваются специальные расписания.

Сдвоенный (соединённый) поезд – это поезд, составленный из двух сцепленных между собой поездов. Согласно ПТЭ, одним из условий соединённого поезда является наличие в голове каждого поезда действующего локомотива [3].

При пропуске поездов повышенной массы возникают проблемы в тяговом электроснабжении и обратной тяговой сети, которые заключаются в необходимости модернизации системы электроснабжения участков железных дорог.

Выбор способа усиления системы тягового электроснабжения зависит от ограничений, которые устанавливают пределы максимальной массы поездов, пропускаемых по участкам. Для снятия этих ограничений существует немало способов: увеличение сечения контактной сети, изменение количества силовых трансформаторов, применение устройств компенсации и т.д. Но для определения эффективности способов

усиления СТЭ и выбора наиболее подходящего, нужно учитывать фактическое распределение нагрузки в каждой точке тяговой сети, определяемое профилем пути, графиком и режимами движения поездов.

Для анализа пропускной способности и методов усиления системы тягового электроснабжения участка железных дорог необходим расчет тяговой нагрузки для существующих и планируемых масс поездов.

Для определения тяговой нагрузки используется ПК КОРТЭС, предназначенный для решения на персональных ЭВМ различных расчётных задач, связанных с выбором параметров, определением характеристик режимов и нагрузочной способности систем тягового электроснабжения и их отдельных элементов. Для расчета тяговой нагрузки проводится тяговый расчет – это расчет основных параметров движения состава (тока двигателя, тока электровоза, температуры нагрева обмоток двигателя, а также скорости движения состава) в зависимости от профиля пути, по которому движется электровоз [4-11].

### Моделирование в ПК КОРТЭС.

Расчетный участок железной дороги Видим – Якурим имеет сложный профиль пути с уклонами, не превышающими -7,8 ‰. На рисунке 1 изображен продольный профиль расчетного полигона. Протяженность участка Видим – Лена-Восточная – 272,4 км. Параметры и расположение тяговых подстанций представлены в таблице 1.

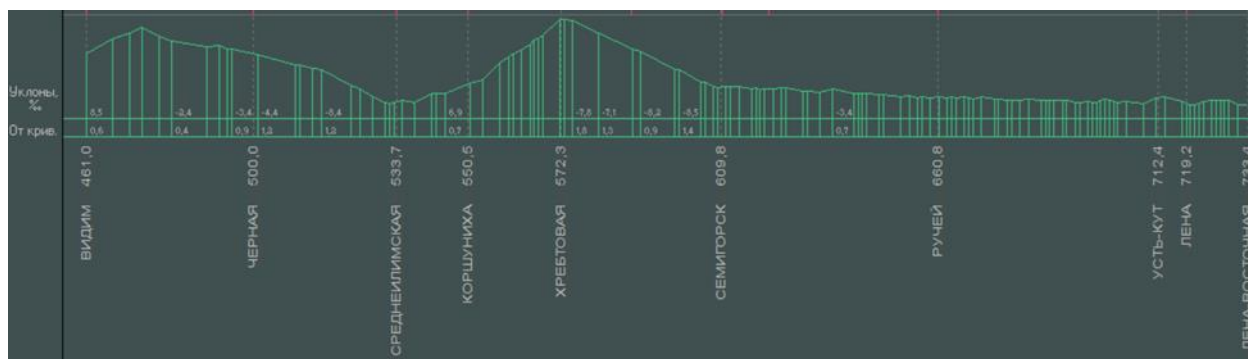
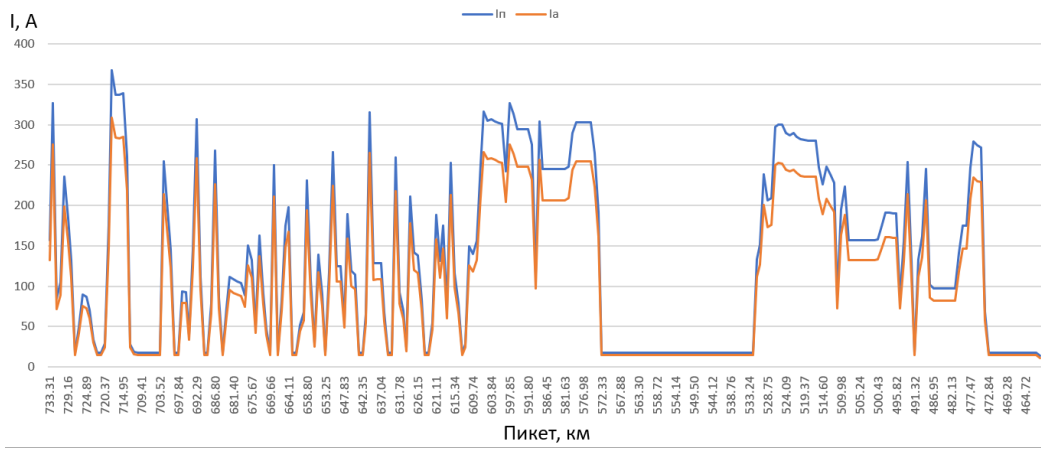


