

# ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО БУНКЕРА НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОЛИГОНА



В.С. Колокольников



Т.А. Фалалеева

Исследование железнодорожных участков и полигонов на имитационных моделях показало сильную взаимосвязь инфраструктуры станций и участков, пропускной способности и структуры поездопотока. Изменение последней при недостаточно развитой инфраструктуре неизбежно приводит к снижению пропускной способности участка. Приводятся результаты экспериментов, которые демонстрируют это взаимодействие, а также даются рекомендации по его совершенствованию.

**Ключевые слова:** развитие инфраструктуры, полигон, дуплекс с распределенной емкостью, разнородность

EDN: DOKMXQ

**Н**еобходимость рассчитывать железнодорожные узлы и полигоны с применением имитационного моделирования неоднократно затрагивалась в работах [1–4]. В настоящее время действует Методика [5], согласно которой строительство и реконструкция всех крупных транспортных объектов теперь должны выполняться при помощи имитационных моделей.

Исследования [6–8] доказывают, что при определении перерабатывающей и пропускной способности участка нельзя рассматривать в качестве расчетного элемента канал обслуживания, а только его взаимосвязь с бункерами, которые позволяют преобразовывать поездопоток — создавать очередь для канала, преобразуя случайный поток в управляемый. В работе [1] описано структурно-функциональное взаимодействие в сложных потоковых системах и разработана методология по его оптимизации с использованием имитационного моделирования.

Перерабатывающая и пропускная способность технической станции зависит не только от взаимодействия элементов инфраструктуры при заданной технологии, но и от характеристики потока. Особо остро встает вопрос при возрастающих размерах перевозок и переориентации грузопотока.

Работы [9;10] посвящены изучению влияния числа и интенсивности поступающих поездов. Однако важным фактором, который может приводить к снижению пропускной способности участка, является структура поездопотока.

С развитием теоретических основ и технических возможностей во всех отраслях железнодорожного транспорта совершенствуются технологии, так или иначе направленные на повышение провозной и пропускной способностей. Модернизируются тележки, вагоны, локомотивы [11–13]. Постоянно повышаются масса и длина поездов, в связи с этим возни-

---

**Колокольников Виталий Сергеевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Область научных интересов: имитационное моделирование и оптимизация железнодорожных станций, узлов и полигонов. Автор 65 научных работ.

**Фалалеева Татьяна Андреевна**, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Область научных интересов: имитационное моделирование и оптимизация железнодорожных станций, узлов и полигонов. Автор четырех научных работ.

кает их дифференциация по этим признакам. Важным вопросом становится организация процесса перевозок. Ряд работ посвящен разработке нормативных графиков с вводом «жестких договорных» ниток [14;15]. Развитие мощностей ЭВМ позволяет внедрять все больше и больше программного обеспечения, помогающего планировать работу, распределять ресурсы и помогать оператору принимать решения [16–18]. Вследствие этого классификация поездов расширяется, меняется приоритетность.

Зачастую разные категории поездов имеют неодинаковые технологию и время обслуживания, а иногда требуют наличия специализированной инфраструктуры. Поэтому не всегда техническая станция готова принять любой поезд в момент его поступления. Тогда ей в помощь могут служить станции участка, на которых возможно ожидание обслуживания таких поездов. Такой пример по возникновению дуплекса с распределенной емкостью описан в работе [1].

Структура поездопотока может быть представлена поездами одной категории (однородный поток) или несколькими с отличающейся приоритетностью пропуска поездов по участку и обработки на станциях (разнородный поток). Определяя перерабатывающую способность станции важно учитывать характеристику поездопотока. При изменении структуры поездопотока сохранение пропускных способностей возможно только при наличии соответствующей инфраструктуры. Широкое разнообразие структуры потока на сети может оказывать ограничения на пропускную способность как отдельных перегонов, раздельных пунктов, так и участков и полигонов в целом.

С использованием имитационной модели рассмотрим влияние изменения структуры поездопотока на показатели полигона и роль станций участка в поддержании пропускной способности. В качестве инструмента используется система макромоделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА [19].

В модели заданы все станции полигона, их вместимость, количество каналов в горловинах. Созданы технологические цепочки выполнения операций для каждой категории поездов. При расчетах учитываются ограничения по количеству поездных локомотивов и бригад ПТО. Модель имеет 16 станций, из которых станции Е, Ж и З являются участковыми

(рис. 1). По данному двухпутному участку организован пропуск разнородного потока (струи поездов различной категории и с разной приоритетностью). Инфраструктура промежуточных станций (обгонных пунктов) плохо развита: чаще всего представлена 1–2 путями по 800–1000 метров для четного и нечетного направлений. Из-за сложности производства обгона по причине недостатка полезной длины путей и большой длины перегонов поезда движутся с одинаковой скоростью параллельным графиком.

В эксперименте 1 организован пропуск двух струй потока – пассажирских и грузовых поездов унифицированной длины.

При анализе сводных отчетов и графика исполненного движения видно, что транспортная система справляется с заданными размерами движения. На участках поддерживается высокая участковая скорость. Для пропуска приоритетной категории пассажирских поездов грузовые останавливаются на раздельных пунктах участков (рис. 2).

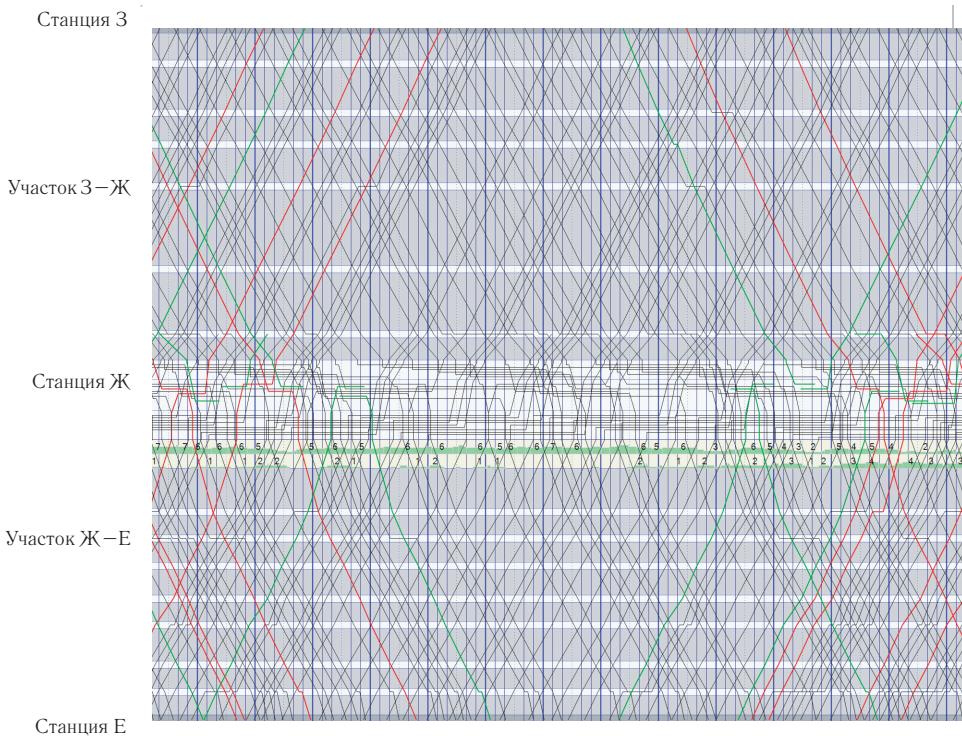
Поезда принято классифицировать согласно Распоряжению [20], но при этом общая практика показывает, что структура потока в последнее время активно преобразовывается, появляется больше категорий поездов, отличающихся по длине, массе, приоритетности. Инфраструктура станций и участков для пропуска и обработки таких поездов чаще всего не готова. Выделенной категорией поездов могут стать контейнерные поезда, тяжеловесные. Для примера в эксперименте 2 рассмотрим замену шести пар унифицированных поездов на длинносоставные, остановка которых возможна только на путях с увеличенной вместимостью. В ином случае поезда принимаются на станции с занятием горловины, что приводит к прекращению движения следом идущих поездов.

Удлиненные пути имеются на границах рассматриваемого полигона – станциях Е, З и по одному для четного и нечетного направления на станции Ж.

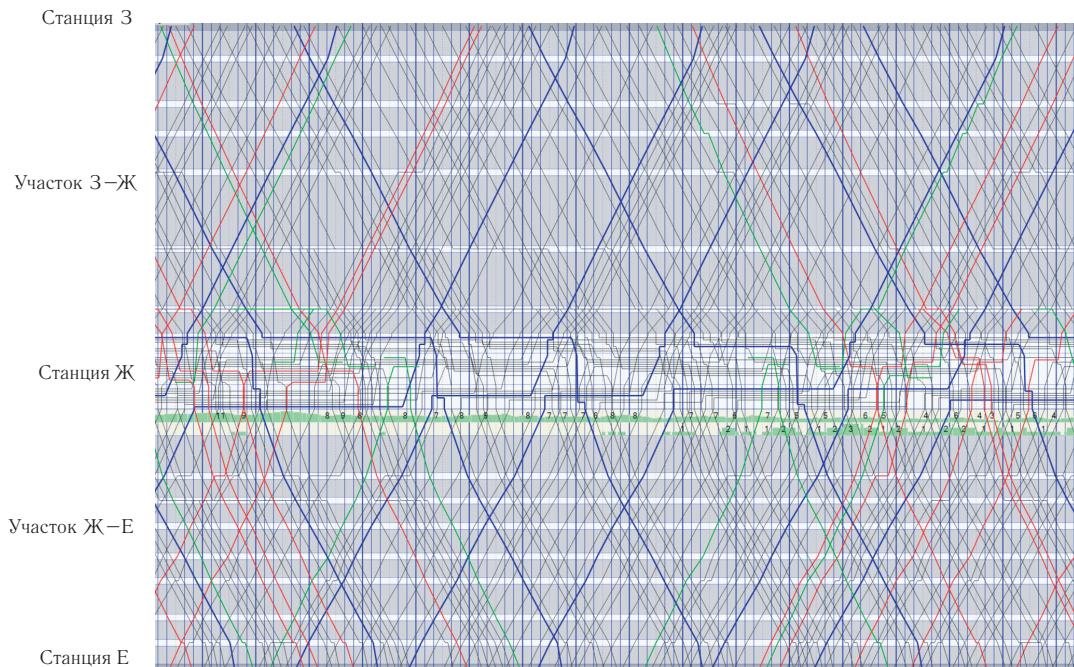
В таком случае, для исключения прекращения движения на участках Е–Ж и Ж–З, которое произойдет при остановке длинносоставного поезда на раздельных пунктах участка, требуется отправлять поезда выделенной категории со станций Е и З только при наличии свободного пути на станции Ж к моменту прибытия такого поезда (рис. 3).



Рис. 1. Исходная схема полигона для экспериментов 1 и 2



*Рис. 2. Фрагмент графика исполненного движения для полигона в эксперименте 1 при пропуске двух категорий поездов: нитки поездов : черная линия – унифицированные; красная – пассажирские; зеленая – пригородные*



*Рис. 3. Фрагмент графика исполненного движения для полигона в эксперименте 2 при пропуске трех категорий поездов: синяя линия – выделенная категория поездов, требующая специфической инфраструктуры или технических устройств, размер которых на участке ограничен*

В реальности организация движения по равномерному подводу поездов невозможна. Во-первых, фактическое время занятия станционного пути поездом не совпадает с технологическим [21]. Во-вторых, за пределами границы или на станциях Е и З отсутствует необходимое количество удлиненных путей для создания очереди из выделенной категории поездов. Помимо этого, длинносоставный поезд должен проходить участки Е–Ж и Ж–З транзитом, а последующий появляться только при наличии свободного удлиненного пути на станции Ж с учетом времени хода (см. рис. 3). Из-за больших расстояний между станциями, имеющими необходимое путевое развитие, трудно спланировать точное время отправления поезда на участок. В результате несоответствия плана и факта снижается полезное использование инфраструктуры технической станции и ее перерабатывающая способность, что в свою очередь снижает пропускную способность участка [22], в ином случае требуется создавать завышенные резервы.

Поскольку качество планирования повышается при уменьшении периода планирования, рассмотрим эксперименты 3–5 по созданию распределенного бункера в непосредственной близости к технической станции Ж.

Для повышения числа поступающих четных поездов выделенной категории в эксперименте 3 один из имеющихся путей на ближайшем раздельном пункте к станции Ж участка Е–Ж увеличим для возможности принятия на него удлиненного поезда. Однако путевое развитие станции «а» (рис. 4), при размещении на ней четного длинносоставного поезда, позволяет произвести обгон только с использованием нечетного главного пути. Теперь нечетный поездопоток вынужден останавливаться для пропуска четных поездов по станции «а», снижаются участковые скорости и пропускная способность участков. В связи с чем ухудшаются качественные показатели полигона.

Поскольку емкости распределенного бункера станции «а» недостаточно для пропуска заданного поездопотока, в эксперименте 4 расширим его вместимость за счет удлинения одного пути станции «б».

За счет развития инфраструктуры промежуточных станций удается повысить интенсивность поступления на участок выделенной категории поездов. Теперь такие поезда имеют возможность останавливаться на участке. Бункер по прибытию [23] переносится с технической станции Ж на станции «а» и «б» участка Е–Ж (рис. 5). Теперь планирование подвода разных категорий поездов к технической станции становится точнее.

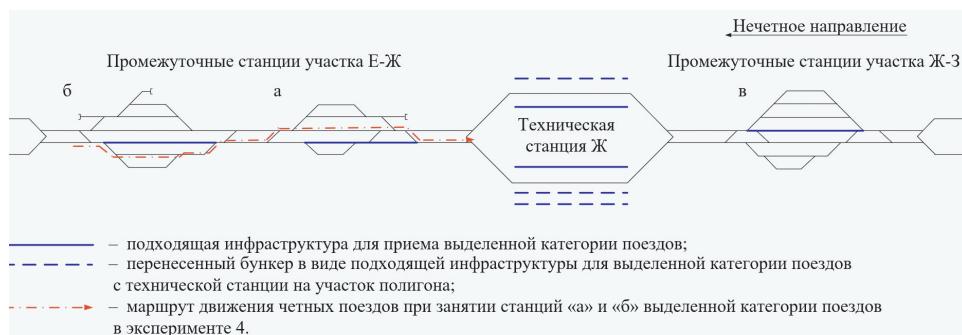


Рис. 4. Схема полигона для экспериментов 3–5 с созданием дуплекса с распределенной емкостью

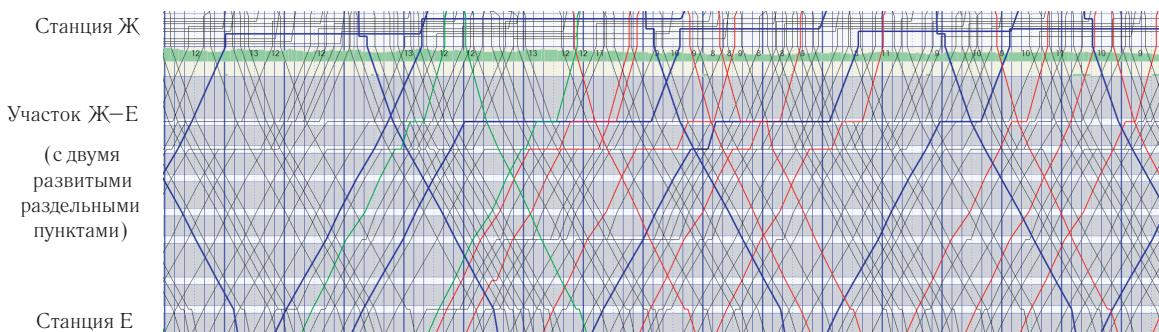


Рис. 5. Фрагмент графика исполненного движения для полигона в эксперименте 4 при пропуске трех категорий поездов при наличии дуплекса с распределенной емкостью для нечетных поездов

Аналогичное развитие инфраструктуры для нечетного потока выполнено в эксперименте 5, в котором создан бункер на станции «в» участка Ж–З (см. рис. 4). Теперь участковые скорости грузовых поездов обоих направлений выровнялись, но достичь пропуска заданного числа поездов по полигону все еще не удается.

В эксперименте 6 рассмотрим развитие соответствующей инфраструктуры для выделенной категории поездов непосредственно на технической станции, путем удлинения по одному существующему пути для четного и нечетного поездов. Для сохранения возможности неравномерного поступления поездов, требующих специальной инфраструктуры, на участках полигона сохраним созданные дуплексы с распределенной емкостью (см. рис. 4). Это позволит качественное использовать инфраструктуру технической станции Ж, повышая полезную загрузку удлиненных путей.

В работе [22] при рассмотрении подробной модели по результатам экспериментов доказано, что с ростом числа удлиненных путей удается увеличить пропуск не только длинносоставных поездов, но и поездов других категорий.

Для наглядности полученных результатов построим график изменения пропускной способности полигона и скоростей выделенных категорий грузовых поездов (рис. 6) в каждом эксперименте.

Однако некорректно оценивать только скорость, ведь она не отражает задержки, возникающие на гра-

ницах рассматриваемого полигона и на технической станции Ж. На рис. 7 изображен график изменения пропускной способности полигона и задержек поездов в каждом эксперименте. Наблюдается обратная зависимость задержек и участковой скорости. Но, что более важно, изменение уровня задержек происходит в более широком диапазоне, что и является непосредственной причиной снижения пропускной способности. Если участковая скорость меняется в пределах 25%, то задержки – в 5–6 раз.

В эксперименте 6 удалось улучшить качественные показатели участка, он стал более устойчивым к разнородности потока. При создании соответствующей инфраструктуры для изменившегося поездопотока, получилось вернуть заданную пропускную способность полигона, вернувшись к прежним показателям участковые скорости грузовых поездов, удалось снизить продолжительность задержек каждой категории поездов. С изменением структуры поездопотока для сохранения пропускной способности полигона требуется создавать распределенный бункер на участке и технической станции.

Изменение разнородности потока при неизменной инфраструктуре влияет на пропускную и перерабатывающую способность станции и полигона. При невозможности технической станцией принимать в заданном ритме поезда различных категорий, ожидание приема может выполняться на станции участка – бункер по прибытию переносится с технической

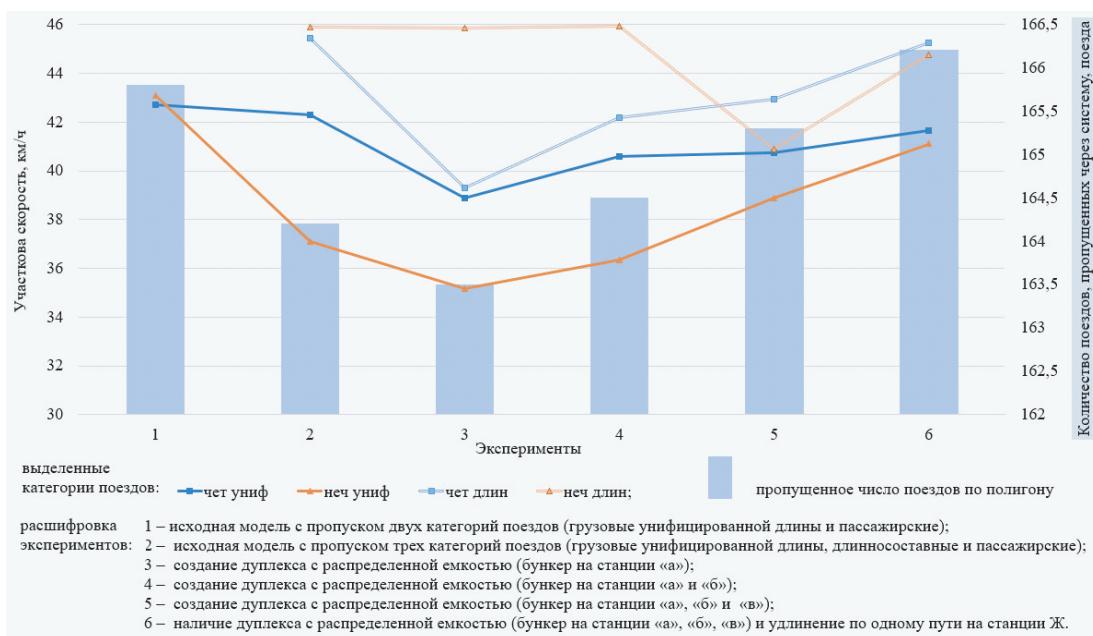


Рис. 6. Изменение участковой скорости выделенных категорий поездов

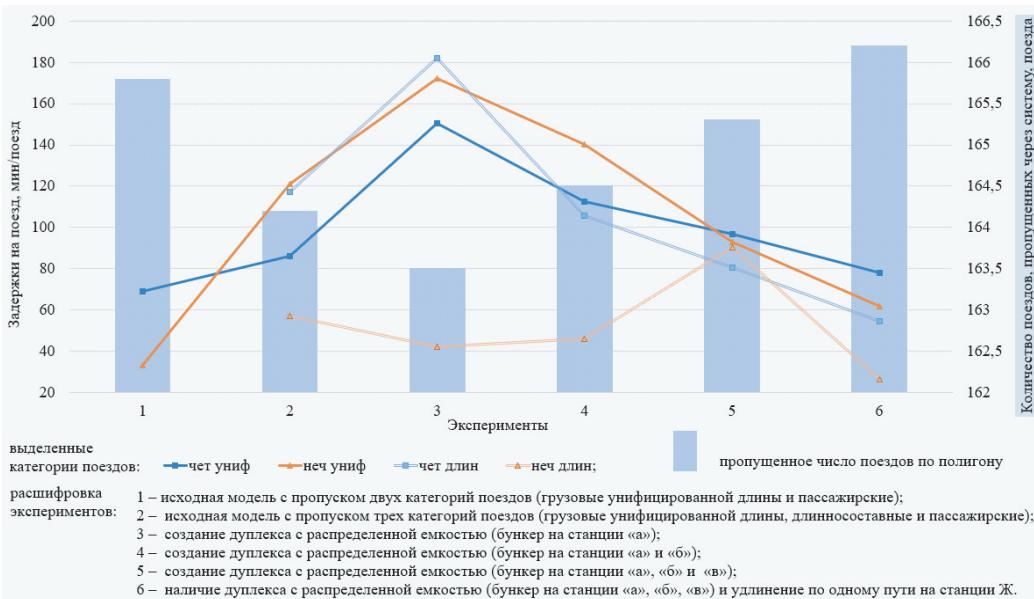


Рис. 7. Изменение задержек на поезд отдельно для выделенных категорий поездов

станции на участок, за счет чего пропускная способность комплекса повышается. Изучение зависимостей на имитационной модели дает понимание, в какой последовательности требуется развивать инфраструктуру полигона. Для достижения наибольшей пропускной и перерабатывающей способности уровень разнородности потока на полигоне должен соответствовать уровню развитости инфраструктуры.

## Литература

1. Колокольников, В. С. Структурно-функциональная оптимизация полигонов на сети железных дорог : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колокольников Виталий Сергеевич ; место защиты: ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения». - Екатеринбург, 2020. - 302 с. : ил. - Текст : непосредственный. - EDN KJWYC.
2. Сайбаталов, Р. Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сайбаталов Рашид Фердаусович ; место защиты : ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения». - Екатеринбург, 2020. - 231 с. : ил. - Текст : непосредственный. - EDN QHULCB.
3. О технологии расчета систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. П. Козлова, О. В. Осокин, Н. А. Тушин. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2022. - № 3(74). - С. 3-9. - DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-3-9. - EDN QBMFGG.
4. Козлов, П. А. Моделирование международных транспортных коридоров / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2023. - № 1-2(104-105). - С. 32-37. - EDN IOUOIW.
5. Методика проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 9 января 2018 г. № 2/р. - Текст : непосредственный.

6. Козлов, П. А. О теоретических основах транспортной технологии / П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. В. Якушев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 2(81). - С. 3-10. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-3-10. - EDN ZSJTNT.
7. Слободянюк, И. Г. Технология макромоделирования железнодорожных станций и узлов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Слободянюк Инна Геннадьевна ; место защиты: ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения. - Екатеринбург, 2018. - 184 с. : ил. - Текст : непосредственный. - EDN QJCIVL.
8. Козлов, П. А. О согласованном структурно-функциональном построении железнодорожных станций / П. А. Козлов, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2017. - № 3. - С. 106-110. - EDN ZTUGLD.
9. Карасев, С. В. Оценка задержек поездов на железнодорожной сети методом моделирования в условиях случайного образования заявок на перевозку / С. В. Карасев, М. Е. Корягин. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2018. - № 2(45). - С. 43-51. - EDN UZCUBQ.
10. Осьминин, А. Т. О научно-практических проблемах повышения пропускных и провозных способностей линий / А. Т. Осьминин. - Текст : непосредственный // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. - 2018. - № 1. - С. 37-48. - EDN YSLALS.
11. Галиев, И. И. Повышение массы соединенных грузовых поездов и эффективность использования локомотивов / И. И. Галиев, Д. Ю. Лукс // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы пятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвящённой 75-летию победы в Великой Отечественной войне, 85-летию кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», 120-летию основания Омского государственного университета путей сообщения, Омск, 12 ноября 2020 года. - Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2020. - С. 117-124. - EDN OSEEGG.
12. Бушуев, С. В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог / С. В. Бушуев. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2022. - Т. 8, № 4. - С. 343-353. - DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353. - EDN FICKYY.
13. Ероян, А. Г. Современный подвижной состав железнодорожного транспорта. Основные тенденции в транспортном машиностроении / А. Г. Ероян. - Текст : непосредственный // Экономика и управление: проблемы, решения. - 2020. - Т. 2, № 3(99). - С. 47-52. - DOI 10.34684/ek.up.r.g.2020.03.02.008. - EDN XPFONC.
14. Воробьев, И. М. Конструктор формирования услуг доставки грузов железнодорожным транспортом на сети ОАО «РЖД» / И. М. Воробьев, А. В. Новичихин, К. Е. Ковалев. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2022. - Т. 8, № 4. - С. 367-376. - DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-367-376. - EDN SRICKB.
15. Маловецкая, Е. В. Моделирование процесса поездообразования при переходе на твердые нитки графика / Е. В. Маловецкая. - Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. - 2018. - Т. 1. - С. 165-171. - EDN XSHXVB.
16. Цифровая прогнозная макромодель движения поездопотоков ЭЛЬБРУС-М / В. Ю. Кирикин, А. Г. Сахаров, С. А. Виноградов [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 4. - С. 4-11. - EDN IXTWHV.
17. Шипулин, А. В. Автоматизированное построение прогнозируемого графика движения поездов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шипулин Александр Валерьевич ; место защиты: ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения». - Екатеринбург, 2014. - 156 с. : ил. - EDN FJIEXZ.
18. О возможности применения в управлении железнодорожными транспортными системами и перевозочным процессом искусственного интеллекта / А. Т. Осьминин, А. Н. Баушев, И. И. Осьминина, А. А. Шатохин. - Текст : непосредственный // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : сборник трудов научно-практической конференции с международным участием (20-21 октября 2021 г., Москва) ; под общ. ред. Г. М. Биленко, И. М. Басырова ; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта, Рос. открытая акад. транспорта. - Москва : РУТ (МИИТ): POAT, 2022. - С. 332-343. - EDN VUOKMS.

19. Осокин, О. В. Расчёт и оптимизация полигонов с использованием имитационного моделирования / О. В. Осокин, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы : материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 315-327. - DOI 10.30932/9785002446094-2024-315-327. - EDN JERAFFE.
20. Распоряжение ОАО «РЖД» от 05.04.2014 № 859р (ред. от 13.10.2020) «О нумерации поездов для графика движения». - Текст : непосредственный.
21. Фалалеева, Т. А. Аспекты взаимодействия станции и прилегающих участков при определении пропускной способности / Т. А. Фалалеева, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Инновационный транспорт. - 2022. - № 4(46). - С. 72-76. - DOI 10.20291/2311-164X-2022-4-72-76. - EDN WEUWUM.
22. Колокольников, В. С. Влияние структуры поездопотока на пропускную способность станции и перегонов / В. С. Колокольников, Т. А. Фалалеева. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2024. - № 1(93). - С. 79-89. - DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_4\_79. - EDN GCYSTB.
23. Колокольников, В. С. Ограничение входного потока на станции в зависимости от загрузки каналов и бункеров / В. С. Колокольников, Т. А. Фалалеева. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 3(82). - С. 42-48. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-3-42-48. - EDN SHVESP.