

А.В. Черепанов, А.Ю. Бардушко

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

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ЗИМА – ГОНЧАРОВО ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ АБТЦ-МШ И «ВИРТУАЛЬНАЯ СЦЕПКА»

Аннотация. В статье проведен анализ режимов системы тягового электроснабжения железных дорог переменного тока на участке Зима – Гончарово при внедрении систем АБТЦ-МШ и «Виртуальная сцепка», а также определено влияние данных систем на изменение пропускной способности рассматриваемого участка. По результатам многовариантных расчетов выявлены наиболее эффективные меры усиления системы тягового электроснабжения для обеспечения требуемой пропускной способности.

Ключевые слова: Моделирование, тяговое электроснабжение, пропускная способность виртуальная сцепка.

ANALYSIS OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM MODES IN THE ZIMA-GONCHAROVO SECTION DURING THE INTRODUCTION OF THE ABTC-MSH AND "VIRTUAL COUPLING" SYSTEMS

Abstract. The article analyzes the modes of the traction power supply system for AC railways on the Zima-Goncharovo section during the introduction of the ABTC-MSH and Virtual Coupling systems, and also determines the effect of these systems on changing the throughput of the section under consideration. Based on the results of multivariate calculations, the most effective measures for strengthening the traction power supply system to ensure the required throughput were identified.

Keywords: Simulation, traction power supply, throughput virtual hitch.

Введение

При современной инфраструктуре железных дорог повышение их пропускной и провозной способности можно осуществить за счет сокращения интервала попутного следования поездов, их пакетного пропуска, увеличения скоростей движения локомотивов и повышения массы поездов, а также повышением уровня напряжения в системе электроснабжения [5]. Для выполнения поставленных целей необходимо решить целый ряд задач по совершенствованию технологии формирования, отправления, пропуска и приема поездов, изменения их нормативного графика движения и др. Одним из способов решения этой задачи является внедрение систем АБТЦ-МШ и «Виртуальной сцепки». С помощью данных систем можно сократить межпоездной интервал попутно следующих поездов до нескольких минут.

Интервальное регулирование – технология, позволяющая поездам двигаться в одном направлении друг за другом на минимальном расстоянии, необходимом для безопасного торможения в экстренной ситуации. При применении технологий интервального регулирования, расстояние между поездами задается не свободными светофорными участками, как сейчас, а с помощью электронных систем управления движением поезда в автоматическом режиме. Технологии интервального регулирования позволяют сокращать интервал попутного движения поездов в несколько раз, увеличивая пропускную способность существующей инфраструктуры без вложения средств в ее расширение.

«Виртуальная сцепка» – интеллектуальная система ведения поездов. Технология предусматривает возможность синхронного движения двух попутно следующих поездов – ведущего и ведомого – на минимально допустимом удалении друг от друга. Координация режимов ведения локомотивов при этом происходит по цифровому радиоканалу. Локомотивные бригады контролируют работу автоматики. Применение технологии при совместном внедрении автоблокировки с подвижным блок-участком (АБТЦ-МШ,

разработка АО «НИИАС») позволит повысить пропускную способность сети без строительства дополнительных путей на перегонах.

Для определения влияния движения поездов по технологиям АБТЦ-МШ и «Виртуальная сцепка» на устройства системы тягового электроснабжения железных дорог и оценки эффективности мероприятий по её модернизации целесообразно применять цифровые модели [1-5].

Моделирование включает 2 этапа. 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. Основным результатом необходимым для перехода к следующему этапу является таблица пикета движения поезда и соответствующие его местоположению активный и полный токи.

На втором этапе проводится анализ режимов системы тягового электроснабжения на участке Зима – Гончарово с помощью программного комплекса Fazonord, разработанного в ИРГУПСе.

Моделирование в ПК КОРТЭС.

Расчетный участок железной дороги Зима – Гончарово имеет сложный профиль пути с уклонами, не превышающих 10.1 ‰. На рисунке 1 изображен продольный профиль расчетного полигона. Протяженность участка Зима – Гончарово – 271,2 км. Параметры и расположение тяговых подстанций представлены в таблице 1.

