УДК 656.021.8

Бушуев С. В., канд. техн. наук

Гундырев К. В.

Голочалов Н. С.

*Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,
Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург*

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ СЦЕПКИ

Цель статьи – определение мер, позволяющих эффективно применять перспективную технологию виртуальной сцепки для решения задачи повышения пропускной способности участка железной дороги. Для этого рассмотрена актуальность вопроса развития пропускной способности с помощью организационно-технических мер – совершенствования систем интервального регулирования движения поездов (ИРДП). Приводятся основные виды систем ИРДП, изучается технология ведения соединенного поезда, при которой происходит физическое объединение поездов, а синхронизация движения осуществляется благодаря интеллектуальной системе автоматизированного вождения поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине локомотивами (ИСАВП-РТ), даются преимущества и недостатки данной технологии. Более подробно рассматривается технология движения в виртуальной сцепке, при которой два поезда движутся на минимально возможном друг от друга расстоянии благодаря обмену информацией по радиоканалу. Сравниваются возможные способы организации виртуальной сцепки: применение радиоблок-центров – технических средств, обрабатывающих информацию с локомотивов и выдающих сигналы управления, а также использование «виртуальной сцепки» при непосредственном обмене информацией между локомотивами. Приводятся ссылки на работы зарубежных авторов по организации CBTC (*Communication Based Train Control*). Рассматриваются технические (отсутствие контрольного режима, необходимость оснащения сети железных дорог радиосвязью) и технологические проблемы, возникающие при реализации данной технологии (сложность обработки возросшего числа прибывающих на станцию поездов). В заключении строится схема эффективного применения технологии виртуальной сцепки для решения задачи повышения пропускной способности участков железных дорог. Сделан вывод о том, что задача повышения пропускной способности требует комплексного подхода к решению с учетом всех технических и технологических особенностей участка.

Пропускная способность, провозная способность, интервальное регулирование, соединенный поезд, виртуальная сцепка, радиоканал

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-1-7-20

Введение

Железная дорога – ключевой элемент транспортной системы РФ, обеспечивающий более 45 % грузооборота и 26 % пассажирооборота. Российские

железные дороги — неотъемлемая часть международных транспортных сетей. Одной из множества сформулированных в стратегии развития холдинга «РЖД» целей является формирование и продвижение комплексных транспортно-логистических услуг на евроазиатском пространстве за счет увеличения транзитных перевозок грузов на ключевых направлениях Восток—Запад и Север—Юг.

Тенденция увеличения грузооборота диктует необходимость повышения эффективности использования существующей инфраструктуры, освоения и применения передовых инновационных технологий и технических средств.

Максимальные объемы перевозок, осуществляемых на сети железных дорог, определяются такими параметрами, как пропускная и провозная способности. Поэтому актуальной задачей становится повышение пропускной и провозной способностей железнодорожных линий, особенно в условиях ремонта пути с закрытием одного из путей двухпутных участков.

На железных дорогах постоянно проводятся мероприятия по увеличению пропускной и провозной способности наиболее загруженных участков. Те, что призваны повышать пропускную способность, делятся на два основных типа: реконструктивные и организационно-технические. К реконструктивным относятся меры, требующие значительных капиталовложений и длительных сроков выполнения работ, например строительство дополнительных путей перегонов, реконструкции путевого развития станций. К организационно-техническим относятся мероприятия, позволяющие снять инфраструктурные ограничения путем совершенствования существующих средств и более эффективно применять их.

Цель статьи — рассмотреть возможные варианты повышения пропускной способности железной дороги через совершенствование систем интервального регулирования движения поездов. Особое внимание уделяется перспективной технологии виртуальной сцепки поездов, которая относится к классу СВТС (Communication Based Train Control). Движение поездов в таких системах управления осуществляется на базе радиоканала. Также будут определены преимущества и недостатки данной технологии, предложен возможный сценарий для перехода к ее эффективному применению.

1. Системы интервального регулирования движения поездов

Основные виды систем интервального регулирования:

- полуавтоматическая блокировка (ПАБ) — система интервального регулирования, при которой по перегону может двигаться только один поезд;
- автоблокировка (АБ) — система автоматического регулирования интервалов между поездами, попутно следующими по перегону;
- автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа как самостоятельное средство сигнализации и связи (АЛСО) — движение поездов по перегону осуществляется по показаниям локомотивных светофоров;

— многозначная локомотивная сигнализация (АЛС-ЕН) — межпоездным интервалом считается временной промежуток между прохождением поездами расчетной точки с максимально допустимой скоростью;

— автоблокировка с подвижными блок-участками — основана на принципе участков кодирования за хвостом поезда.

Существует технология организации движения соединенных поездов. Составы соединяются автосцепкой, а их тормозные магистрали объединяются в единую магистраль. Для управления локомотивами соединенных поездов применяется система ИСАВП-РТ, разработанная ООО «АВП ТЕХНОЛОГИЯ».

ИСАВП-РТ — интеллектуальная система автоматизированного вождения поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине локомотивами (распределенной тягой). Предназначена для автоматизированного согласованного управления грузовыми электровозами в соединенных поездах. Система учитывает профиль пути, постоянные и временные ограничения, продольные динамические усилия и выбирает энергооптимальный режим ведения поезда. Поезд, оборудованный аппаратурой ИСАВП-РТ, может управлять блоком хвостового вагона (БХВ) и системой управления тормозами поезда СУТП. Для осуществления радиосвязи применяется основной (150–160 МГц) и дублирующий (2,13 МГц) радиоканалы.

Для организации движения соединенных поездов прошла испытания система АВ-РТ, разработанная совместно специалистами АО «ВНИИЖТ», АО «Московский тормозной завод ТРАНСМАШ» и ООО «НПО САУТ». Отличительная особенность системы заключается в способности соразмерно снижать тягу локомотивов в соединенном поезде при снижении напряжения в контактной сети.

Сейчас из-за отсутствия на промежуточных станциях длинных путей операции по формированию соединенного поезда происходят с занятием горловины и перегона, что отрицательно сказывается на интенсивности отправления попутных поездов [1].

2. Технология виртуальной сцепки

В соответствии со стратегией научно-технологического развития холдинга «РЖД» одним из перспективных направлений становится развитие технологий интервального регулирования движения поездов с использованием беспроводной передачи данных.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте ведет разработку виртуальной сцепки. Это технология интервального регулирования движения поездов, в которой расстояние между ведущим поездом и ведомым может изменяться в зависимости от профиля пути, скорости движения ведущего поезда, постоянных и временных ограничений. В отличие от технологии соеди-

ненного поезда, виртуальная сцепка не предполагает физического объединения составов, а значит и не требует наличия на станции длинных приемоотправочных путей [2].

Сравнение технологий представлено на рисунке 1.

Рис. 1. Сравнение технологии соединенного поезда и виртуальной сцепки

По условиям безопасности движения расстояние между последним вагоном впереди идущего поезда и головным локомотивом следующего за ним поезда должно быть не меньше разницы длины служебного торможения идущего сзади поезда и длины экстренного торможения идущего впереди поезда [3]. Выполнение данного условия возможно только при динамическом расчете скорости движения поезда на основе необходимого объема и достоверности непрерывно получаемой информации о координате и скорости движения идущего впереди поезда [4]. Однако технология виртуальной сцепки в перспективе поможет перейти к гибкому управлению движением, позволяющим при необходимости сближать и отдалять поезда, которые следуют в виртуальной сцепке, обеспечивая наиболее удобный график движения.

3. Реализация технологии виртуальной сцепки

Существует два подхода к организации технологии виртуальной сцепки. Первый предполагает обмен данными непосредственно между локомотивами

Рис. 2. Виртуальная сцепка поездов с обменом данными между локомотивами

(рис. 2). Связь между ними осуществляется посредством радиоканала. Ведущий локомотив фактически управляет работой ведомого, отправляя ему режимы ведения поезда, а ведомый отправляет информацию о своем состоянии для корректирования режимов ведения. Синхронизация движения обеспечивается системой ИСАВП-РТ.

Рис. 3. Виртуальная сцепка с обменом данными через радиоблок-центр

Второй подход предусматривает обмен данными между локомотивами через радиоблок-центр (рис. 3).

Радиоблок-центр на основании информации от систем СЦБ и локомотивов формирует и передает команды управления поездом.

Технология виртуальной сцепки с обменом данными через радиоблок-центр активно тестируется на опытных участках железных дорог в составе Европейской системы управления железнодорожным транспортом ERTMS уровня 3 [5–9]. Вопросами инноваций железнодорожной отрасли, в т. ч. исследованиями в области применения технологии виртуальной сцепки, в Европе занимается исследовательская организация Shift2Rail в рамках программы Horizon 2020. Научные работы направлены на внедрение инновационных решений для построения Единой европейской железнодорожной сети (SERA – Single European Railway Area) [10–12].

В отечественных условиях наиболее эффективен вариант с непосредственным обменом данными между локомотивами, поскольку не требует строительства дополнительных радиоблок-центров на протяжении всей железнодо-

рожной линии. Технология прошла успешные испытания на сложном горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги. Успешно отправлены два поезда в режиме виртуальной сцепки со станции Хабаровск-2 на станцию Находка-Восточная – Дальневосточной железной дороги. На этом участке запланировано пропускать по пять пар поездов в виртуальной сцепке каждые сутки.

4. Недостатки технологии виртуальной сцепки

Наряду с очевидными преимуществами виртуальной сцепки в виде повышения пропускной и провозной способностей существуют значительные проблемы для реализации технологии повсеместно. К ним относятся:

- отсутствие надежной альтернативы напольным устройствам безопасности (необходимость обеспечения контрольного режима);
- недостаточная оснащенность сети железных дорог цифровой радиосвязью;
- потребность в «умном локомотивном устройстве безопасности», которое будет принимать и передавать сигналы управления, определять местоположение поезда с высокой точностью, контролировать целостность состава [13, 14].

Кроме технических проблем есть и технологические. Рассмотрим ситуацию, в которой происходит увеличение темпа приема поездов на станцию. Наибольшее влияние оказывает ограничение количества принимаемых поездов по числу приемоотправочных путей. Допустим, время прибытия между поездами на станцию составляет 10 минут, а время обработки одного состава – 25 минут. Тогда приемоотправочные пути могут заполняться последовательно без каких-либо задержек. При сокращении интервала времени между поездами до 5 минут первые четыре поезда займут все приемоотправочные пути. А с пятого поезда возникают задержки, связанные с технологическими операциями по обработке поездов, прибывших на станцию (рис. 4) [15].

Это означает, что при решении задачи повышения пропускной способности отдельных участков необходимо концентрировать внимание не только на совершенствовании инфраструктуры, но и на том, как изменить технологию организации движения.

5. Схема применения технологии виртуальной сцепки

На основании всего вышесказанного можно построить схему применения технологии виртуальной сцепки, обеспечивающую повышение пропускной способности участка железных дорог (рис. 5).

Овальными рамками обозначены получаемые эффекты, а прямоугольными – действия для получения требуемого эффекта.

В нижней части рисунка 5 приводятся условия, без которых невозможна безопасная реализация технологии виртуальной сцепки.

Рис. 4. Обработка поездов на станции

Рис. 5. Схема применения технологии виртуальной сцепки

Под «умным локомотивным устройством безопасности» понимается комплекс технических средств для двухстороннего взаимодействия с объектами инфраструктуры, операторами процессов и автоматического регулирования скорости поезда.

Важный фактор безопасности движения по радиоканалу без применения напольных устройств безопасности — непрерывный контроль целостности состава. Поэтому для поездов, двигающихся в виртуальной сцепке, обязательным условием станет наличие безопасной системы контроля целостности состава.

Следующее условие для перехода к технологии движения в виртуальной сцепке — точное позиционирование подвижных единиц. Точность расчетов допустимой скорости движения поезда в определенной точке пути зависит от точности определения координаты головного локомотива. Интенсивность отказов, приводящих к неправильному определению координаты головы поезда, должна быть не менее 10^{-9} ч^{-1} [4]. С помощью одних только спутниковых навигационных систем пока не удастся добиться требуемой для решения задачи точности и надежности определения координат подвижного объекта. Комбинация спутниковых систем с другими методами позиционирования позволит обеспечить нужные характеристики.

Однако нужно быть уверенными и в безопасности полученных данных, поэтому необходимы алгоритмы и устройства, обеспечивающие безопасность вычисления, приема и передачи данных о местоположении и состоянии поездов, движущихся в виртуальной сцепке. Надежность передачи данных по радиоканалам должна соответствовать требованиям стандарта BS EN 50159:2010+A1:2020. Максимальная задержка при передаче данных между бортовым оборудованием разных локомотивов или бортовым оборудованием и радиоблок-центром должно быть менее 500 мс в 99 % случаев, а интенсивность отказов с потерей соединения — менее 10^{-2} ч^{-1} [4].

Соблюдение всех условий позволит перейти к применению технологии виртуальной сцепки. Эффектом от ее применения станет сокращение интервала в пакете, поскольку интервал между поездами на перегоне будет уменьшен. Но увеличение количества поездов на перегоне может привести к тому, что инфраструктура станций участка железной дороги не сможет переработать поток поездов, прибывающих с минимальным интервалом.

Для получения дальнейшего эффекта от применения виртуальной сцепки необходимо решить возникающую проблему. Есть три основных направления решения:

- совершенствование технических средств, сокращающих продолжительность технологических операций, например, применение технологии автоматизированного закрепления состава;
- изменение технологии организации движения на участках — поиск резервов пропускной способности, переключение электрической централизации в режим автоблокировки, определение оптимальных вариантов движения поездов в виртуальной сцепке с учетом возможности их сближения и удаления друг от друга;
- улучшение инфраструктуры — реконструкция путевого развития станций, систем тягового энергоснабжения и других систем обеспечения движения поездов.

Перед внедрением технологии виртуальной сцепки требуется провести детальный анализ технического и технологического состояния участка. Для этого эффективно использовать методы имитационного моделирования [16–18].

Представленные варианты развития технологии виртуальной сцепки являются общими. Возможно, на некоторых участках и направлениях достаточно будет изменить технологию организации движения без привлечения значительных затрат на технические средства или инфраструктуру. На других придется провести дополнительную модернизацию технических средств, сокращающих продолжительность технологических операций.

Заключение

В статье рассмотрены возможные варианты решения задачи повышения пропускной способности участка железной дороги путем совершенствования

систем интервального регулирования, перечислены их основные виды. Обозначены преимущества и недостатки технологии ведения соединенного поезда. Такая технология наиболее эффективна при выполнении капитальных ремонтов на перегоне, к недостаткам можно отнести значительное время формирования состава и необходимость в длинных приемоотправочных путях. Более подробно описана технология виртуальной сцепки поездов. Выделены как технические недостатки (отсутствие альтернативы рельсовым цепям, необходимость оснащения сети железных дорог радиосвязью, потребность в «умном локомотивном устройстве»), так и технологические (сложность обработки возрастающего потока прибывающих на станцию поездов).

Предложена схема повышения пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки. Переход к виртуальной сцепке не дает значительного эффекта, т. к. возникают технологические и инфраструктурные ограничения, снижающие эффективность данной технологии. В схеме выделяются три пути снятия ограничений: совершенствование технических средств на станции, которые позволяют ускорить процесс обработки прибывающих поездов; улучшение инфраструктуры и изменение технологии организации движения на участке (поиск оптимальных вариантов движения пакетов поездов с учетом гибкости технологии виртуальной сцепки).

Таким образом, представленная схема применения технологии виртуальной сцепки показывает: для решения задачи повышения пропускной способности недостаточно реализовать технологию виртуальной сцепки. Необходимо прорабатывать вопросы состояния инфраструктуры, переосмыслить технологию организации движения поездов, развивать технические средства, снижающие затраты времени на производимые людьми операции по обработке составов.

Из этого следует, что с учетом всех технических и технологических особенностей участка повышение пропускной способности требует комплексного подхода, а технология виртуальной сцепки является одним из множества элементов, над которыми предстоит работать для решения поставленной задачи.

Библиографический список

1. Климова Е. Е., Пилипушка Л. Е., Рябов В. С. Технология «виртуальной сцепки» поездов как инструмент повышения провозной и пропускной способности линии // Транспортная инфраструктура сибирского региона : Материалы X Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 60–64.
2. Розенберг Е. Н., Коровин А. С. Глобальные тренды развития транспортных систем // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 12. – С. 14–19.
3. Баранов Л. А. Оценка интервала попутного следования метropоездов для систем безопасности на базе радиоканала // Мир транспорта. – 2015. – № 2. – С. 6–19.
4. Шаманов В. И. Системы интервального регулирования движения поездов с цифровыми радиоканалами // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – № 2. – С. 223–239.

5. Pascoe R., Eichorn T. What is communication-based train control? – *Vehicular Technology Magazine, IEEE*. – Volume 4. – Issue 4. – 2009. – Pp. 16–21.
6. Cheptsov M., Tsykhmistro S., Boinik A., Bakhal I. Project NEAR – Network of European / Asian Rail Research Capacities (signalling systems). – *Збірник наукових праць ДонІЗ Т.* – 2013. – № 36. – Pp. 106–119.
7. Farooq H., Soler J. Radio communication for Communication-Based Train Control (CBTC) : A tutorial and survey, *IEEE Communications and Surveys & Tutorials*. – 2017.
8. Smith P., Majumdar A., Ochieng Y. An overview of lessons learnt from ERTMS implementation in European railways. – *Journal of Rail Transport Planning & Management*. – № 2. – 2012. – Pp. 79–87.
9. Percoco M., Siciliano G., Baccelli O. An evaluation of the introduction of the Global Navigation Satellite System for regional railways : Case studies from Italy. – *Journal of Rail Transport Planning & Management*. – № 7. – 2017. – Pp. 263–276.
10. Mitchell I., Goddard E., Montes F., Stanley P., Muttram R., Coenraad W., Pore J., Andrews S., Lochman L. ERTMS Level 4, Train Convoys or Virtual Coupling. – *Institution of railway signal engineers, IRSE news issue 219*. – 2016.
11. Flammini F., Marrone S., Nardone R., Petrillo A., Santini S., Vittorini V. Towards Railway Virtual Coupling. – *International Conference of Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference*. – 2019.
12. Goikoetxea J. Roadmap Towards the Wireless Virtual Coupling of Trains. – *Springer International Publishing Switzerland*. – 2016. – Pp. 3–9.
13. Тильк И. Г., Ляной В. В., Гнидько Р. В. Альтернативы рельсовым цепям. Возможности и ограничения // *Автоматика, связь, информатика*. – 2019. – № 2. – С. 36–37.
14. Бушуев С. В., Попов А. Н., Попова М. Л. Оценка экономической эффективности средств контроля свободности участков пути // *Автоматика на транспорте*. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 202–220.
15. Розенберг Е. Н., Абрамов А. А., Батраев В. В. Интервальное регулирование движения поездов // *Железнодорожный транспорт*. – 2017. – № 9. – С. 19–24.
16. Тимухина Е. Н., Кошечев А. А. Использование имитационного моделирования для определения оптимальных параметров и элементов транспортной системы // *Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования : Материалы IX Международной научно-практической конференции*. – 2017. – С. 222–224.
17. Козлов П. А., Тимухина Е. Н., Пермикин В. Ю., Окулов Н. Е. О пропускной способности станционных горловин // *Транспорт Урала*. – 2014. – № 2. – С. 47–49.
18. Колокольников В. С., Ковалёв И. А. Сравнение методов расчёта железнодорожных станций // *Инновационный транспорт*. – 2015. – № 1. – С. 80–82.

Sergey V. Bushuev, Ph. D.
Konstantin V. Gundyrev
Nikolay S. Golochalov

*Department of "Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport",
Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg*

INCREASING THE CAPACITY OF THE RAILWAY SECTION WITH THE USE OF VIRTUAL COUPLING TECHNOLOGY

The purpose of the article is to determine the measures that make it possible to effectively apply the promising virtual coupling technology to solve the problem of increasing the capacity of a railway section. For this purpose, the relevance of the issue of capacity development with the help of organizational and technical measures i.e. improving the systems of collision avoidance of train traffic is considered. The main types of collision avoidance of train traffic systems are presented, the technology of driving a connected train is studied, in which the trains are physically combined, and the movement is synchronized thanks to the intelligent system of automated driving of trains of increased weight and length with locomotives distributed along the length. The advantages and disadvantages of this technology are given. In more detail, we consider the technology of movement in a virtual coupling, in which two trains move at the minimum possible distance from each other due to the exchange of information over the radio channel. The possible ways of organizing a virtual coupling are compared: the use of radio block centers which are a technical means that processes information from locomotives and issues control signals, as well as the use of a "virtual coupling" for the direct exchange of information between locomotives. References to the works of foreign authors on the organization of CBTC (Communication Based Train Control) are given. Technical problems (the lack of a control mode, the need to equip the railway network with radio communication) and technological problems that arise when implementing this technology (the complexity of processing the increased number of trains arriving at the station) are considered. In conclusion, the scheme of effective application of virtual coupling technology for solving the problem of increasing the capacity of railway sections is constructed. It is concluded that the task of increasing throughput requires a comprehensive approach to the solution, taking into account all the technical and technological features of the site.

Capacity; carrying capacity; interval regulation; connected train; virtual coupling; radio channel

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-1-7-20

References

1. Klimova E. E., Pilipushka L. E., Ryabov V. S. (2019) Tekhnologiya «virtual'nogo stsepleniya» poyezdov kak instrument povysheniya propusknoy sposobnosti i propusknoy sposobnosti linii [Technology of «virtual coupling» of trains as a tool for increasing the carrying capacity and capacity of the line]. *Transportnaya infrastruktura sibirskogo regiona. Materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Transport infrastructure of the Siberian region. Materials of the X International Scientific-Practical Conference], pp. 60–64. (In Russian)
2. Rozenberg E. N., Korovin A. S. (2018) Global'nyye trendy razvitiya transportnykh sistem [Global trends in the development of transport systems]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, connection, information technologies], no. 12, pp. 14–19. (In Russian)

3. Baranov L.A. (2015) Ocenka intervala poputnogo sledovaniya meropoezdov dlya sistem bezopasnosti na baze radiokanala [Evaluation of metro train succession time for safety systems based on radio channel]. *Mir transporta* [World of transport and transportation], vol. 13, iss. 2, pp. 6–19. (In Russian)
4. Shamanov V.I. (2018) Sistemy interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov s cifrovymi radiokanalami [Systems interval regulation of traffic trains with digital radio channels]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport], vol. 4, no. 2, pp. 223–239. (In Russian)
5. Pascoe R., Eichorn T. (2009) What is communication-based train control? *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, vol. 4, iss. 4, pp. 16–21.
6. Cheptsov M., Tsykhmistro S., Boinik A., Bakhal I. (2013) Project NEAR – Network of European/Asian Rail Research Capacities (signalling systems). *Collection of scientific works DonIST*, no. 36, pp. 106–119.
7. Farooq H., Soler J. (2017) *Radio communication for Communication-Based Train Control (CBTC): A tutorial and survey*, *IEEE Communications and Surveys & Tutorials*, no. 1, pp. 1–26.
8. Smith P., Majumdar A., Ochieng Y. (2012) An overview of lessons learnt from ERTMS implementation in European railways. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, no. 2, pp. 79–87.
9. Percoco M., Siciliano G., Baccelli O. (2017) An evaluation of the introduction of the Global Navigation Satellite System for regional railways: Case studies from Italy. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, no. 7, pp. 263–276.
10. Mitchell I., Goddard E., Montes F., Stanley P., Muttram R., Coenraad W., Pore J., Andrews S., Lochman L. (2016) ERTMS Level 4, Train Convoys or Virtual Coupling. *Institution of railway signal engineers, IRSE news*, iss. 219, pp. 1–3.
11. Flammini F., Marrone S., Nardone R., Petrillo A., Santini S., Vittorini V. (2018) Towards Railway Virtual Coupling. *International Conference of Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference*, no. 1, pp. 1–6.
12. Goikoetxea J. (2016) *Roadmap Towards the Wireless Virtual Coupling of Trains*. Springer International Publishing Switzerland, pp. 3–9.
13. Tilk I. G., Lyanoy V. V., Gnitko R. V. (2019) Al'ternativy rel'sovym tsepyam. Vozmozhnosti i ogranicheniya [Alternatives of rail circuits. Opportunities and limitations]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, connection, information technologies], no. 2, pp. 36–27. (In Russian)
14. Bushuev S. V., Popov A. N., Popova M. L. (2019) Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti sredstv kontrolya svobodnosti uchastkov puti [Evaluation of the economic efficiency of track occupation monitoring means]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation], vol. 5, no. 2, pp. 202–220. (In Russian)
15. Rozenberg E. N., Abramov A. A., Batraev V. V. (2017) Interval'noe regulirovaniye dvizheniya poyezdov [The interval regulation of movement of trains]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport], no. 9, pp. 19–24. (In Russian)
16. Timukhina E. N., Koscheev A. A. (2017) Ispol'zovaniye imitatsionnogo modelirovaniya dlya opredeleniya optimal'nykh parametrov i elementov transportnoy sistemy [Using simulation to determine the optimal parameters and elements of the transport system]. *Integratsiya obrazovatel'noy, nauchnoy i vospitatel'noy deyatel'nosti v organizatsiyakh obshchego i professional'nogo obrazovaniya. Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Integration of educational, scientific and educational activities in organizations of general and vocational education. Materials of the IX International Scientific-Practical Conference], pp. 222–224. (In Russian)

17. Kozlov P.A., Timukhina E.N., Permikin V.Y., Okulov N.E. (2014) O propusknoy sposobnosti stantsionnykh gorlovin [Station neck capacity]. *Transport of the Ural [Transport Urala]*, no. 2, pp. 47–49. (In Russian)
18. Kolokolnikov V.S., Kovalyov I.A. (2015) Sravnenie sovremennykh metodov rascheta zheleznodorozhnykh stancij [Comparison of modern railway station design methods]. *Innovatsionnyy transport [Innovative transport]*, no. 1, pp. 80–82. (In Russian)

*Статья представлена к публикации членом редколлегии
профессором Л. А. Барановым*

Поступила в редакцию 13.03.2020, принята к публикации 21.09.2020

БУШУЕВ Сергей Валентинович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», проректор по научной работе Уральского государственного университета путей сообщения
e-mail: SBushuev@usurt.ru

ГУНДЫРЕВ Константин Вячеславович — доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», заведующий научно-исследовательской лабораторией «Компьютерные системы автоматизации» Уральского государственного университета путей сообщения
e-mail: KGundyrev@gmail.com

ГОЛОЧАЛОВ Николай Сергеевич — инженер научно-исследовательской лаборатории «Компьютерные системы автоматизации» Уральского государственного университета путей сообщения
e-mail: Nick_Golochalov@mail.ru

© Бушуев С. В., Гундырев К. В., Голочалов Н. С., 2021