

Черепанов А.В.¹, Куцкий А.П.^{1,2}, Есауленко А.С.¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ СЦЕПКИ ДЛЯ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ

Аннотация. Железные дороги, связывают большое количество регионов нашей страны в единую транспортную систему, выполняют большую часть грузооборота всех видов транспорта, занимают важное место в экономической и стратегической составляющей России.

Интенсивное увеличение объёмов перевозок на Восточном полигоне сети железных дорог России и стремительно растущий грузопоток привели к увеличению протяженности участков железных дорог с недостаточной пропускной способностью.

С развитием технологии вождения сдвоенных поездов появилась возможность соединять поезда не только физически, но и посредством «виртуальной сцепки» [1].

Основной задачей новой технологии является сокращение межпоездного интервала и значительное повышение пропускной способности железнодорожных линий. Виртуальная сцепка (ВС) дает возможность объединять в группы поезда, не требуя подборки, а также динамически менять число и состав поездов, входящих в группу.

В данной статье рассматривается эффективность применения технологии ВС на примере одного из участков железной дороги Восточного полигона сети железных дорог.

Ключевые слова: поезд, виртуальная сцепка, пропускная способность, электроэнергетика транспорта, железнодорожный транспорт.

Cherepanov A.V.¹, Kutsyi A.P.^{1,2}, Esaulenko A.S.¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

APPLICATION OF VIRTUAL HITCH TECHNOLOGY FOR HIGH-MASS TRAINS

Abstract. Railways connect a large number of regions of our country into a single transport system, perform most of the freight traffic of all types of transport, occupy an important place in the economic and strategic component of Russia.

The intensive increase in traffic volumes at the Eastern training ground of the Russian railway network and the rapidly growing freight traffic have led to an increase in the length of railway sections with insufficient capacity. With the development of dual-train driving technology, it became possible to connect trains not only physically, but also through a “virtual coupler” [1].

The main objective of the new technology is to reduce the inter-train interval and significantly increase the throughput of railway lines. Virtual hitch (BC) makes it possible to combine trains into groups without requiring picking, as well as dynamically change the number and composition of trains included in a group.

This article discusses the effectiveness of the use of aircraft technology on the example of one of the sections of the railway of the Eastern training ground of the railway network.

Keywords: train, virtual coupling, bandwidth, electric power transport, railway transport.

Введение

Поезд состоящий из двух и более сцепленных между собой поездов является соединенным поездом. Согласно *Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ПТЭ)* одним из основных условий соединенного поезда является наличие в голове каждого поезда действующего локомотива [2].

Недостатками технологии соединенных поездов являются:

- необходимость времени на соединение поездов и проверку тормозов, составляющее 30-60 минут, в связи, с чем на длительное время занимает горловина станции или путь перегона;
- требование подборки соединяемых поездов по состоянию локомотивов и по наличию или расположению отдельных подвижных единиц, с которыми соединение поездов недопустимо;
- повышение рисков возникновения продольно-динамических реакций с последующим выдавливанием вагонов или разрывом (обрывом) автосцепок из-за большой длины соединяемого состава (до 780 осей) и большого веса поезда (до 12 тысяч тонн).

Технология виртуальной сцепки

Развитие технологии вождения соединенных поездов дало возможность соединения поездов посредством виртуальной сцепки.

Виртуальная сцепка не подразумевает физическое сцепление поездов с помощью автосцепного устройства. Поезда находятся на постоянном равноудаленном положении друг от друга.

Расстояние определяется расчетами, исходя из максимального тормозного пути, максимально реализуемых скоростей на участке, плана и профиля пути, веса поездов и множества других факторов [3].

По результатам опытной эксплуатации технологии виртуальной сцепки, согласно расчетам, это расстояние определено в 1500 – 2000 метров из соображений безопасности движения. При этом при обычном следовании поезда идут на расстоянии 5 – 6 км друг от друга (рисунок 1).

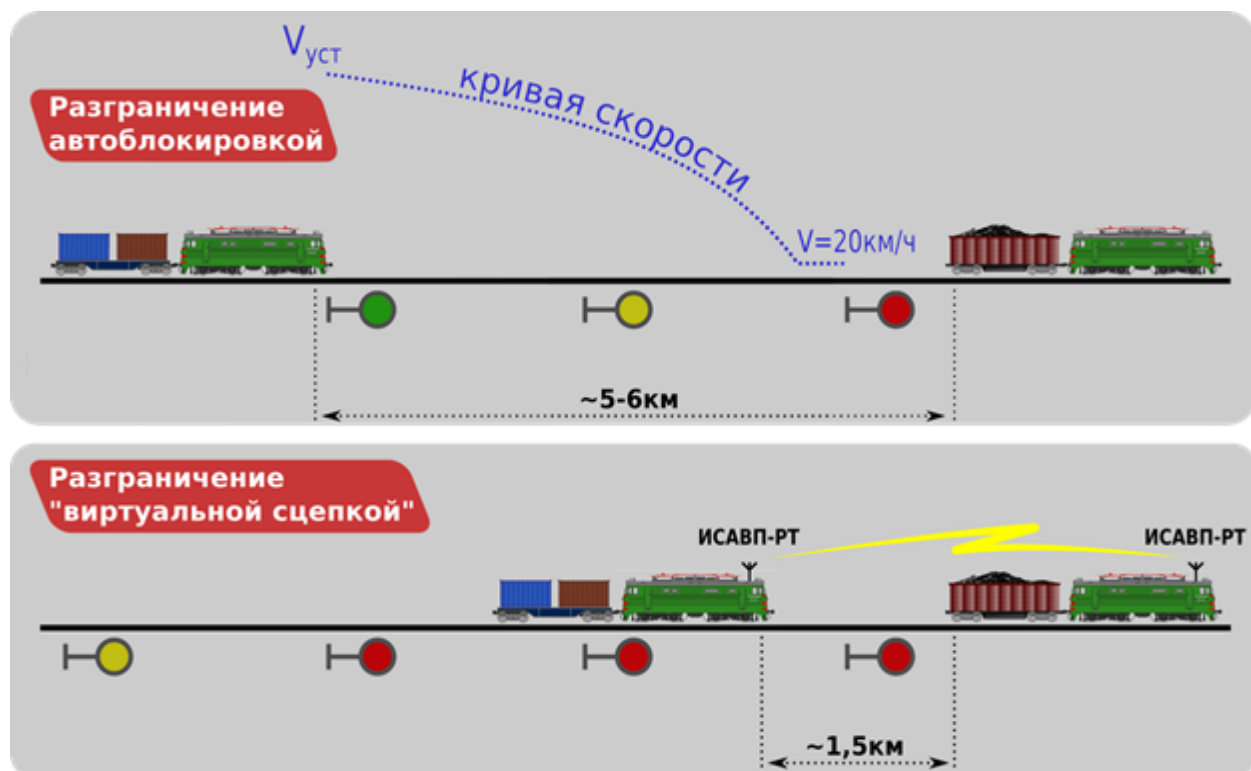


Рис. 1. Разграничение движения поезда с помощью автоблокировки и «виртуальной сцепки»

Технология «виртуальной сцепки» позволяет:

- повысить производительность направления т/км в сутки на 10 – 15 %;
- увеличить пропускную способность направления на 10 – 15 % (в зависимости от обеспечения энергетикой и насыщенности графика движения);
- исключить занятость станционных путей и перегонов, связанную с действиями по физической сцепке сдвоенных поездов;

– оперативно виртуально формировать сдвоенные поезда в больших количествах на участках и перегонах, где проводятся работы в «окнах», повышая пропуск поездов в единицу времени;

– оперативно и мобильно действовать при обгонах пассажирскими поездами и в случае технических неисправностей.

Схема пропуска поездов на базе «виртуальной сцепки» показана на рисунке 2.



Рис. 2. Схема пропуска поездов на базе «виртуальной сцепки»

В результате применения технологии «виртуальной сцепки» исключаются проблемы, присущие соединенным поездам. Благодаря ей, главным преимуществом является резерв пропускной способности участка за счет уплотнения графика движения поездов (если нет ограничений по тяговому электроснабжению).

Минимальный межпоездной интервал при использовании технологии виртуальной сцепки снижается до 4 – 8 минут.

Синхронизация режимов тяги и торможения аналогична физически соединенному поезду и обеспечивается через радиобмен модулями ИСАВП-РТ, согласно рисунку 3.

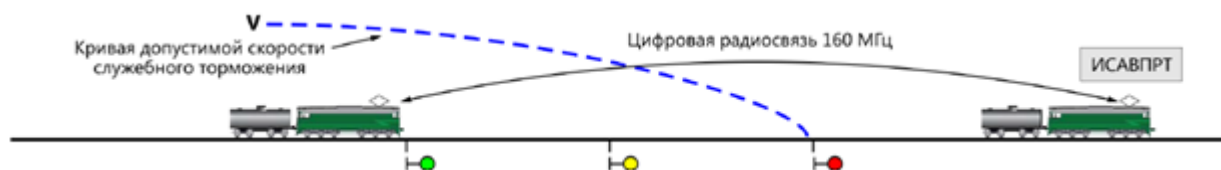


Рис. 3. Работа технологии «виртуальной сцепки» на базе аппаратуры ИСАВП-РТ

Параметры участка

Наличная пропускная способность системы тягового электроснабжения расчетного участка представляет собой наибольшее число поездов, которое может быть пропущено в каждом направлении движения исходя из следующих показателей нагрузочной способности устройств:

- мощность силового оборудования тяговых подстанций – понижающих трансформаторов преобразовательных трансформаторов и выпрямительных преобразователей системы постоянного тока, а также автотрансформаторов системы переменного тока 2х25 кВ;
- напряжение на токоприёмниках электроподвижного состава (ЭПС);
- температура нагрева проводов контактной сети.

Допустимые значения, приведённых выше показателей, необходимо принимать в соответствии с установленной нормативно-технической документацией.

Расчетный участок железной дороги имеет сложный профиль пути с уклонами, не превышающими 9.0 %. На рисунке 4 изображен продольный профиль расчетного полигона. Протяженность участка - 199 км.

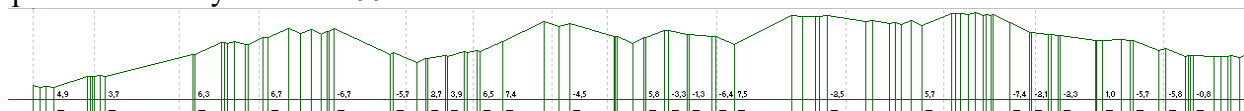


Рис. 4. Продольный профиль расчетного участка

Рассматриваемый участок железной дороги имеет ограничения по скорости движения, которые влияют на токопотребление поездами. Данное ограничение составляет 80 км/час в четном и нечетном направлении.

Схема расположения тяговых подстанций, постов секционирования и пунктов параллельного соединения представлена на рисунке 5.

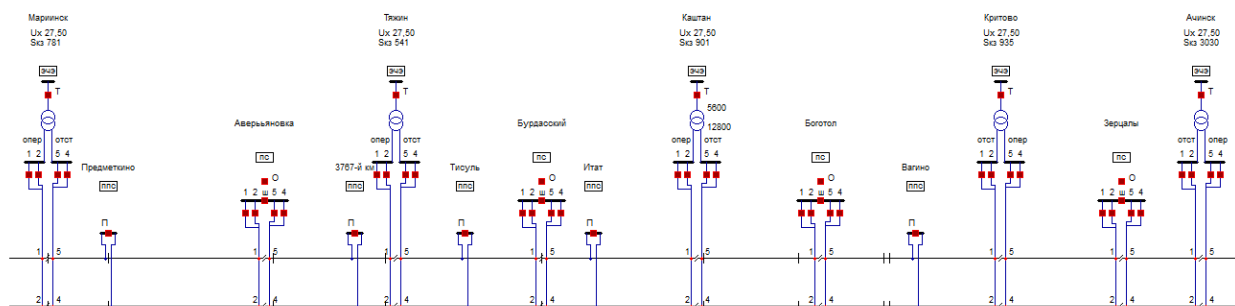


Рис. 5. Расположение тяговых подстанций, постов секционирования и пунктов параллельного соединения

Расчет пропускной способности при одиночном движении поездов

Проведем расчет нагрузок и пропускной способности системы 27,5 кВ по графикам движения поездов для одиночного сдвоенного поезда массой 12600 тонн, и поезда в режиме «виртуальной сцепки» массой 6300-6300 тонн.

Расчеты произведены при помощи программного комплекса КОРТЭС, который позволяет определить параметры режимов работы и пропускной способности системы тягового электроснабжения [4].

Расчет произведем для грузовых поездов в четном и нечетном направлении.

Интервал между поездами в режиме «виртуальной сцепки» принимается равным 4 минуты.

Основные характеристики рабочего режима рассматриваемого участка по результатам расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики рабочих режимов участка

Параметры		Сдвоенный поезд	В режиме «виртуальной сцепки»
Расход энергии	активной, кВт·ч	37162	36829
	реактивной, квар·ч	7596	6397
Потери в тяговой сети, кВт·ч		1129 (3.0 %)	754 (2.0 %)
Ограничивающий коэффициент нагрузки		1.27	1.2
Температура трансформаторного масла, °С		65	65
Напряжение, кВ	минимальное	21.1	23.04
	среднее 3-мин	21.81	23.38
Ограничение температуры, °С	в КС	21	20
	в ОЛ	22	21

Из основных характеристик рабочего режима рассматриваемого участка, приведенных в таблице 1, видно, что ограничивающий коэффициент нагрузки для двух типов поездов не выходит за пределы допустимого значения 2.0. Температура трансформаторного масла 65 °С, что не превышает допустимую 95 °С. Напряжение находится в пределах допустимого значения. Температура в контактной сети и отсасывающей линии мала и не превышает максимального допустимого значения 90 °С.

Анализируя полученные результаты, видно, что при движении поездов в режиме «виртуальной сцепки» расход энергии, потери в тяговой сети, ограничивающий коэффициент нагрузки и температура в контактной сети и отсасывающей линии ниже, чем при движении сдвоенного поезда. Напряжение минимальное и среднее 3-минутное при использовании поездов с виртуальной сцепкой значительно выше, чем при использовании сдвоенных поездов.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование поездов с виртуальной сцепкой на выбранном участке, при одиночном графике движения предпочтительнее, так как при их применении снижаются потери в тяговой сети, расход электроэнергии и остальные параметры тяговой сети, а напряжение на токоприемниках локомотивов существенно выше, чем при использовании сдвоенных поездов.

Расчет пропускной способности при пакетном движении поездов

Пакетным графиком движения называют график движения, при котором поезда пропускаются последовательно с заданным интервалом.

Выбран пакет грузовых тяжеловесных поездов, состоящий из 10 поездов, пущенных в четном и нечетном направлении.

Проведем расчет по графикам движения поездов для 10 сдвоенных поездов массой 12600 тонн и 10 поездов в режиме «виртуальной сцепки» массой 6300-6300 тонн.

Минимальный межпоездной интервал для пакетного графика, состоящего из 10 сдвоенных поездов, на данном участке составляет 36 минут.

Так как минимальный межпоездной интервал для пакетного графика из сдвоенных поездов составляет 36 минут, а интервал между двумя поездами в режиме «виртуальной сцепки» составляет 4 минуты, тогда межпоездной интервал для пакетного графика, состоящего из поездов с виртуальной сцепкой, составит 32 минуты.

Минимальный межпоездной интервал для поездов с виртуальной сцепкой составил 24 минуты.

Основные характеристики рабочих режимов участка по результатам расчетов представлены в таблице 2.

Параметр «время расчета» в таблицах означает время, за которое пройдет пакет поездов от станции отправления до станции назначения.

Таблица 2 – Основные характеристики рабочих режимов участка

Тип поезда Параметры		Сдвоенный поезд	В режиме «виртуальной сцепки»	
Межпоездной интервал, мин		36	32 + 4	24 + 4
Время расчета, мин		495	500	430
Расход энергии	активной, кВт·ч	362819	360295	356651
	реактивной, квар·ч	188610	181723	188499
Потери в тяговой сети, кВт·ч		13185 (3.6 %)	9372 (2.6 %)	10539 (3.0 %)
Ограничивающий коэффициент нагрузки		1.72	1.66	1.16

Температура трансформаторного масла, °С		82	79	91
Напряжение, кВ	минимальное	20.56	21.66	20.53
	среднее 3-мин	21.10	22.06	21.05
Ограничение температуры, °С	в КС	28	27	29
	в ОЛ	28	27	31

Анализируя полученные результаты по участку, видно, что сдвоенные поезда требуют большего минимального межпоездного интервала для восстановления параметров тяговой сети. При одинаковом межпоездном интервале для двух типов поездов, основные характеристики рабочего режима у поездов с виртуальной сцепкой лучше, чем у соединенных поездов.

Заключение

Расчет основных параметров режимов работы системы тягового электроснабжения осуществлялся для одиночного сдвоенного поезда, пакетного графика движения, состоящего из 10 сдвоенных поездов и пакетного графика движения, состоящего из поездов различной массы, составленного на основании перспективных размеров движения поездов на данном участке. Такой же расчет осуществлялся и при замене сдвоенных поездов на поезда с виртуальной сцепкой.

Результат расчетов показал, что при движении поездов в режиме «виртуальной сцепки» расход энергии, потери в тяговой сети, ограничивающий коэффициент нагрузки, температура нагрева трансформаторного масла и температура в контактной сети и отсасывающей линии ниже, чем при движении сдвоенного поезда. Минимальное и среднее 3-минутное напряжение при использовании поездов с виртуальной сцепкой значительно выше, чем при использовании сдвоенных поездов.

Замена сдвоенных поездов на поезда с виртуальной сцепкой позволило значительно сократить минимальный межпоездной интервал.

Использование грузовых поездов с виртуальной сцепкой на рассмотренном участке при выбранном пакетном графике движения позволяет уменьшить межпоездной интервал примерно на 22 %, что позволяет сократить время хода всего графика поездов примерно на 15%.

Таким образом, вождение поездов в режиме «виртуальной сцепки» оказывает положительное влияние на основные параметры режимов работы системы тягового электроснабжения и дает возможность увеличить пропускную способность участка без усиления системы тягового электроснабжения [5-13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климова Е.В., Пилипушка Л.Е., Рябов В.С. Технология "виртуальной сцепки" поездов как инструмент повышения провозной и пропускной способности линии // Транспортная инфраструктура Сибирского региона, Т.1. Иркутск: ИрГУПС, 2019. С. 60-64.
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (утв. Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21.12.10 № 286 с изменениями на 25.12.18). Консорциум кодекс: Справочная правовая система. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902256286>.

3. Розентальс Е. М.. Интервальное регулирование: инновации и перспективы развития: тематическая подборка / Е. М. Розентальс, Н. В. Буйнова; отв. за выпуск Е. В. Шавыркина. – Красноярск: КрЦНТИБ, 2019. – 232 с.
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В. моделирование режимов систем электроснабжения железных дорог. Иркутск: ИрГУПС, 2014.
5. Алексеева Т. Л. Повышение эффективности рекуперации электрической энергии в электрические сети переменного тока / Т. Л. Алексеева, Н. Л. Рябченко, Л. А. Астраханцев, В. А. Тихомиров, М. Е. Алексеев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 86–97. — DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62). 86–97
6. Ступицкий, В. П. Определение остаточной несущей способности металлических конструкций контактной сети [Текст] / В. П. Ступицкий, И. А. Худоногов и др. // Известия Транссиба /Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2019. – № 3 (39). – С. 88 – 99.
7. Банщикова А.А. Прогнозирование объема пропуска перевозимых на нетяговом подвижном составе крупнотоннажных контейнеров в экспортно-импортном сообщении в направлении РФ-КНР / А.А. Банщикова, М.П. Базилевский, В.А. Тихомиров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – Т. 54, № 2. – С. 90–94.
8. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния-Киренга Восточно-Сибирской железной дороги. Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте: материалы Шестого Международного симпозиума “Элтранс-2011”. 2013. - С.464-468.
9. Пузина Е.Ю. Оценка потенциала повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения Абаканской дистанции электроснабжения. Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. –Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2017. – С. 149-153.
10. Ryabchenok N., Alekseeva T., Astrakhancev L., Astashkov N., Tikhomirov V. (2020) Energy-Saving Driving of Heavy Trains. In: Murgul V., Pasetti M. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 982., Pp. 491–508 Springer, Cham, DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_47.
11. Пузина Е.Ю. Оценка остаточного ресурса тяговых трансформаторов Северного хода ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции.–Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013.–С. 173-175.
12. 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.
13. Ушаков В.А., Куций А.П. Снижение несимметрии в электрических сетях, питающих тяговые подстанции // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. №1. С. 167-168.

REFERENCES

1. Klimova E.V., Pilipushka L.E., Ryabov V.S. The technology of "virtual coupling" of trains as a tool to increase the carrying and throughput of the line // *Transport infrastructure of the Siberian region, T.1. Irkutsk: IrGUPS, 2019.S. 60-64.*
2. Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation (approved by Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated December 21, 10 No. 286 as amended on December 25, 18). Consortium Code: Reference Legal System. [Electronic resource] - Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/902256286>.
3. Rosenthals E. M. Interval regulation: innovation and development prospects: thematic selection // *E. M. Rosenthals, N. V. Buinova; open for the release of E.V. Shavyrkin. - Krasnoyarsk: KrCSTIB, 2019 .-- 232 p.*

4. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modeling of railroad power supply systems. Irkutsk: IrGUPS, 2014.
5. Alekseeva T.L., Ryabchenok N.L., Astrakhantsev L.A., Tikhomirov V.A., Alekseev M.E. Povyshenie effektivnosti rekuperatsii elektricheskoi energii v elektricheskie seti peremennogo toka [Increase of efficiency of electric energy recovery into AC electrical networks]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 86–97, DOI: 10.26731/1813- 9108.2019.2(62). 86–97.
6. Stupitskiy V. P., Khudonogov I. A., Tikhomirov V. A, Lobanov O. V. Determination of residual bearing capacity of metal structures of the contact network. *Journal of Transsib Railway Studies*, 2019, vol. 3, no. 39, pp. 88 – 99 (In Russian).
7. Banshchikova A.A., Bazilevsky M.P., Tikhomirov V.A. THE Forecasting of pass volume of large containers carried on nontractive rolling stock in the export-import communication in towards from Russian Federation to China [Increase of efficiency of electric energy recovery into AC electrical networks]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2017. Vol. 54, No. 2. Pp. 90–94.
8. Puzina E.Yu. Strengthening the traction power supply system of the Niya-Kireng section of the East Siberian Railway. *Electrification and development of infrastructure for energy supply of train traction in railway transport: proceedings of the Sixth International Symposium "Altrans-2011"*. 2013. -- S.464-468.
9. Puzina E.Yu. Assessment of the potential for increasing the energy efficiency of the traction power supply system of the Abakan power supply distance. *Transport: science, education, production: collection of scientific papers of the International scientific-practical conference. – Rostov-on-Don: Publishing house of RGUPS*, 2017. - S. 149-153.
10. Ryabchenok N., Alekseeva T., Astrakhancev L., Astashkov N., Tikhomirov V. (2020) Energy-Saving Driving of Heavy Trains. In: Murgul V., Pasetti M. (eds) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 982., Pp. 491–508 Springer, Cham, DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_47.
11. Puzina E.Yu. Assessment of the residual resource of traction transformers of the Northern course of the VZhD. *Transport-2013: proceedings of the international scientific-practical conference. – Rostov-on-Don: Publishing House of the State University of Civil Engineering and Politics*, 2013.–S. 173-175.
12. Puzina E.Yu., Perelygin V.M. Strengthening the traction power supply system of the Yakurim-Zvezdnaya section of the VZHD. *Transport-2013: proceedings of the international scientific-practical conference. – Rostov-on-Don: Publishing House of the State University of Civil Engineering and Politics*, 2013.–S. 176-178.
13. Ushakov V.A., Kutsyy A.P. Decrease in asymmetry in electric networks supplying traction substations // *Modern technologies and scientific and technical progress*. 2018. No. 1. S. 167-168.

Информация об авторах

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

Куцый Антон Павлович – магистрант группы ЦЭМ-19-1, Иркутский национальный исследовательский университет, г. Иркутск. Ассистент кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: tosha1993irk@yandex.ru.

Есауленко Артём Сергеевич – студент ИрГУПС, г. Иркутск, e-mail: esaulenko2000@mail.ru

Authors

Cherepanov Aleksandr Valerevich - candidate of technical sciences, associate professor of the Department "Electric Power of Transport", , Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: smart_grid@mail.ru.

Kutsyi Anton Pavlovich - undergraduate of the Tsem-19-1 group, Irkutsk National Research University, Irkutsk. Assistant, Department of Transport Power Engineering, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: tosha1993irk@yandex.ru.

Esaulenko Artyom Sergeevich - student of IrGUPS, Irkutsk, e-mail: esaulenko2000@mail.ru

Для цитирования

Черепанов А.В. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы [Электронный ресурс] / А.В. Черпанов, А.П. Купый, А.С. Есауленко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – № 2(8). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-20>, свободный.– Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.07.2020)

For citation

Cherepanov A.V. Application of virtual hitch technology for high-mass trains [Electronic resource] / A.V. Cherepanov, A.P. Kutsyi, A.S. Esaulenko // Young science of Siberia: electron. scientific journal - 2020. - No. 2(8). - Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-20>, free. - Zagl. from the screen. - Yaz. Russian, English (date of the application: 10.07.2020)