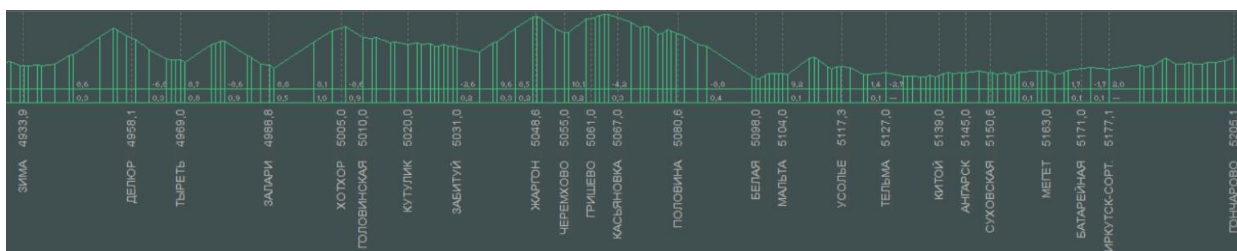


Рис. 1 – Продольный профиль расчетного участка Зима-Гончарово

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
Зима	I	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	38.5	27.5	837
Делюр	I	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	27.5	11	1137
Залари	II	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	27.5	11	996
Головинская	III	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	38.5	27.5	1713
Жаргон	III	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	27.5	11	2350
Половина	II	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	27.5	11	3326
Усолье-Сибирское	I	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	38.5	27.5	3326
Суховская	I	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	27.5	11	3117
Иркутск-Сорт.	I	отст опер	ТДТНЖ	40000	115	38.5	27.5	837
Гончарово	I	опер отст	ТДТНЖ	40000	115	27.5	11	1137

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 рисунке 2.

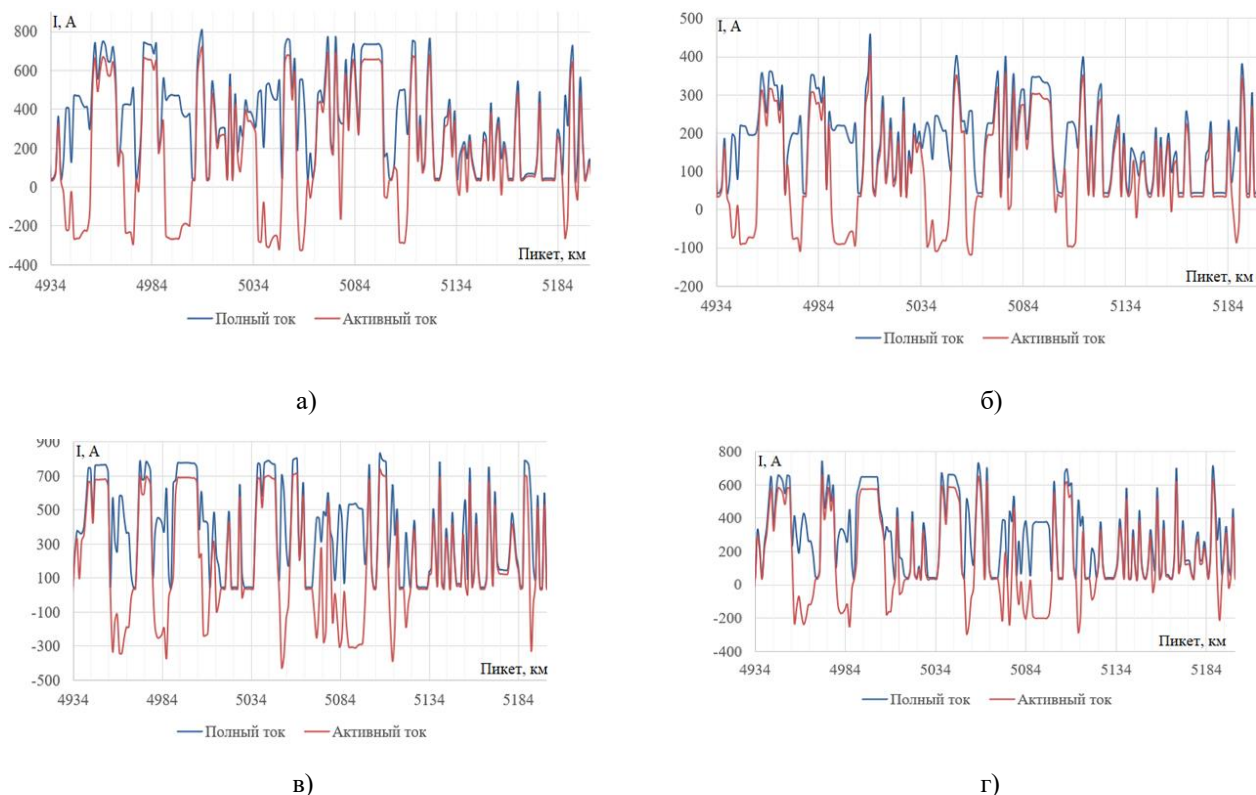


Рис. 2 – Графики зависимости полного и активного тока поезда: а) нечетного массой 6300т. б) четного массой 7100т. в) нечетного массой 2428т. г) четного массой 3353т.

Моделирование в ПК Fazonord.

Модель системы тягового и внешнего электроснабжения участка Зима – Гончарово, изображенная на рисунке 3, представлена одно- и двухцепными ЛЭП с проводами АС-185, АС-300 и напряжениями 110 и 220 кВ, тяговыми подстанциями, смоделированными трехфазными тяговыми трансформаторами ТДТНЖ-40000/110 и участками контактной сети разных конфигураций. Так же имеется компенсирующее устройство на подстанции Зима мощностью 7510 кВАр.

Для определения минимального поездного интервала при существующих устройствах системы электроснабжения был сформирован график движения 80 пар четных и нечетных поездов, изображенный на рисунке 4.

По результатам моделирования, представленным на рисунке 5 а), б) минимальный интервал движения, обеспечивающий напряжение на токоприемнике ЭПС входящий в допустимые пределы, составил 15 мин. При интервале движения 14 мин мы видим снижение напряжения ниже допустимого уровня на участке Делюр – Залари на рисунке 5 в), г).

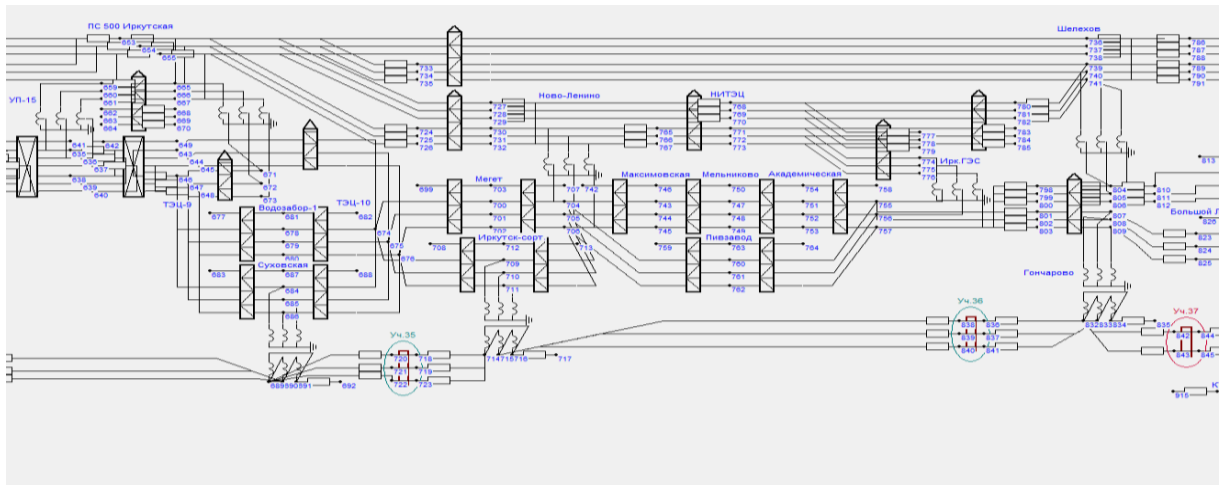
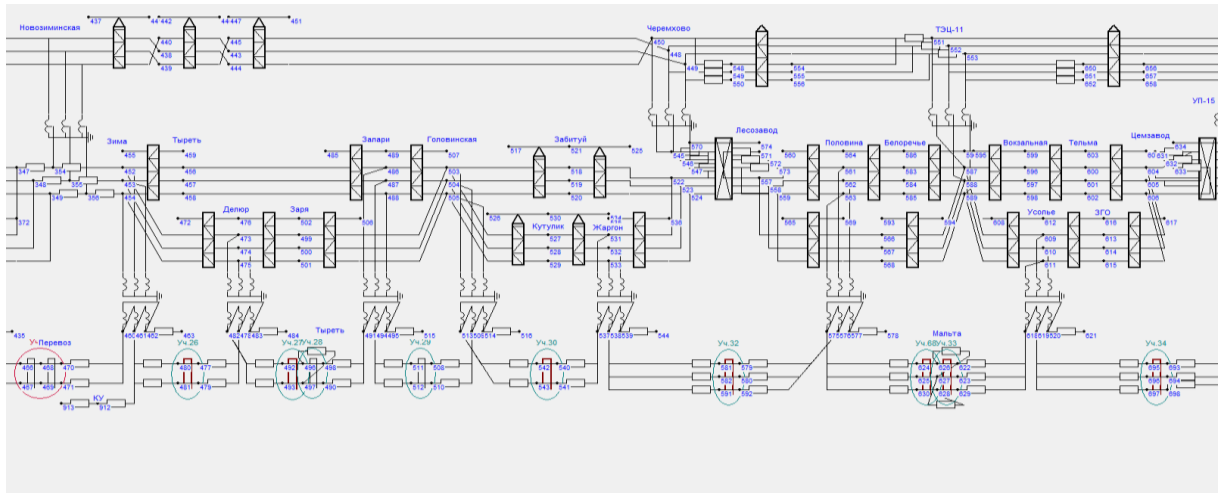


Рис. 3 – Фрагмент расчетной модели в ПК Fazonord

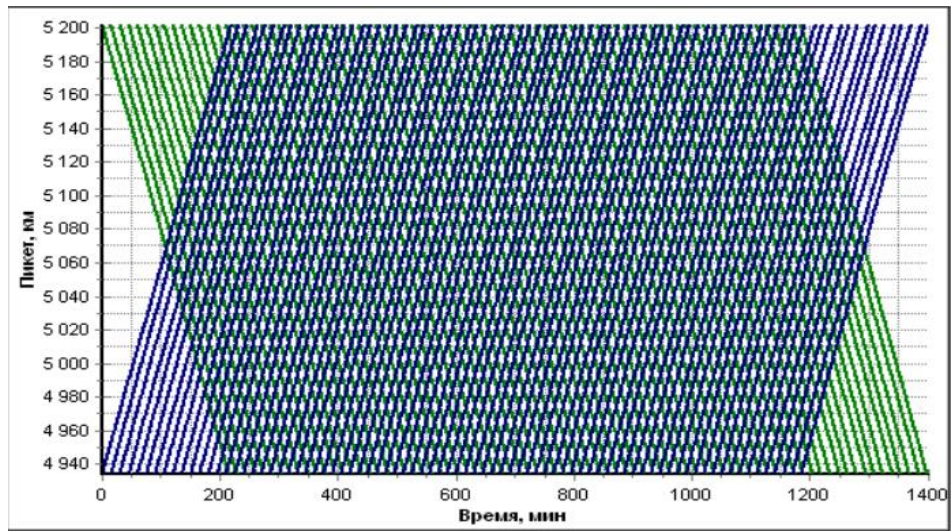
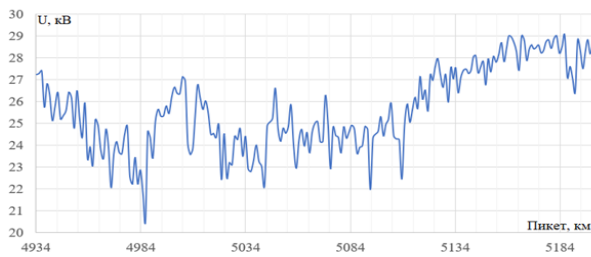


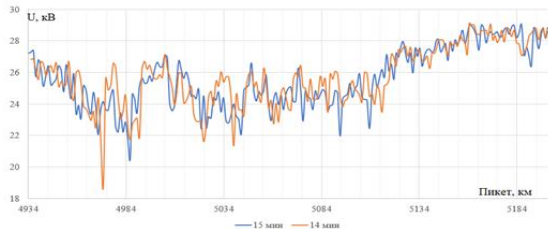
Рис. 4 – График движения 80 пар поездов в четном и нечетном направлениях в ПК Fazonord



а)



б)



в)



г)

Рис. 5 – Напряжение поезда и исходных устройствах СТЭ а) нечетного при интервале 15 минут б) четного при интервале 15 минут в) нечетного при интервале 15 и 14 минут г) нечетного при интервале 15 и 14 минут

Для решения задачи преодоления минимального межпоездного интервала 15 мин при внедрении систем АБТЦ-МШ и «виртуальная сцепка» определим эффективность применения технических решений по усилению системы электроснабжения данного участка. Расчеты со всеми способами усиления проводились при движении 80 пар поездов с интервалами 15 мин.

На данном участке система электроснабжения ослаблена малыми сечениями линии электропередачи и большим расстоянием между автотрансформаторными подстанциями, соединяющими сети 220 и 110 кВ. Поэтому было проведено моделирование установки автотрансформатора мощностью 250 МВА на ТП Головинская.

Вторым вариантом усиления участка от Зимы до Головинской и от Жаргона до Лесозавода была замена проводов с увеличением сечения с АС-185 на АС-300.

Вариантами усиления системы тягового электроснабжения в основном являются установка устройств продольной и поперечной компенсации, постов секционирования на длинных слабых участках, уменьшение сопротивления контактной подвески.

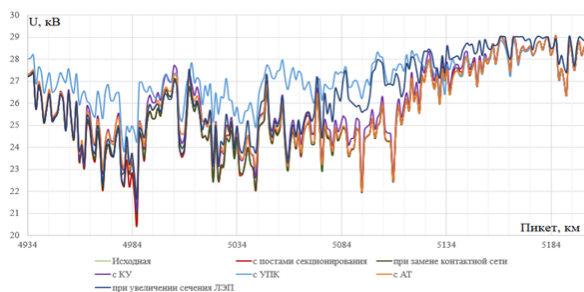
Для определения наиболее эффективного способа усиления лимитирующего участка был проведен сравнительный анализ по уровню напряжения на токоприемнике четного и нечетного поездов. На рисунке 6 приведены графики изменения напряжения на токоприемнике четных и нечетных поездов при разных способах усиления. Так же значения минимальных, средних и максимальных напряжений приведены в таблице 2.

По результатам, приведенным выше очевидно, что наибольшая эффективность достигается при установке устройств продольной компенсации в фазу С на каждой подстанции.

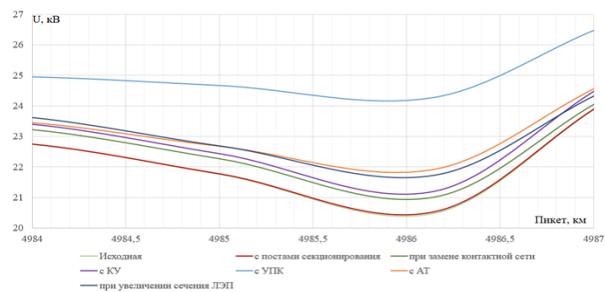
По результатам сравнительного анализа мероприятий для усиления исследуемого участка наиболее эффективным оказалась установка в фазу С тяговых подстанций устройства продольной компенсации. Для оценки потенциала увеличения пропускной способности модернизированной системы тягового электроснабжения межпоездной интервал был уменьшен до 8 минут. График движения показан на рисунке 7 а. На рисунке 7 б), в) представлены кривые напряжения на токоприемниках четных и нечетных поездов при СТЭ, усиленной УПК с 15 и 8 минутным интервалом.

Таблица 2 – Значения минимальных, максимальных и средних напряжений на токоприемнике четного и нечетного поездов при разных методах усиления.

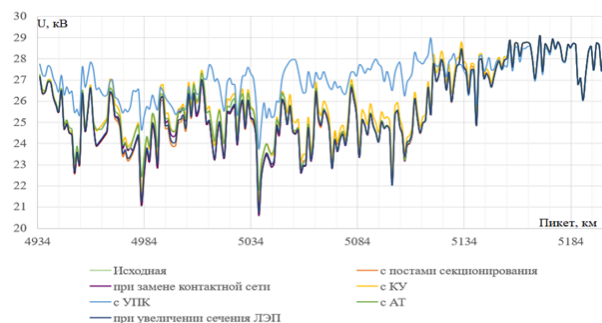
Значения минимальных, максимальных и средних напряжений на токоприемнике нечетного поезда при разных методах усиления.			
Виды усиления	Напряжение на токоприемнике, В		
	минимальное	максимальное	среднее
Без усиления	20.5	29.0	25.7
С постами секционирования	20.5	29.0	25.7
При замене контактной сети	21.0	29.0	25.7
С устройствами поперечной компенсации	21.2	29.0	26.0
С устройствами продольной компенсации	23.8	29.0	27.1
С автотрансформатором	21.9	29.0	25.9
При увеличении сечения ЛЭП	21.7	29.0	26.4
Значения минимальных, максимальных и средних напряжений на токоприемнике четного поезда при разных методах усиления.			
Виды усиления	Напряжение на токоприемнике, В		
	минимальное	максимальное	среднее
Без усиления	20.6	29.1	25.7
С постами секционирования	21.0	29.1	25.7
При замене контактной сети	21.7	29.1	25.7
С устройствами поперечной компенсации	21.3	29.1	26.1
С устройствами продольной компенсации	23.8	28.9	27.1
С автотрансформатором	21.8	29.1	25.9
При увеличении сечения ЛЭП	21.8	29.1	25.7



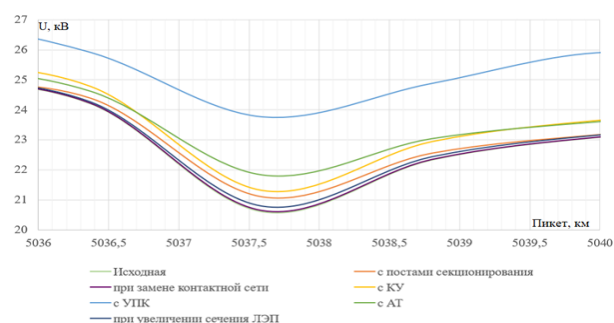
а)



б)

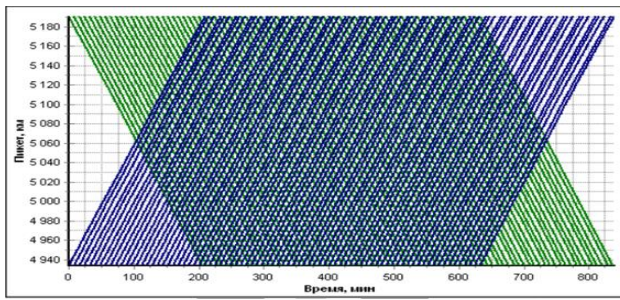


в)



г)

Рис. 6 – Напряжение на токоприемнике исходной модели и после всех усиления а) нечетного поезда, б) нечетного поезда с 4984 по 4987 км, в) четного поезда, г) четного поезда с 5036 по 5040 км.



а)



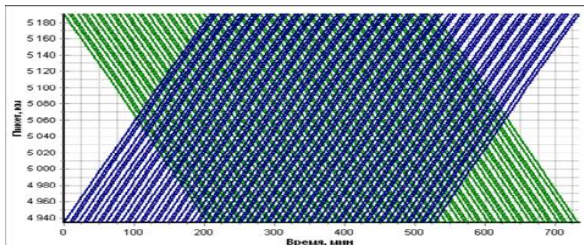
б)



в)

Рис. 7 – а) график движения 80 пар поездов в четном и нечетном направлениях с 8 минутным интервалом в ПК Fazonord, б) напряжение на токоприемнике нечетного поезда с 15 и 8 минутным интервалом при СТЭ, усиленной УПК, в) напряжение на токоприемнике четного поезда с 15 и 8 минутным интервалом при СТЭ, усиленной УПК.

Для оценки внедрения ведения поездов по системе «виртуальная сцепка» интервал движения между поездами средней массы был уменьшен до 4 минут, как показано на рисунке 8 а). На рисунке 8 б), в) представлены кривые напряжения на токоприемниках четных и нечетных поездов при СТЭ, усиленной УПК с 8 минутным и 8+4 минутным интервалом.



а)



б)



в)

Рис. 8 – а) график движения 80 пар поездов в четном и нечетном направлениях с 8+4 минутным интервалом в ПК Fazonord, б) напряжение на токоприемнике нечетного поезда с 8 и 8+4 минутным интервалом при СТЭ, усиленной УПК, в) напряжение на токоприемнике четного поезда с 8 и 8+4 минутным интервалом при СТЭ, усиленной УПК.

По результатам моделирования видно, что при графике движения 8+4 минут напряжение на токоприемнике четного и нечетного поезда снижается ниже допустимого.

Для доведения напряжения до допустимого значения были добавлены следующие мероприятия: КУ на подстанциях Залари и Головинская; пост секционирования на МПЗ между ТП Головинская и Жаргон; замена контактной сети на участке от ППС Тыреть до ТП Залари, как изображено на рисунке 9 а). Результаты моделирования представлены на рисунке 9 б), в).

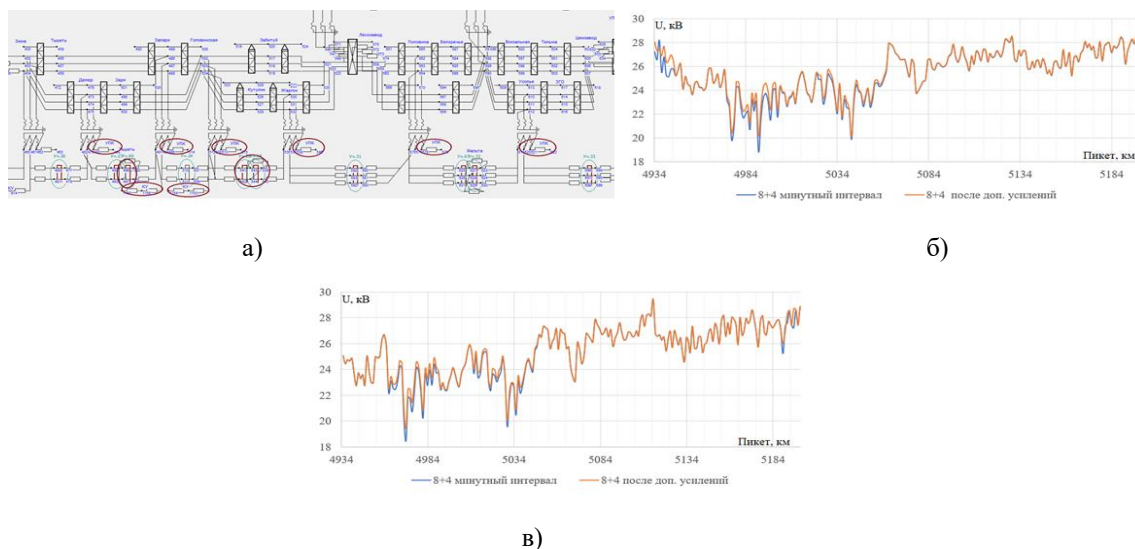


Рис. 9 – а) фрагмент модели с итоговым комплексом усиления из программы Fazonord, б) напряжение на токоприемнике нечетного поезда с 8+4 минутным интервалом до и после усиления, в) напряжение на токоприемнике четного поезда с 8+4 минутным интервалом до и после усиления.

Заключение

В ходе исследования был проведен тяговый расчет для поездов средней и наибольшей массы в четном и нечетном направлениях на рассматриваемом участке. По результатам тягового расчета в ПК КОРТЭС были смоделированы графики движения поездов по системе «виртуальная сцепка» и АБТЦ-МШ и проведен анализ режимов системы тягового электроснабжения на участке Зима – Гончарово в ПК Fazonord.

Был определен минимальный межпоездной интервал при существующих устройствах системы тягового и внешнего электроснабжения равный 15 минутам. Для применения системы ведения поездов «виртуальная сцепка» межпоездной интервал был уменьшен путем применения комплекса мер по усилению лимитирующего участка системы тягового электроснабжения. Для определения наиболее эффективного способа увеличения пропускной способности системы тягового электроснабжения был проведен многовариантный расчет с применением таких мер усиления, как увеличение сечения ЛЭП, установка дополнительной связи между ЛЭП 110 кВ и ЛЭП 220 кВ с помощью автотрансформатора, установка устройств продольной и поперечной компенсации, увеличение сечения контактной сети и установка поста секционирования контактной сети. Наибольшую эффективность показало совместное применение УПК, КУ и замена контактной сети с установкой поста секционирования.

Усиление системы тягового электроснабжения с применением систем «виртуальная сцепка» и АБТЦ-МШ позволило увеличить пропускную способность исследуемого участка почти в два раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куцкий А.П. Снижение несимметрии и несинусоидальности в линиях электропередач, питающих тяговые подстанции // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 1. С. 692-696.
2. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference RusAutoCon, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734
3. Крюков А.В., Куцкий А.П., Черепанов А.В. Улучшение качества электроэнергии в сетях 110-220 кВ, питающих тяговые подстанции // В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи - 2017 Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 318-321.
4. Арсентьев Г.О., Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Куцкий А.П., Нгуен В.Х., Черепанов А.В., Чан З.Х. Управление режимами систем электроснабжения железных дорог на основе технологий интеллектуальных сетей (smart grid) Иркутск.: ИрГУПС, 2019. С. 412
5. Цифровые модели перспективных систем тягового электроснабжения повышенного напряжения Крюков А.В., Черепанов А.В., Степанов А.Д., Середкин Д.А., Фесак И.А. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. №3(71). С. 83-91.

REFERENCES

1. Kutsiy A P. Reduction of asymmetry and nonsinusoidality in power lines supplying traction substations // Transport infrastructure of the Siberian region. 2018. Т. 1. pp. 692-696.
2. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference RusAutoCon, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734
3. Kriukov A V, Kutsiy A P, Cherepanov A V. Improving the quality of electricity in 110-220 kV networks feeding traction substations // In the collection: Electricity through the eyes of young people - 2017 Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference. 2017. pp. 318-321.
4. Arsentev G O, Bulatov IU N, Kriukov A V, Kutsiy A P, Nguen V KH, Cherepanov A V, Chan Z KH. Management of modes of railway power supply systems based on smart grid technologies Irkutsk :. IrGUPS, 2019. P. 412
5. Kriukov A V, Cherepanov A V, Stepanov A D, Seredkin D A, Fesak I A, Digital models of advanced high-voltage traction power supply systems Modern technologies. System analysis. Modeling. 2021. No.3(71). pp. 83-91.

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

Бардушко Александр Юрьевич - студент, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

Information about the 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

Bardushko Aleksandr Yurievich - student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk