

Применение различных способов пропуска поездов

В. Н. Знаенко✉, В. Н. Иванов

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

✉ znaenok@yandex.ru

Резюме

В статье в связи с тенденцией роста тяжеловесного движения рассматриваются средства повышения пропускной способности участков железной дороги и увеличения массы поезда за счет применения соединенных поездов. Приведена историческая справка появления технологии пропуска соединенных поездов, перечислены ее основные преимущества и область применения соединенных поездов для решения проблем, связанных с провозной способностью. Представлены показатели пропуска сдвоенных поездов по Восточно-Сибирской железной дороге за 2019 и 2020 г., анализ которых показал рост качественных показателей по весовой норме. Была проанализирована работа соединенных поездов, в результате чего выделены основные недостатки: потеря времени на соединение и рассоединение сдвоенных поездов, резкая просадка напряжения в контактной сети, требование к наличию устойчивой связи между локомотивами, присутствие высококвалифицированных локомотивных бригад в голове каждого поезда и др. Предложено решение перечисленных проблем за счет внедрения инновационных технологий в виде интеллектуальной системы автоматизированного вождения поездов с распределенной тягой ИСАВП-РТ-М, которое позволяет применять технологию вождения поездов по системе «виртуальной сцепки», избегая физического соединения поездов и реализуя автоведение для локомотивов ведомых поездов, следующих в попутном направлении, без локомотивной бригады, либо управление локомотивом в одно лицо. В статье описана работа данной системы, а также представлен способ оптимизации движения на участке железной дороги с автоблокировкой. Указаны преимущества и перспективы развития технологии «виртуальной сцепки». Предложено применять указанную технологию для оптимизации пропуска соединенных поездов по Красноярской и Восточно-Сибирской железной дороге.

Ключевые слова

поезд, масса поезда, автоведение, пропускная способность, тяжеловесное движение, соединенные поезда, «виртуальная сцепка», провозная способность, межпоездной интервал

Для цитирования

Знаенко В. Н. Применение различных способов пропуска поездов / В. Н. Знаенко, В. Н. Иванов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 4 (72). – С. 179–187. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).179-187

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.09.2021, поступила после рецензирования: 17.10.2021, принята к публикации: 19.10.2021

Application of different methods of train passage

V. N. Znaenok✉, V. N. Ivanov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ znaenok@yandex.ru

Abstract

In this article, in connection with the growth trend of heavy traffic, means of increasing the carrying capacity of railway sections and the mass of a train due to the use of connected trains are considered. The article provides a historical background of the emergence of the technology of passing connected trains, lists its main advantages and the scope of application of connected trains for solving problems related to carrying capacity. The article presents the indicators of the passage of double trains on the East Siberian Railway for 2020, the analysis of which showed an increase in quality indicators in terms of weight norm. The work of the connected trains was analyzed, resulting in highlighting of the main disadvantages, such as: the loss of time for connecting and disconnecting double trains, a sharp voltage drop in the contact network, the requirement for a stable connection between locomotives, as well as the presence of highly qualified locomotive crews in the head of each train, etc. A solution to the above problems is proposed through the introduction of innovative technologies in the form of an intelligent system of automated driving of trains with distributed traction ISAVP-RT-M, which allows using the technology of driving trains according to the "Virtual Coupling" system, avoiding the physical connection of trains and realizing locomotives of slave trains traveling in the same direction, without a locomotive crew, or locomotive control by one person. The article describes the operation of this system, and also presents a way to optimize movement on a section of a railroad with automatic blocking. The advantages and prospects for the development of the "virtual coupling" technology are indicated. It is proposed to apply this technology to optimize the passage of connected trains along the Krasnoyarsk and East Siberian railways.

Keywords

train, train weight, driving, traffic capacity, heavy traffic, connected trains, “virtual coupling”, carrying capacity, train spacing

For citation

Znaenok V. N, Ivanov V. N, Primeneniye razlichnykh sposobov propuska poyezdov [Application of various methods of train passage]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 4 (72), pp. 179–187. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).179-187

Article info

Received: 10.09.2021, Revised: 17.10.2021, Accepted: 19.10.2021

Введение

Согласно разработанной ОАО «РЖД» Долгосрочной программе развития до 2025 г. прогнозный объем грузооборота без учета порожнего пробега в 2025 г. по базовому сценарию должен составить 3 млрд 166,4 млн т-км. Также в программе предусмотрено увеличение провозной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей до 180 млн т-км в 2024 г. [1].

Для реализации поставленных задач компании необходимо предпринять ряд мер, которые заключаются не только в увеличении клиентской базы, но и способности инфраструктуры обеспечить выполнение данных показателей. Одним из инновационных направлений холдинга для достижения такого результата является организация грузового тяжеловесного движения поездов.

Тяжеловесное грузовое движение предполагает организацию пропуска грузовых поездов с массой состава 6 300 т и более с включением в состав вагонов с нагрузкой на ось 23,5; 25 т и более. В современных реалиях роста объема перевозок массовых грузов, таких как нефть, уголь, руда, металл и другие, это является важнейшим рычагом интенсификации перевозочных мощностей основных направлений, удовлетворяющим систематические потребности увеличения пропускной способности.

Повышение среднего веса поезда оказывает положительное влияние на производительность локомотивного парка, качественного использования рабочего времени локомотивных бригад, провозную способность участков и направлений магистрали. Позволяет повысить эффективность работы железных дорог в рыночных условиях, поэтому является одним из приоритетных направлений в деятельности компании [2].

Развитие тяжеловесного движения – задача комплексная и реализуется по ряду направлений: поставка современных локомоти-

вов, усиление тягового электроснабжения, модернизация устройств сигнализации, централизации, блокировки (СЦБ) и связи, строительство главных путей и т. д. Такие решения требуют значительный объем инвестиций и реализации в долгосрочном периоде. Ключевой фактор для повышения пропускной и провозной способности, не требующий больших инвестиций и реализуемый в краткосрочном периоде, лежит в применении определенных технологических решений.

Для повышения провозной способности и массы поезда существует весьма эффективное средство ускорения продвижения вагонопотоков по затрудненным участкам – сдвигание поездов.

Сдвоенные поезда: история и современность

В правилах технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ПТЭ ЖД РФ) приведено следующее определение: «поезд грузовой соединенный – грузовой поезд, составленный из двух и более сцепленных между собой грузовых поездов с действующими локомотивами в голове каждого поезда» [3].

За счет пропуска соединенных поездов можно увеличить провозную способность участка. Особенно это решение помогает в сокращении задержек поездов при предоставлении технологических «окон» для производства ремонтно-путевых работ [4].

История применения сдвоенных поездов берет свои истоки во времена Великой Отечественной войны. В дни войны, изыскивая средства для повышения провозной способности линии, машинисты-тяжеловесники и передовые диспетчеры предложили и осуществили сдвигание поездов. Впервые такое решение было применено на Томской железной дороге для кольцевых маршрутов с целью ускорения продвижения составов с углем и усиления провозной способности отдельных участков, главным

образом однопутных [5]. Данное решение быстро получило распространение по различным магистралям.

Сегодня применение сдвоенных поездов активно используется по всей сети железных дорог ОАО «РЖД» и продолжает развиваться и приносить качественные показатели. На рис. 1 представлена информация о количестве сформированных соединенных поездов на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) за 2019 и 2020 г.

По информации Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры всего на протяжении 12 мес. 2020 г. по Восточно-Сибирской железной дороге было проведено 3 504 соединенных поездов. Это превосходит показатель аналогичного периода за 2019 г., прирост случаев формирования соединенных поездов составляет 13 %. В табл. 1 приведены данные о соединенных поездах, пропущенных по ВСЖД за 2019 и 2020 г.

Анализ данных таблицы показывает, что средняя длина поезда и количество осей в течение года в среднем остается без изменения и составляет соответственно 134 и 535. Средняя масса соединенных поездов в 2020 г. по сравнению с предыдущим в среднем увеличилась на 226 т и составила 11 213 т. При неизменном количестве осей и длине поезда масса сдвоенных поездов и их количество с каждым годом продолжает увеличиваться (рис. 2).

Технология вождения соединенных поездов повышенной массы также активно развивается и на Красноярской железной дороге. По информации пресс-центра Красноярской железной дороги по состоянию на 2020 г. прирост случаев использования соединенных поездов составляет 8 % по отношению к 2019 г., их масса достигает 12 тыс. т. Для сравнения, средняя масса грузового поезда на Красноярской железной дороге составляет 4,1 тыс. т.

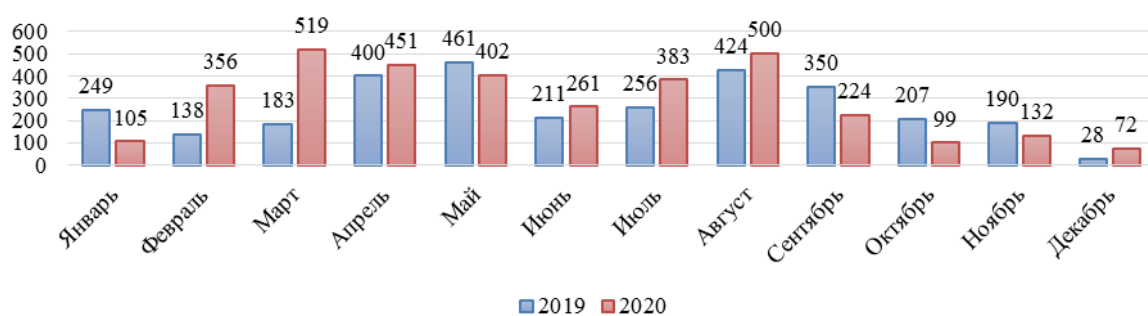


Рис. 1. Количество сформированных соединенных поездов в 2019 и 2020 г. на Восточно-Сибирской железной дороге

Fig. 1. The number of formed connected trains in 2019 and 2020 at the East Siberian railroad

Таблица 1. Данные о сформированных соединенных поездах на Восточно-Сибирской железной дороге за 2019–2020 гг.

Table 1. Data on formed connected trains on the ESSR for 2019–2020

Месяц	Средняя масса поезда (т)		Количество осей в поезде		Средняя длина поезда	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Январь	11 453	12 382	531	524	133	131
Февраль	10 572	12 225	537	528	134	132
Март	10 518	12 328	539	527	135	132
Апрель	10 814	12 429	534	525	134	132
Май	10 303	10 839	544	538	136	135
Июнь	8 733	10 997	554	539	139	135
Июль	10 433	9 529	537	551	134	138
Август	10 720	9 709	534	550	133	138
Сентябрь	11 880	9 424	525	550	131	138
Октябрь	11 595	9 939	533	544	133	136
Ноябрь	12 327	12 316	523	524	131	131
Декабрь	12 450	12 434	524	524	131	131

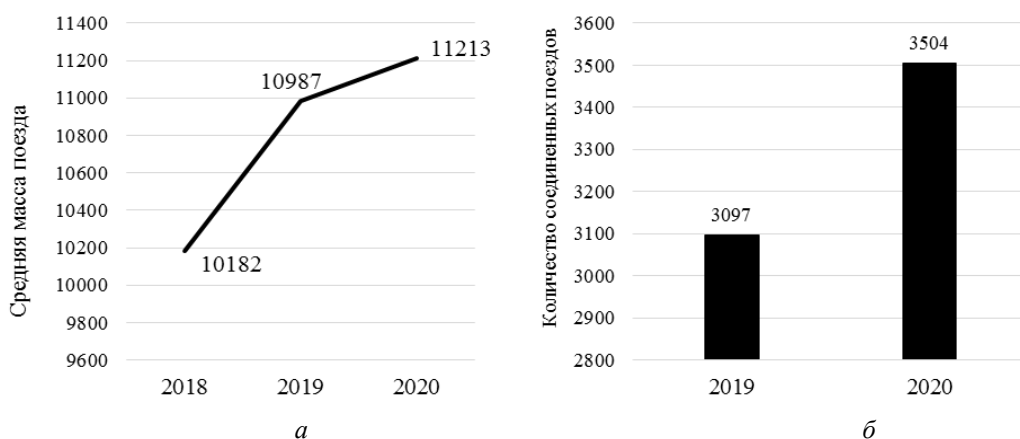


Рис. 2. Средняя масса поезда (а) и количество сформированных соединенных поездов (б) на Восточно-Сибирской железной дороге
Fig. 2 Mean train mass (a) and the number of formed connected trains (b) on the East Siberian Railroad

По представленным данным видно, что применение соединенных поездов оказывает положительное влияние на работу железной дороги и приносит пользу, но только по весовой норме. С чем это может быть связано? Говоря о полезных свойствах соединенных поездов, нельзя забывать о наличии определенных сложностей, возникающих при их пропуске.

Виртуальная сцепка

Формирование соединенных поездов, их стыковка и рассоединение требуют значительных затрат времени, нередко это приводит к уменьшению участковой скорости. Для вождения соединенных поездов требуются опытные высококвалифицированные локомотивные бригады в голове каждого поезда действующих локомотивов. Так как в соединенном поезде есть свои нюансы в управлении тормозами и режиме ведения поезда, для машиниста головного и среднего локомотива они немного разные, все это направлено на недопущение разрыва поезда и предотвращение выдавливания вагонов головного состава локомотивом и составом второго поезда, что может привести к серьезному крушению. Помимо этого, немаловажным требованием является наличие устойчивой связи между бригадами локомотивов, так при некачественной связи, либо отказах на подвижном составе, поезда приходится рассоединять, что также приводит к потерям времени. При движении соединенного поезда по участку наблюдается просадка напряжения в контактной

сети, это вводит ограничения по количеству пропуска соединенных, либо тяжеловесных поездов, а также способствует увеличению межпоездного интервала.

С опорой на сказанное, поставлена цель поиска решения проблемы безопасного вождения соединенных поездов с минимальными затратами времени на сцепку и оптимальным режимом ведения соединенных поездов. Решением упомянутых проблем может служить применение технологии «виртуальной сцепки» с помощью интеллектуальной системы автоматизированного вождения поездов с распределенной тягой ИСАВП-РТ-М.

ИСАВП-РТ-М предназначена для автоматизированного асинхронного и синхронного управления грузовыми электровозами при вождении соединенных поездов. Данная система учитывает профиль пути, постоянные и временные ограничения, продольно-динамические усилия и выбирает энергооптимальный режим ведения поезда.

Работает система следующим образом. При вождении поездов по технологии «виртуальная сцепка» между локомотивами по радиоканалу устанавливается соединение, осуществляется непрерывный обмен данными (место нахождения, длина, вес, текущий режим работы, перспективный режим работы). Следующий локомотив (ведомый), идущий в попутном следовании, обрабатывая информацию с впереди идущего локомотива, выбирает наиболее оптимальный режим работы [6].

Модернизированная унифицированная микропроцессорная система автоведения электропоезда (УСАВП) с установленной системой ИСАВП-РТ-М ведомого поезда, основываясь на информации, поступающей от ведущего поезда, производит расчет момента изменения сигнала огня локомотивного светофора с «желтого» на «зеленый» или с «красно-желтого» на «желтый». Таким образом, соблюдается наименьшее безопасное расстояние между ведущим и ведомым поездами без применения торможения, без нарушения скоростей движения, контролируемых устройствами безопасности. Таким образом, производится непрерывный расчет эффективности работы системы торможения как своего состава, так и виртуально сопряженного для расчета оптимальной траектории ведения поезда.

Технология «виртуальной сцепки» позволяет избежать физического соединения поездов, когда ведущий состав останавливается, ведомый проезжая под запрещающий сигнал стыкуется с первым, объединяется тормозная магистраль, происходит опробование тормозов и т. д. В случае «виртуальной сцепки» второй состав отправляется следом за первым, между локомотивами осуществляется связь по радио-

каналу, такие составы двигаются с минимальным расстоянием между двумя составами, но двигаются как один соединенный поезд. Выигрыш в этом случае состоит в сокращении межпоездного интервала, а также не приходится затрачивать время для физического объединения поездов [7–13].

На рис. 3 представлен способ оптимизации движения на участке с автоблокировкой. Вверху представлен стандартный участок с автоблокировкой с десятью светофорами, на котором располагаются три состава. На следующей картинке показано как с помощью технологии ИСАВП-РТ-М можно оптимизировать движение на таком участке. Реализованное движение по системе «виртуальной сцепки» позволит отправить по магистрали уже две пары виртуально соединенных поездов. На нижней картинке представлена перспектива развития данной технологии – это вождение пакета поездов до пяти локомотивов.

Другим преимуществом предлагаемого решения является наличие системы автоведения, задействовать которую можно для ведомого локомотива, таким образом облегчить труд локомотивных бригад. Возможно варианты управления ведомым локомотивом в одно лицо,

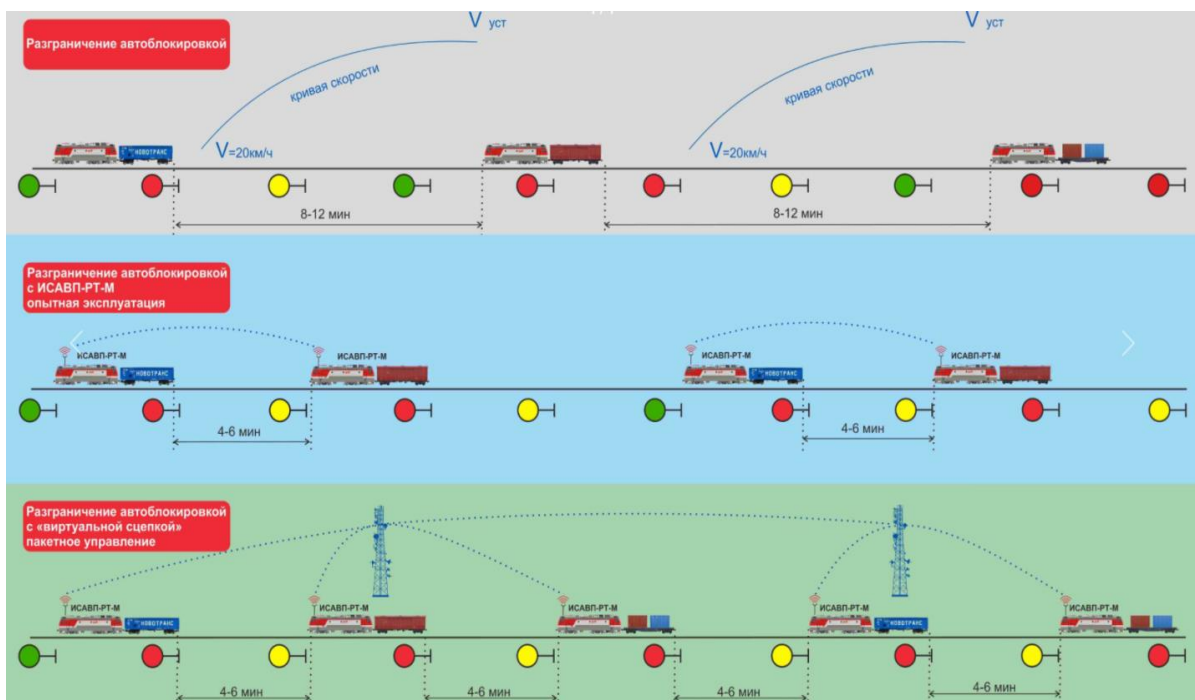


Рис. 3. Применение ИСАВП-РТ-М на участке движения
Fig. 3. Application of ISAVP-RT-M on the traffic area

либо с помощью системы автоведения без локомотивной бригады. Таким образом, в перспективе одна локомотивная бригада сможет провести пять поездов по перегону [14].

Благодаря уже заложенным решениям обеспечено дальнейшее развитие технологии:

- организация пакета до пяти локомотивов, работающих по технологии «Виртуальная сцепка»;

- организация сетей радиообмена внутри пакета локомотивов, работающих по технологии «виртуальная сцепка» за счет встроенного приемника сигналов спутниковой навигации;

- вождение пакетов в период проведения «окон»;

- организация сетей управления пакетом поездов по сетям 4G/LTE за счет встроенного LTE модема;

- улучшение энергообеспечения поездов за счет накопления данных о напряжении в контактной сети и потребляемом токе локомотива, привязанных к пути.

Задействовать данное решение предлагается по всей Красноярской железной дороге и Восточно-Сибирской железной дороге от Тайшета до Иркутска, где отсутствует необходимость применения подталкивающего движения. Основные составляющие эффекта от применения: увеличение пропускной способности участков железных дорог (до 15 дополнительных пар поездов в сутки), повышение безопасности движения, облегчение труда локомотивных бригад, повышение технической и участковой скоростей.

Технология «виртуальной сцепки», разработанная ООО «АВП Технология», успешно прошла эксплуатационные испытания на Дальневосточной магистрали. В ходе испытаний, которые начались 1 ноября 2019 г., за 9 мес. было проведено 245 поездов. За счет применения «виртуальной сцепки» время хода на участке Хабаровск – Ружино – Смоляниново удалось снизить в среднем на 23 мин. [15].

Немаловажным преимуществом внедрения «виртуальной сцепки» является сокращение межпоездного интервала, что дает возможность увеличить пропускную способность. Проанализируем эффект внедрения ИСАВП-РТ-М на примере двухпутного участка железной дороги, оборудованного автоблокировкой. Пропускная способность перегона зависит от типа графика и величины его элементов, а так-

же от путевого развития отдельных пунктов [16]. В общем виде пропускная способность определяется выражением:

$$N = \frac{(1440 - t_{техн}) \alpha_n}{T_{пер}},$$

где 1 440 – количество минут в сутках, мин; $t_{техн}$ – продолжительность технологических «окон» в графике движения, мин; α_n – коэффициент, учитывающий надежность технических средств; $T_{пер}$ – период графика, мин.

Под технологическим «окном» понимается свободный от пропуска поездов промежуток времени, предоставляемый в графике движения и необходимый для выполнения работ по текущему содержанию и ремонту устройств пути, контактной сети, сигнализации, централизации и блокировки. Продолжительность технологического «окна» зависит от типа применяемых машин и механизмов, а также от принятой технологии работ и принимается в расчетах пропускной способности на двухпутных линиях и участках со вставками для безостановочного скрещения поездов равной 120 мин.

Значение α_n для двухпутных линий колеблется в диапазоне 0,86–0,98.

Периодом графика на двухпутном участке с автоблокировкой является интервал между поездами. Приняв межпоездной интервал при стандартном варианте 8–12 мин., а при технологии «виртуальной сцепки» 4–6 мин. (рис. 4), можно вычислить и сравнить значение пропускной способности участка железной дороги при различных способах пропуска поездов.

Анализируя указанную формулу, можно сказать, что за счет сокращения межпоездного интервала в результате применения технологии «виртуальной сцепки» возможно практически вдвое увеличить пропуск соединенных поездов.

Внедрение технологии «виртуальной сцепки» позволит исключить занятость станционных путей, связанную с операциями по физической сцепке, которые могут занимать от 2 до 4 ч на один сдвоенный поезд [17], что в свою очередь положительно скажется на рациональном использовании труда локомотивных бригад и работы железнодорожной станции.

Одним из основных составляющих эффектов применения технологии «виртуальной сцепки» является повышение участковой скорости. Для расчета участковой скорости используется зависимость:

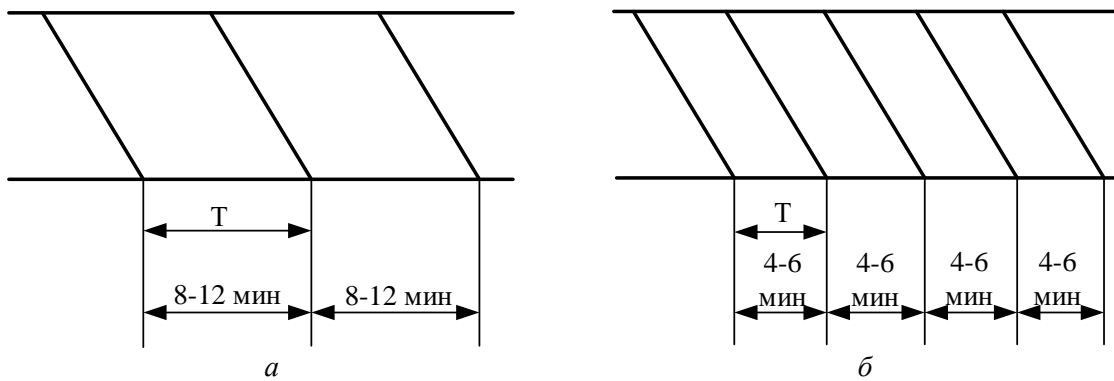


Рис. 4. График движения поездов на двухпутном участке железной дороги, оборудованном автоблокировкой:
a – при стандартном варианте движения; *б* – при использовании виртуальной сцепки
Fig. 4. Train traffic schedule on a double-track section of the railway, equipped with an automatic blocking: *a* – with the standard version of the movement;
b – when using a virtual linkage

$$v_{уч} = \frac{\sum NL}{\sum NT},$$

где $\sum NL$ – общий пробег, предусмотренный по нормативному графику движения, поездо-км; $\sum NT$ – общие затраты времени нахождения поездов на участках, определяемые по нормативному графику, поездо-ч.

Для более гибкого способа определения участковой скорости используют выражение, учитывающее значение ходовой скорости и коэффициента, который учитывает потери ходовой скорости, связанные с технологическими факторами, увеличивающими время нахождения поезда на участке:

$$v_{уч} = v_x \cdot \beta_x,$$

где v_x – значение ходовой скорости, км/ч; β_x – коэффициент скорости.

Коэффициент скорости β_x определяется по формуле:

$$\beta_x = 1 - \frac{T_{зан}}{1440},$$

где $T_{зан}$ – нормативное время занятия графика движения под все виды работ.

Технология «виртуальной сцепки» производит расчет момента изменения сигнала ог-

ня локомотивного светофора, выдерживая наименьшее безопасное расстояние между ведущим и ведомым поездами без применения торможения и нарушения установленных скоростей движения. Опираясь на данные исследования [18], расчет показателей вариантов пропуска соединенных поездов по технологии «виртуальная сцепка» показал рост участковой скорости на 2,5 км/ч по сравнению с типовым физическим способом соединения поездов.

Заключение

Развитие тяжеловесного движения – одно из основных решений, позволяющих повысить провозные способности участков. Модернизация существующих способов пропуска поездов за счет внедрения новых технологий позволит значительно улучшить эксплуатационные показатели и эффективность работы железной дороги. Математическое обоснование технологии «виртуальной сцепки», ее сравнение с различными вариантами пропуска поездов с учетом профиля пути и существующих графиков движения по железнодорожным магистралям представляют направление для дальнейшей научной проработки.

Список литературы

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации 19.03.19 ; Ввод. 19.03.19. URL: <http://government.ru/docs/36094> (дата обращения: 13.04.2021).
2. Кобзев С.А. Поездам придали вес: развитие тяжеловесного движения позволит осваивать растущий грузопоток // Гудок. 2017. № 191. 26 окт. С. 4.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации / ОАО «РЖД». М., 2011. 255 с.

4. Бышляго А.А., Дудакова А.В. Об организации пропуска соединенных поездов в целях повышения провозной и пропускной способности Байкало-Амурской магистрали // Молодая наука Сибири, 2018. № 1. URL: <http://mnv.irkgups.ru/toma/11-2018> (дата обращения 01.01.2021)
5. Тихонов К. Опыт увеличения провозной способности однопутных путей. – Москва: Трансжелдориздат, 1943. 64 с.
6. Виртуальная сцепка ISAVP-PT-M. URL: <https://avpt.ru/products/dlya-gruzovykh-lokomotivov/upravlenie-raspredelennoy-tyagoy-isavp-rt/> (дата обращения 25.12.2020).
7. Щербаченко Т. Сокращая время и расстояние: на Дальневосточной ж.-д. совершенствуется технология «Виртуальной сцепки» разработанной ООО «АВП Технология» // Гудок. 2020. № 26 (17 октября). С. 2.
8. Черепанов А.В., Куцый А.П., Есауленко А.С. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы // Молодая наука Сибири : электрон. науч. журн. 2020. № 2(8). URL: <http://mnv.irkgups.ru/toma/28-20> (дата обращения: 10.07.2020).
9. Бушуев С.В., Гундырев К.В., Голочалов Н.С. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки // Автоматика на транспорте. 2021. Т. 7, № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-propusknoy-sposobnosti-uchastka-zheleznoy-dorogi-s-primeneniem-tehnologii-virtualnoy-stseпки/view-er>. (дата обращения: 10.07.2020).
10. Климова Е.В., Пилипущка Л.Е., Рябов В.С. Технология «виртуальной сцепки» поездов как инструмент повышения провозной и пропускной способности линии // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Т. 1. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2019. С. 60–64.
11. Трумм А.Д. Усиление системы тягового электроснабжения на участке Большой Луг – Слюдянка с учетом пропуска соединенных поездов по системе виртуальная сцепка // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2021. № 1. URL: <http://mnv.irkgups.ru/toma/212-2021> (дата обращения: 08.12.2021).
12. Чиров К. Поезда соединят виртуально: Новые методы работы локомотивного комплекса позволят перевозить больше грузов и людей // Гудок. 2020. № 38. 9 июля. С. 1.
13. Власьевский С.В., Малышева О.А., Шабалин Н.Г., Семченко В.В. Оценка энергетической эффективности электровозов ЗЭС5К при использовании технологии интервального регулирования движения по типу «виртуальная сцепка» // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 1. С. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-17-25>.
14. Плетнёв С. Поезда на связи: На Восточном полигоне по участку Карымская-Находка 1 августа начнется регулярное движение поездов по технологии «виртуальная сцепка» // Гудок. 2020. № 126. 17 июля. С. 2.
15. Кузьмина Н. «Скованные» одной виртуальной сцепкой: Эксплуатационное локомотивное депо Смоляниново по программе ресурсосбережения получило 150 модулей «Виртуальная сцепка», разработанной ООО «АВП Технология» // Гудок. 2020. № 178. 24 сент. С. 7.
16. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой. Ч. II. График движения поездов и пропускная способность. М. : РГОТУПС, 2002. 170 с.
17. Оленевич В.А., Упырь Р.Ю., Антипина А.А. Эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. Т. 66, № 2. С. 182–189.
18. Светлакова Е.Н., Каюмова Т.С. Технология «Виртуальная сцепка» – эффективный путь повышения пропускной способности // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте по итогам конференции. 2019. Т. 1. С. 153–157.

References

1. Dolgosrochnaya programma razvitiya otkrytogo aktsionernogo obshchestva «Rossiyskiye zhelezniye dorogi» do 2025 goda [Long-term development program of the Russian Railways open joint-stock company until 2025], Moscow, 2019, 135 p. URL: <http://government.ru/docs/36094> (accessed 13 April 2021).
2. Kobzev S.A. Poyezdam pridali ves: razvitiye tyazhelovesnogo dvizheniya pozvolit osvivaiv' rastushchiy gruzopotok [The trains were given weight: the development of heavy traffic will allow to master the growing freight traffic]. *Gudok* [Gudok], 2017, No. 191 (October 26). pp. 4.
3. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii [Rules of technical operation of railways of the Russian Federation], Moscow, Russian Railways, 2011. 255 p.
4. Byshlyago A.A., Dudakova A.V. Ob organizatsii propuska soedinennykh poyezdov v tselyakh povysheniya provoznoy i propusknoy sposobnosti Baykalo-Amurskoy magistrali [About of the organization of railway traffic with united freight train in order to increase a low-traffic capacity of Baykal-Amur Railroad]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia], 2018, No. 2.
5. Tikhonov K. Opyt uvelicheniya provoznoy sposobnosti odnoputnykh putey [Experience of increasing the carrying capacity of single-track tracks]. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1943. 64 p.
6. Virtualnaya stseпка ISAVP-RT-M [Virtual coupling ISAVP-RT-M]. URL: <https://avpt.ru/products/dlya-gruzovykh-lokomotivov/upravlenie-raspredelennoy-tyagoy-isavp-rt/> (accessed 25 December 2020).
7. Shcherbachenko T. Sokrashchaya vremya i rasstoyaniye: na Dal'nevostochnoy zh.d. sovershenstvuyetsya tekhnologiya «Virtual'noy stseпки» razrabotannoy ООО «AVP Tekhnologiya» [Reducing time and distance: on the Far East railway. the technology of "Virtual coupling" developed by LLC "AVP Technology" is being improved]. *Gudok* [Gudok], 2020, No. 26 (October 17). pp. 2.
8. Cherepanov A.V., Kutsyi A.P., Esaulenko A.S. Primeneniye tekhnologii virtual'noy stseпки dlya poyezdov povyshennoy massy [Application of virtual hitch technology for high-mass trains]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia], 2020, No. 2(8). URL: <http://mnv.irkgups.ru/toma/28-20> (accessed: 10.07.2020).

9. Bushuev S.V., Gundyrev K.V., Golochalov N.S. Povysheniye propusknoy sposobnosti uchastka zheleznoy dorogi s primeneniye tekhnologii virtual'noy stsepki [Increasing the throughput of a section of the railway with the use of virtual coupling technology]. *Avtomatika na transporte [Automation in transport]*, 2021, No. 1, Vol. 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-propusknoy-sposobnosti-uchastka-zheleznoy-dorogi-s-priimeneniye-tehnologii-virtualnoy-stsepki/viewer>.

10. Klimova E.V., Pilipushka L.E., Ryabov V.S. Tekhnologiya "virtual'noy stsepki" poyezdov kak instrument povysheniya provoznoy i propusknoy sposobnosti linii [The technology of "virtual coupling" of trains as a tool to increase the carrying and throughput of the line]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]*. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2019, Vol. 1, pp. 60–64.

11. Trumm A.D. Usileniye sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya na uchastke Bol'shoy Lug – Slyudyanka s uchetom propuska soyedineniykh poyezdov po sisteme virtual'naya stsepka [Reinforcement of traction power supply systems in the Bolshoy Lug – Slyudyanka section, taking into account the passage of connected trains through the Virtual hitch system]. *Molodaya nauka Sibiri [Young science of Siberia]*, 2021, No. 1. URL: <http://mnv.irkups.ru/toma/212-2021> (accessed: 07.12.2021).

12. Chirov K. Poyezda soedinyat virtual'no: Novyye metody raboty lokomotivnogo kompleksa pozvolyat perevozit' bol'she gruzov i lyudey [Trains will be connected virtually: New methods of operation of the locomotive complex will allow transporting more goods and people]. *Gudok [Gudok]*, 2020, No. 38 (July 9). pp. 1.

13. Vlasyevskiy S.V., Malysheva O.A., Shabalin N.G., Semchenko V.V. Otsenka energeticheskoy effektivnosti elektrovozov 3ES5K pri ispol'zovanii tekhnologii interval'nogo regulirovaniya dvizheniya po tipu «virtual'naya stsepka» [Energy efficiency assessment of the 3ES5K electric locomotives when using interval regulation technology in the form of “virtual coupling”]. *Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT Bulletin]*, 2020, No. 79 (1), pp. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-1-17-25>.

14. Pletnev S. Poyezda na svyazi: Na Vostochnom poligone po uchastku Karymskaya-Nakhodka 1 avgusta nachnotsya regul'yarnoye dvizheniye poyezdov po tekhnologii «virtual'naya stsepka» [Trains in touch: At the Eastern training ground along the Karymskaya-Nakhodka section on August 1, regular train traffic will begin using the "virtual coupling" technology]. *Gudok [Gudok]*, 2020, No. 126 (July 17). pp. 2.

15. Kuzmina N. «Skovannye» odnoy virtual'noy stsepkoj: Ekspluatatsionnoye lokomotivnoye depo Smolyaninovo po programme resursoberezheniya poluchilo 150 moduley «Virtual'naya stsepka», razrabotannoy OOO «AVP Tekhnologiya [“Shackled” by one virtual coupling: The operational locomotive depot Smolyaninovo under the resource saving program received 150 modules “Virtual coupling” developed by OOO AVP Technology]. *Gudok [Gudok]*, 2020, No. 178 (September 24). pp. 7.

16. Abramov A.A. Upravleniye ekspluatatsionnoy rabotoy: Ch. II. Grafik dvizheniya poyezdov i propusknaya sposobnost [Operations management: Ch. II. Train schedule and throughput]. Moscow: RGOTUPS Publ., 2002, 170 p.

17. Olentsevich R.Yu. Upry A.A. Effektivnost' vnedreniya interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poyezdov po sisteme «virtual'naya stsepka» na uchastke [Effectiveness of the implementation of interval regulation of train movement according to the system "virtual coupling" on the site]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2020, Vol. 66, No. 2. pp. 182–189.

18. Svetlakova E.N., Kayumova T.S. Tekhnologiya «Virtual'naya stsepka» – effektivnyy put' povysheniya propusknoy sposobnosti [“Virtual Coupling” Technology – an Effective Way to Increase Throughput]. *Innovatsionnyye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte po itogam konferentsii [Innovative technologies in railway transport following the results of the conference]*, 2019, Vol. 1, pp. 153–157.

Информация об авторах

Знаенко Вячеслав Николаевич – аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: znaenock@yandex.ru.

Иванов Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: v.n.ivanov40161@yandex.ru.

Information about the authors

Vyacheslav N. Znaenok – Post-Graduate Student of Department «Electric Rolling», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: znaenock@yandex.ru.

Vladimir N. Ivanov – Ph. D. in Engineering, Associate Professor of the department «Electric Rolling», IrSTU, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: v.n.ivanov40161@yandex.ru.