Рис. 1. Продольный профиль расчетного участка Видим – Лена-Восточная

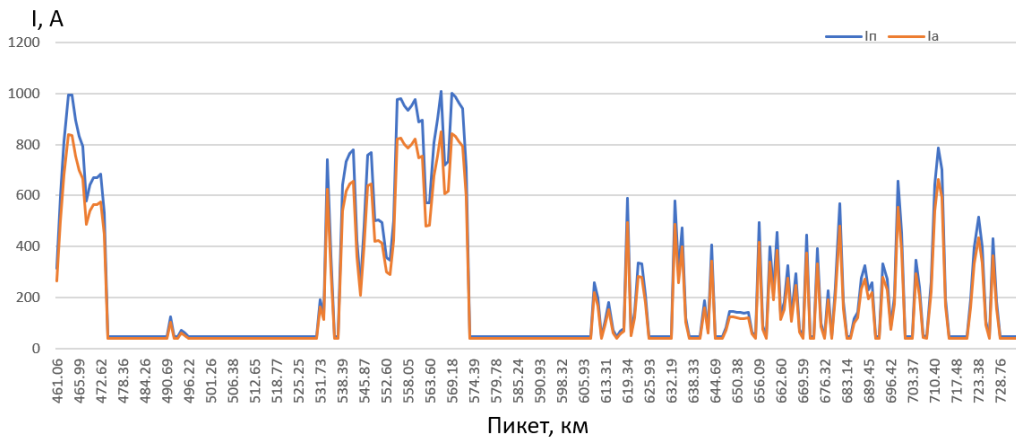
Таблица 1 – Параметры тяговых подстанций участка

Наименование подстанции	Тип	Фаза плеча лев/прав	Тип ТР	Мощность ТР, кВА	Увн, кВ	Усн, кВ	Унн, кВ	Скз, МВА
Видим	II	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	38,5	27,5	458
Черная	III	опер отст	ТДТНЖ	40000	112	38,5	27,5	614
Коршуниха	III	отст опер	ТДТНЖ	40000	112	27,5	11	1325
Хребтовая	II	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	27,5	11	850
Семигорск	I	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	27,5	11	617
Ручей	I	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	38,5	27,5	589
Усть-Кут	II	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	38,5	27,5	919
Якурим	III	отст опер	ТДТНЖ	40000	230	27,5	11	2803

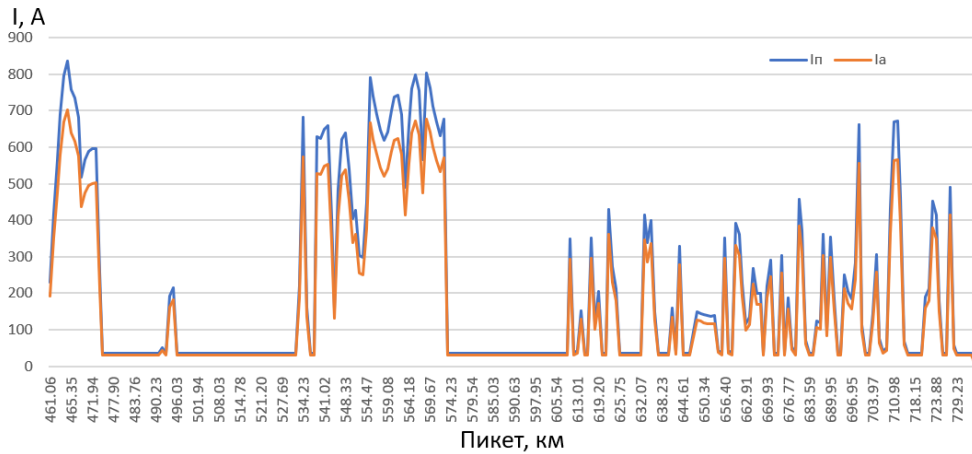
По результатам тяговых расчетов, используя таблицу LVI программного комплекса КОРТЭС, построим графики зависимости изменения полного тока поезда от их координаты для всех типов поездов в четном и нечетном направлении. Полученные графики представлены на рисунках 2 – 7.



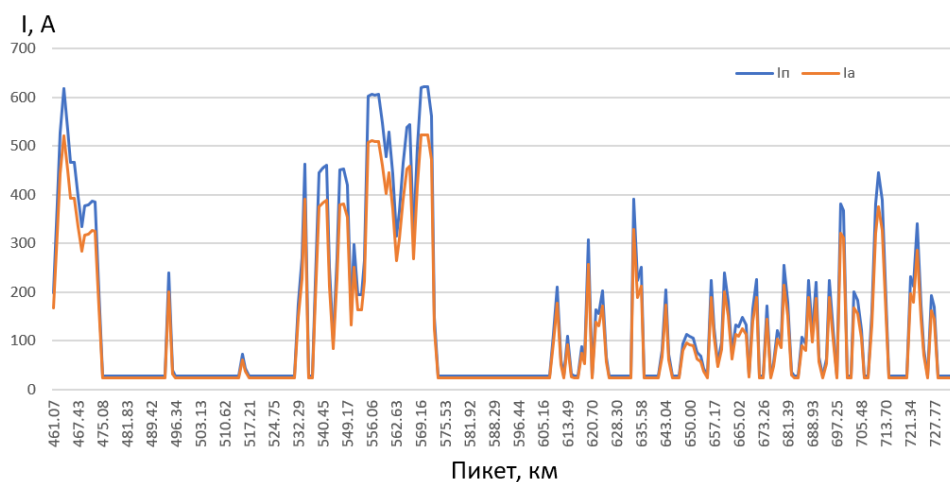
**Рис. 2. График зависимости полного и активного тока поезда массой 3300 тонн от его координаты при движении в нечетном направлении**



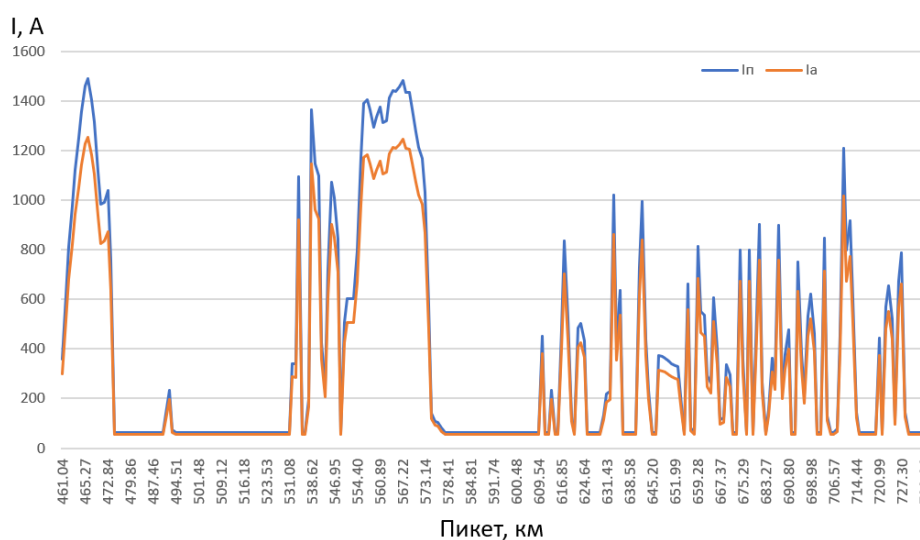
**Рис. 3. График зависимости полного и активного тока поезда массой 7100 тонн от его координаты при движении в четном направлении**



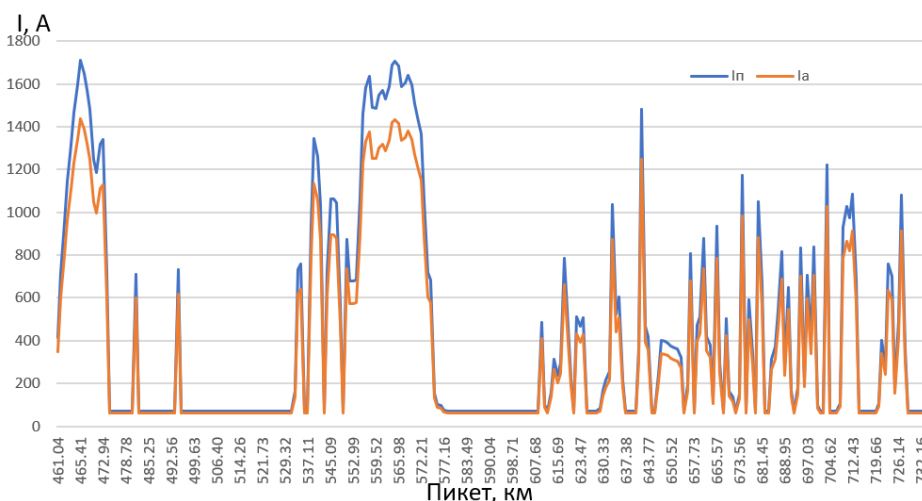
**Рис. 4. График зависимости полного и активного тока поезда массой 6300 тонн от его координаты при движении в четном направлении**



**Рис. 5. График зависимости полного и активного тока поезда массой 4000 тонн от его координаты при движении в четном направлении**



**Рис. 6. График зависимости полного и активного тока поезда массой 12600 тонн от его координаты при движении в четном направлении**



**Рис. 7. График зависимости полного и активного тока поезда массой 14200 тонн от его координаты при движении в четном направлении**

Для определения необходимости проведения мероприятий по усилению системы электроснабжения рассматриваемого участка, было проведено моделирование планируемого суточного графика движения поездов на этом участке с текущими электроэнергетическими объектами тяговой инфраструктуры.

В качестве суточного графика был выбран график, включающий сдвоенный поезд массой 14200 тонн (7100т + 7100т). Если обеспечить пропускную способность в соответствии с предложенным, наиболее тяжелым, графиком движения, то можно утверждать, что остальные случайные или пакетные графики движения, в том числе включающие сдвоенные поезда массой 12600 тонн, смогут быть обеспечены мощностями рассматриваемой системы электроснабжения.

На рисунке 8 представлен фрагмент планируемого суточного графика движения поездов.

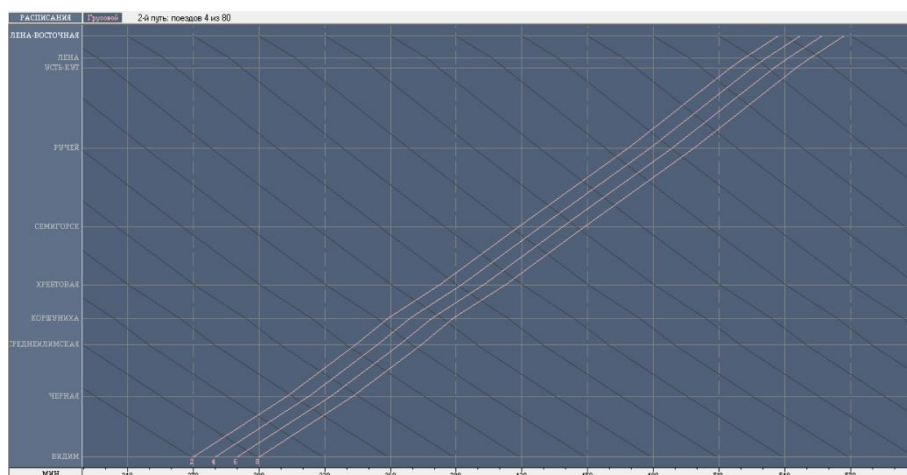


Рис. 8. Фрагмент планируемого графика движения

По результатам проведённого моделирования, можно сделать вывод, что существующая система тягового электроснабжения участка Видим – Лена-Восточная не способна обеспечить пропускную способность по перспективному графику движения поездов.

Результаты моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – 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	349112	
	реактивн., квар·ч		153825
		потери в тяг. сети 6645 (1,9% )	
Огр. коэфф. нагрузки ЭЧЭ	1,74	(доп. 1,75 20 мин) КОРШУНИХА	
Напряжения, кВ:	мин.	12,91*	2-й путь зоны СЕМИГОРСК – РУЧЕЙ поезд № 4 на km 641,63 в 460 мин
	среднее 3-мин	18,43*	2-й путь зоны СЕМИГОРСК – РУЧЕЙ поезд № 4 на km 643,77
Огр. темпер., °С: в тяг. сети	149*	(доп. 120° 3 мин) Ф2 ЭЧЭ ХРЕБТОВАЯ	
в отсасывающей линии	83	(доп. 100° 3 мин) ЭЧЭ ХРЕБТОВАЯ	
*Значение не соответствует нормативам			

Проведённое моделирование позволило выявить проблемные участки. Таковыми участками являются: Видим – Чёрная, Коршуниха – Хребтовая, Семигорск – Ручей и Ручей – Усть-Кут.

Ограничивающими параметрами на участках Видим – Чёрная, Семигорск – Ручей и Ручей – Усть-Кут являются минимальное и среднее трёх-минутное напряжения в КС, а на участке Коршуниха – Хребтовая – нагрев проводов и коэффициент загрузки трансформаторов.

Для достижения планируемых показателей перевозочного процесса, были рассмотрены возможные способы технического усиления системы тягового электроснабжения каждого из проблемных участков в отдельности.

Наиболее эффективными для каждого из рассмотренных участков оказались комплексные подходы усиления, так как применение отдельных способов усиления не привело к требуемым показателям.

#### **Технические способы повышения пропускной способности**

##### **Усиление участка Видим – Чёрная:**

- 1 – монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 2 – монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185 на всём участке;
- 3 – замена несущего троса М-95 на М-120 и ПБСМ-70 на М-95;
- 4 – замена несущего троса М-95 на М-120 и ПБСМ-70 на М-95 и добавить усиливающий провод А-185 на всём участке;
- 5 – установка КУ (Q= 3000 квар) в левом плече станции Чёрная;
- 6 – установка КУ (Q= 4396 квар) в левом плече станции Чёрная;
- 7 – установка КУ (Q= 4615 квар) в левом плече станции Чёрная;
- 8 – установка третьего трансформатора ТДТНЖ-40000/110-71У1 на ЭЧЭ Видим;
- 9 – монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке и установка третьего трансформатора ТДТНЖ-40000/110-71У1 на ЭЧЭ Видим;
- 10 – замена несущего троса ПБСМ-70 на М-95;
- 11 – замена несущего троса ПБСМ-70 на М-95 и монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 12 – замена несущего троса М-95 и ПБСМ-70 на М-120;
- 13 – замена несущего троса М-95 и ПБСМ-70 на М-120 и монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 14 – замена несущего троса ПБСМ-70 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке и установка третьего трансформатора ТДТНЖ-40000/110-71У1 на ЭЧЭ Видим.

Результаты применения рассматриваемых методов приведены в таблице 3, нагрев проводов и коэффициент загрузки трансформаторов указаны для ЭЧЭ Видим.

**Таблица 3 – Результаты применения методов усиления на участке Видим – Чёрная**

Метод усиления \ Параметр	Температура КП среднее 3-мин, °С (доп. 120°С)	Напряжение минимальное, кВ (доп. 19 кВ)	Напряжение среднее 3-мин, кВ (доп. 21 кВ)	Коэффициент загрузки трансформаторов 20-мин (доп. 1,75)
Без усилений	79	18,09	19,54	1,43
1	43	19,27	20,53	1,4
2	47	19,87	21,02	1,36
3	74	18,31	19,71	1,42
4	42	19,36	20,63	1,39
5	79	18,23	19,68	1,41
6	78	18,3	19,75	1,41
7	78	18,31	19,76	1,41
8	87	19,25	20,61	0,79
9	47	20,55	21,58	0,78
10	78	18,23	19,64	1,42
11	43	19,33	20,57	1,39
12	74	18,33	19,72	1,42
13	42	19,37	20,63	1,39
14	46	20,59	21,61	0,77



**Усиление участка Коршуниха – Хребтовая:**

- 1 – установка второго трансформатора на ЭЧЭ Коршуниха;
- 2 – установка второго трансформатора на ЭЧЭ Хребтовая;
- 3 – монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 4 – монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185;
- 5 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95;
- 6 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-120;
- 7 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95 и установка третьего трансформатора на ЭЧЭ Коршуниха;
- 8 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-120 и установка третьего трансформатора на ЭЧЭ Коршуниха;
- 9 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95 и монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 10 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке и установка третьего трансформатора на ЭЧЭ Коршуниха;
- 11 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке и установка третьего трансформатора на ЭЧЭ Хребтовая;
- 12 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке, установка третьего трансформатора на ЭЧЭ Хребтовая и монтаж в отсасывающую линию на ЭЧЭ Хребтовая третьего провода А-185.

Результаты применения рассматриваемых методов приведены в таблице 4, нагрев проводов и коэффициент загрузки трансформаторов указаны для ЭЧЭ Коршуниха.

**Таблица 4 – Результаты применения методов усиления на участке Коршуниха – Хребтовая**

Параметр Метод усиления	Температура КП среднее 3- мин, °С (доп. 120°С)	Напряжение минимальное, кВ (доп. 19 кВ)	Напряжение среднее 3- мин, кВ (доп. 21 кВ)	Коэффициент загрузки трансформаторов 20-мин (доп. 1,75)
Без усилений	142	20,8	20,83	1,74
1	168	21,52	21,55	1,07
2	125	21,89	21,98	1,44
3	57	21,75	21,76	1,76
4	61	21,89	22,12	1,78
5	84	21,31	21,34	1,74
6	79	21,39	21,41	1,75
7	100	22,04	22,09	1,08
8	94	22,13	22,17	1,08
9	46	21,88	22	1,76
10	55	22,72	22,77	1,1
11	40 (129 отс)	22,13	23,1	1,41
12	40	22,13	23,1	1,41

**Усиление участка Семизорск – Ручей:**

- 1 – монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 2 – монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185;
- 3 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95;
- 4 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-120;
- 5 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95 и монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;

- 6 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-120 и монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 7 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185;
- 8 – установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Семигорск и в левом плече станции Ручей;
- 9 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185, установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Семигорск и в левом плече станции Ручей;
- 10 – установка третьего трансформатора на станции Ручей;
- 11 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185 и установка третьего трансформатора на станции Ручей;
- 12 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185 и установка третьего трансформатора на станциях Семигорск и Ручей;
- 13 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185 и установка третьего трансформатора на станции Ручей, установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Семигорск и в левом плече станции Ручей;
- 14 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185 и установка поста секционирования на 637 км (середина);
- 15 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185 и установка поста секционирования на 637 км (середина) и установка третьего трансформатора на станции Ручей;
- 16 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185, установка поста секционирования на 637 км (середина), установка третьего трансформатора на станции Ручей и установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Семигорск и в левом плече станции Ручей;
- 17 – строительство дополнительной подстанции с тяговым трансформатором ТДТНЖ-25000/110-69У1 на 637 км.

Результаты применения рассматриваемых методов приведены в таблице 5, нагрев проводов указан для ЭЧЭ Ручей, а коэффициент загрузки трансформаторов указан для ЭЧЭ Семигорск.

**Таблица 5 – Результаты применения методов усиления на участке Семигорск – Ручей**

Метод усиления / Параметр	Температура КП среднее 3-мин, °С (доп. 120°С)	Напряжение минимальное, кВ (доп. 19 кВ)	Напряжение среднее 3-мин, кВ (доп. 21 кВ)	Коэффициент загрузки трансформаторов 20-мин (доп. 1,75)
Без усилений	40	12,91	18,43	0,62
1	26	15,64	20,1	0,62
2	26	16,83	20,74	0,63
3	31	13,81	18,97	0,62
4	30	14,57	19,43	0,62
5	25	15,99	20,29	0,62
6	24	15,22	19,74	0,6
7	26	17,1	20,94	0,63
8	40	13,87	19,35	0,56



9	26	17,88	21,8	0,57
10	42	14,23	19,19	0,59
11	26	18,25	21,61	0,58
12	26	18,81	21,96	0,32
13	26	18,92	22,33	0,52
14	26	17,91	21,43	0,63
15	26	18,95	22,06	0,57
16	26	19,62	22,78	0,52
17	40	21,79	23,64	0,47

**Усиление участка Ручей – Усть-Кут:**

- 1 – монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 2 – монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода эА-185;
- 3 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95;
- 4 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95 и монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке;
- 5 – замена несущего троса М-95 и ПБСМ-95 на М-120;
- 6 – установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Ручей и в левом плече станции Усть-Кут;
- 7 – установка третьего трансформатора на подстанции Ручей;
- 8 – замена несущего троса М-95 и ПБСМ-95 на М-120 и установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Ручей и в левом плече станции Усть-Кут;
- 9 – строительство дополнительной подстанции с тяговым трансформатором ТДТНЖ-25000/110-69У1 на 637 км (между станциями Семигорск и Ручей);
- 10 – установка поста секционирования на 687 км (середина);
- 11 – замена несущего троса М-95 и ПБСМ-95 на М-120 и установка поста секционирования на 687 км (середина);
- 12 – установка третьего трансформатора на подстанции Усть-Кут;
- 13 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95 и монтаж экранирующего провода эА-185;
- 14 – замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95 и монтаж экранирующего провода эА-185 и установка поста секционирования на 687 км (середина);
- 15 – установка пункта параллельного соединения на 687 км (середина);

Результаты применения рассматриваемых методов приведены в таблице 6, нагрев проводов указан для ЭЧЭ Усть-Кут, а коэффициент загрузки трансформаторов указан для ЭЧЭ Ручей.

**Таблица 6 – Результаты применения методов усиления на участке Ручей – Усть-Кут**

Метод усиления \ Параметр	Температура КП среднее 3-мин, °С (доп. 120°С)	Напряжение минимальное, кВ (доп. 19 кВ)	Напряжение среднее 3-мин, кВ (доп. 21 кВ)	Коэффициент загрузки трансформаторов 20-мин (доп. 1,75)
Без усилений	73	16,83	19,73	0,77
1	34	18,91	20,91	0,75
2	36	19,66	21,42	0,73
3	71	16,83	19,88	0,77
4	31	19,18	21,13	0,76
5	45	18,05	20,37	0,77
6	73	17,65	20,51	0,68
7	69	18,03	20,22	0,42

8	45	18,84	21,16	0,68
9	71	16,91	19,79	0,66
10	64	18,47	20,38	0,77
11	42	19,05	20,75	0,77
12	77	17,66	20,33	0,76
13	46	18,37	20,59	0,76
14	43	19,38	21,05	0,76
15	64	18,47	20,38	0,77

Далее был проведён расчет и сравнение экономических показателей при пуско-наладочных работах, вводе в постоянную эксплуатацию и дальнейшем обслуживании необходимого оборудования на участке Видим – Якурим с целью дальнейшего выбора наиболее выгодного варианта усиления для повышения пропускной способности участка железной дороги.

Исходя из произведенных расчетов капитальных вложений, был сделан вывод о том, что наиболее выгодным вариантом является комплекс усиления, представленный в таблице 7.

**Таблица 7 – Выбранные комплексы усиления**

Участок	Комплекс усиления
Видим – Чёрная	Монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода ЭА-185 на всём участке
Коршуниха – Хребтовая	Замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 на всём участке и установка третьего трансформатора на ЭЧЭ Коршуниха
Семигорск – Ручей	Замена несущего троса ПБСМ-95 на М-95, монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода ЭА-185, установка поста секционирования на 637 км (середина), установка третьего трансформатора на станции Ручей и установка КУ (Q= 4615 квар) в правом плече станции Семигорск и в левом плече станции Ручей
Ручей – Усть-Кут	Монтаж усиливающего провода А-185 и экранирующего провода ЭА-185 на всём участке

### **Заключение**

В ходе исследования был проведен тяговый расчет для поездов повышенной и средней массы, а также для сдвоенных поездов в четном и нечетном направлениях на рассматриваемом участке. По результатам тягового расчета в ПК КОРТЭС был смоделирован график движения поездов, содержащий сдвоенный поезд массой 14200 тонн.

Для определения наиболее эффективного способа усиления системы тягового электроснабжения был проведен многовариантный расчет с применением таких мер усиления, как замена несущего троса, монтаж усиливающего и экранирующего проводов, установка устройств продольной и поперечной компенсации, установка поста секционирования контактной сети и включение в параллельную работу второго трансформатора. Наибольшую эффективность показало комплексное применение рассматриваемых вариантов усиления.

Для обеспечения перспективной пропускной и провозной способности, с использованием сдвоенных поездов массой 14200 тонн выбран наиболее эффективный и экономически выгодный комплекс усиления.

Для определения экономической эффективности предложенных мероприятий были определены единовременные и эксплуатационные затраты на усиление системы тягового электроснабжения, а также рассчитан экономический эффект от увеличения пропускной способности и расчётный срок окупаемости.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рынок грузовых железнодорожных перевозок стран Пространства 1520. М.: ИПЕМ, 2020 – 6 с.
2. Мугинштейн Л. А./ Тяговое обеспечение поездов повышенной массы. – Бюллетень ОУС ОАО «РЖД» №2, 2014 – 5 с.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. Приказом Минтранса России от 23 июня 2022 г. N 250.
4. Бардушко В.Д. Исследование параметров и режимов систем тягового электроснабжения на основе вычислительной техники. Учебное пособие по дипломному проектированию для студентов специальности «Электроснабжение железных дорог»/ В.Д. Бардушко, - Иркутск: ИрГУПС, 2006. - 108 с.
5. Григорьева Н. Н. Методические указания по выполнению экономической части дипломных проектов / метод. пособие / Н. Н. Григорьева, Е. В. Нефедьева – Иркутск: ИрГУПС, 2009.
6. Куцкий, А. П. Анализ мероприятий по уменьшению потерь электрической энергии в системе тягового электроснабжения / А. П. Куцкий, Д. В. Сальникова, К. Е. Кузнецов // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 3(17). – С. 112-118. – EDN ZAUTKO.
7. Куцкий, А. П. Анализ эффективности применения организационных и технических способов повышения пропускной способности тяговой сети двухпутного горно-перевального участка / А. П. Куцкий, И. С. Овечкин, А. А. Галков // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 3(17). – С. 56-63. – EDN LIOLBC.
8. Черепанов, А. В. Влияние режимов систем внешнего электроснабжения на пропускную способность системы тягового электроснабжения / А. В. Черепанов, А. П. Куцкий, А. Р. Хисамов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 2. – С. 8-14. – EDN KHEDOR.
9. Башарин, В. Л. Оценка эффективности применения устройств компенсации реактивной мощности на тяговой подстанции Кежемская ВСЖД / В. Л. Башарин, Е. Ю. Пузина // Транспорт: наука, образование, производство : труды международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 12–15 апреля 2016 года / Ростовский государственный университет путей сообщения; Председатель организационного комитета конференции А.Н. Гуда. Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2016. – С. 229-233. – EDN YKHTQX.
10. Пузина, Е. Ю. Анализ ремонтных режимов работы системы электроснабжения участка Тайшет - Тулун Восточно-Сибирской железной дороги / Е. Ю. Пузина, И. А. Худогонов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1(69). – С. 223-234. – DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).223-234. – EDN MXFTFU.
11. Пузина, Е. Ю. Выбор оптимальных видов оборудования уровня процесса и уровня подстанции цифровой тяговой подстанции / Е. Ю. Пузина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 1(73). – С. 133-144. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.1(73).133-144. – EDN NPQIMS.

## REFERENCES

1. The market of freight rail transportation of the countries of the 1520 Space. М.: IPEM, 2020 – 6 p.
2. Muginstein L. A./ Traction support of trains of increased mass. – Bulletin of the OUS of JSC "Russian Railways" No. 2, 2014 – 5 p.
3. Rules of technical operation of railways of the Russian Federation: approved. By Order of the Ministry of Transport of Russia dated June 23, 2022 N 250.
4. Bardushko V.D. Investigation of parameters and modes of traction power supply systems based on computer technology. Textbook on diploma design for students of the specialty "Power supply of railways"/ V.D. Bardushko, - Irkutsk: IrGUPS, 2006. - 108 p.
5. Grigorieva N. N. Methodological guidelines for the implementation of the economic part of diploma projects / method. manual / N. N. Grigorieva, E. V. Nefedieva – Irkutsk: IrGUPS, 2009.

6. Kutsyi, A.P., Salnikova, D.V., Kuznetsov, K.E. Analysis of measures to reduce losses of electrical energy in the traction power supply system // Young Science of Siberia. - 2022. - No. 3 (17). - S. 112-118. – EDN ZAUTKO.

7. Kutsiy, A.P., Ovechkin, I.S., Galkov, A.A. Analysis of the effectiveness of the use of organizational and technical methods for increasing the throughput of the traction network of a double-track mountain pass section. - 2022. - No. 3 (17). - S. 56-63. – EDN LIOLBC.

8. Cherepanov, A. V., Kutsiy A. P., Khisamov A. R. Influence of external power supply system modes on the capacity of the traction power supply system // Transport infrastructure of the Siberian region. - 2019. - Т. 2. - S. 8-14. – EDN KHEDOR.

9. Basharin, V. L. Evaluation of the effectiveness of the use of reactive power compensation devices at the traction substation Kezhemskaya VSZhD / V. L. Basharin, E. Yu. Puzina // Transport: science, education, production: proceedings of the international scientific and practical conference, Rostov -on-Don, April 12–15, 2016 / Rostov State Transport University; Chairman of the organizing committee of the conference A.N. Hood. Volume 2. - Rostov-on-Don: Rostov State University of Communications, 2016. - P. 229-233. – EDN YKHTQX.

10. Puzina, E. Yu. Analysis of the repair modes of the power supply system of the Taishet - Tulun section of the East Siberian Railway / E. Yu. Puzina, I. A. Khudonogov // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2021. - No. 1 (69). – S. 223-234. – DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).223-234. – EDN MXFTFU.

11. Puzina, E. Yu. Selection of optimal types of equipment at the process level and substation level of a digital traction substation / E. Yu. Puzina // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2022. - No. 1 (73). - S. 133-144. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.1(73).133-144. – EDN NPQIMS.

#### **Информация об авторах**

*Черепанов Александр Валерьевич* - к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: smart\_grid@mail.ru

*Хамуева Елена Николаевна* - студент, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

#### **Authors**

*Cherepanov Aleksandr Valerevich* - Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor the Subdepartment of Electric power transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: smart\_grid@mail.ru

*Khamueva Elena Nikolaevna* - student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk