

На правах рукописи



Серёгин Игорь Витальевич

**ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ И
НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ДЛИННОСОСТАВНЫХ ПОЕЗДОВ И
ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ**

2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Самара – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта»

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Максимова Евгения Сергеевна

Официальные оппоненты:

Бушуев Сергей Валентинович, доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС);

Мехедов Михаил Иванович, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора акционерного общества Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»).

Ведущая организация акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»).

Защита состоится «19» мая 2026 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 44.2.006.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения» по адресу: 443066, г. Самара, ул. Свободы, 2 В, ауд. 5216.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат <https://www.samgups.ru>.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Исайчева Алевтина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. Модернизация железнодорожной инфраструктуры, привлечение дополнительных инвестиций, увеличение пропускной и провозной способности и, как следствие, создание параметров для развития тяжеловесного, длинносоставного движения и многие другие приоритетные задачи изложены в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. При пропуске длинносоставных поездов необходимо учитывать поездное положение участка, работу станций и железнодорожных узлов, имеющих инфраструктурные ограничения. Работа железнодорожного узла зависит от равномерного подвода поездов, наличия потребного парка локомотивов, наряд-заказа локомотивных бригад и работы сортировочной системы станций и других факторов. Необходимо также учитывать наличие инфраструктурных ограничений на всём пути следования и возможность приёма соседнего железнодорожного узла.

Формирование длинносоставных и тяжеловесных поездов позволяет повысить провозную способность линии и участков железнодорожной сети. Но при этом существует ряд ограничений, связанных с необходимостью удлинения путей на станциях, увеличением времени на накопление составов, отправлением на нормативные нитки графика ввиду особых условий пропуска грузовых поездов.

Необходимо разработать технологию беспрепятственного, безостановочного и эффективного пропуска длинносоставных поездов на участке между двумя железнодорожными узлами, имеющими инфраструктурные ограничения, для существенного сокращения потерь поездо-часов на промежуточных станциях, вызванных стоянками длинносоставных грузовых поездов вследствие неприёма железнодорожным узлом.

Степень разработанности темы исследования. В основу данного диссертационного исследования положены научные и практические работы учёных в области эксплуатации железнодорожного транспорта, а именно:

– в области совершенствования работы станций и узлов: П. В. Бартенева, С. В. Земблинова, С. Д. Карейша, Б. С. Козина, И. Т. Козлова, М. И. Мехедова, В. Д. Никитина, В. Н. Образцова, А. Т. Осьминина, В. А. Персианова, К. Ю. Скалова, Ф. И. Шаульского и других учёных;

– в области имитационного моделирования работы железнодорожного транспорта и транспортных процессов: В. М. Акулиничева, А. Э. Александрова, А. П. Батурина, А. Ф. Бородина, С. В. Бушуева, А. В. Горелика, Ю. И. Ефименко, П. А. Козлова, В. С. Колокольникова, В. А. Кудрявцева, Е. Лещинского, Е. С. Максимовой, О. В. Москвичева, О. В. Осокина, Ю. О. Пазойского, В. Ю. Пермикина, В. А. Персианова, К. Ю. Скалова, И. Б. Сотникова, Е. А. Сотникова, К. К. Таля, Е. Н. Тимухиной, М. В. Четчуева, Н. Н. Шабалина, Р. Шеннона и других учёных;

– в области использования современных технологий автоматизации: В. И. Апатцева, С. П. Вакуленко, Д. В. Железнова, П. А. Козлова, Э. К. Лецкого, А. А. Смехова, О. В. Осокина, Е. А. Сотникова, Л. П. Тулупова, И. Н. Шапкина, М. И. Шмулевича и других учёных.

Необходимо дальнейшее исследование по определению рационального варианта пропуска длинносоставных поездов для сокращения потерь поездо-часов в оперативных условиях, включая изучение статистики неприёма длинносоставных поездов железнодорожным узлом, имеющим инфраструктурные ограничения, технико-экономическое сравнение пропуска длинносоставных поездов при разной интенсивности поездопотока в части расходов, зависящих от перевозок.

Целью диссертационного исследования является разработка научно-методических положений по взаимодействию железнодорожных узлов и направлений в оперативных условиях при организации пропуска длинносоставных грузовых поездов с учетом инфраструктурных ограничений.

Задачами данного диссертационного исследования являются:

- выявление факторов, оказывающих существенное влияние на возникновение потерь поездо-часов при следовании длинносоставных поездов по участкам;

- анализ поездопотока между двумя железнодорожными узлами для определения беспрепятственного приёма поездов железнодорожным узлом, имеющим инфраструктурные ограничения;

- определение взаимосвязи потерь поездо-часов от доли длинносоставных поездов в общем числе грузовых поездов;

- разработка имитационной модели взаимодействия железнодорожных узлов и направления, постановка серии имитационных экспериментов с анализом возможных вариантов организации поступающего поездопотока и дефицита поездных локомотивов;

- технико-экономическая оценка результатов модельных расчетов с количественным обоснованием рациональных вариантов оперативной организации формирования и пропуска длинносоставных поездов при наличии инфраструктурных ограничений;

- разработка рекомендаций по практическому применению результатов исследования на полигонах взаимодействия железнодорожных узлов и направлений железных дорог.

Объектом исследования являются железнодорожные участки и направления, где осуществляется и планируется развитие движения длинносоставных грузовых поездов через железнодорожные узлы, имеющие инфраструктурные ограничения.

Предметом исследования являются методы беспрепятственного приёма, отправления и пропуска длинносоставных грузовых поездов через железнодорожные узлы, имеющие инфраструктурные ограничения.

Научная новизна полученных автором диссертации результатов состоит в следующем:

- разработан порядок распределения работы по регулированию движения между станциями взаимодействующих узлов при движении длинносоставных поездов и инфраструктурных ограничениях с рациональным упорядочением транспортных потоков по подводу в узлы и по отправлению из узлов на основе имитационного моделирования;

– разработаны алгоритмы для информационно-аналитической поддержки принятия оперативных решений при назначении длинносоставных и тяжеловесных поездов, при планировании работы железнодорожных узлов и при расчете корректирующих воздействий на вагоны, имеющие потенциальные риски нарушения сроков доставки;

– разработаны методические подходы по обоснованию выбора рациональных параметров организации взаимодействия железнодорожных узлов и направлений, по формированию и пропуску длинносоставных поездов в условиях неоднородной вместимости и специализации приёмо-отправочных путей станций и неоднородных транспортных потоках.

Теоретическая и практическая значимость работы. Научные выводы и методические решения, представленные в диссертации, обеспечивают теоретическую основу для эффективной организации оперативного взаимодействия узлов и направлений железных дорог при формировании и пропуске длинносоставных поездов в условиях инфраструктурных ограничений.

Практическое применение результатов работы обуславливается возможностью внедрения информационно – аналитической программы для поддержки принятия решений в диспетчерских центрах управления перевозками, что позволит снизить количество ошибок в планировании поездной работы, уменьшить затраты ресурсов, а также организовать работу железнодорожных узлов, имеющих инфраструктурные ограничения, и внедрением разработанных методик в учебный процесс ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), что подтверждается актами, приведенными в Приложении к диссертации.

Методология и методы исследования. В соответствии с паспортом научной специальности 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки):

1. Планирование, организация и управление транспортными потоками;
2. Технология транспортных процессов, моделирование и совершенствование транспортных технологических процессов;
3. Развитие транспортной сети. Совершенствование схем и организации работы транспортной инфраструктуры,

в ходе выполнения диссертационных исследований автором использованы основные положения теории графика движения поездов и пропускной способности железных дорог; теории взаимодействия станционных процессов между собой и с графиком движения поездов; теории вероятностей и математической статистики; методы имитационного моделирования работы станций и участков железных дорог; методы технико-экономического сопоставления вариантов оперативных решений по организации и пропуску длинносоставных грузовых поездов с учетом инфраструктурных ограничений.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

положения для построения имитационной модели взаимодействия узлов, направления железной дороги и результаты имитационных экспериментов для поиска рациональных параметров регулирования отправления и подвода поездов с учетом неоднородности путевого развития и транспортных потоков, а также наличия поездных локомотивов в железнодорожном узле;

технико-экономическая эффективность пропуска длинносоставных грузовых поездов при наличии инфраструктурных ограничений в оперативных условиях с учетом сопоставления изменения размеров грузового движения и потерь поездо-часов в узлах и на участках, а также вариантов путей следования вагонопотоков между рассматриваемыми узлами;

алгоритм оперативной аналитики для поддержки принятия решений в оперативных условиях при планировании работы взаимодействующих железнодорожных узлов, имеющих инфраструктурные ограничения, обеспечивающий контроль соблюдения межпоездного интервала, оценку занятости приёмо-отправочных путей в железнодорожном узле и на основе этих данных – рекомендуемый порядок отправления длинносоставных грузовых поездов;

методические положения поэтапного развития длинносоставного движения, основанные на взаимодействии нескольких железнодорожных узлов, типизации станций и инфраструктурных ограничениях.

Степень достоверности. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов подтверждается применением методов теории вероятностей, математической статистики для обработки полученных данных; построением имитационной модели определения работы узлов, имеющих инфраструктурные ограничения, методов технико-экономического сравнения вариантов моделирования работы узлов и участков; использованием статистических данных, необходимых для анализа работы железнодорожных узлов, из информационных систем ОАО «РЖД». Используются сравнения авторских данных с данными, полученными ранее в работах, посвящённых взаимодействию железнодорожных узлов и направлений железных дорог. Обоснованность выводов подтверждается логичной и последовательной структурой исследования с учетом ранее исследованных факторов и результатов предшествующих работ.

Сформулированные в диссертации выводы учитывают практический опыт эксплуатации отечественных железных дорог, а также существующие особенности эксплуатации железнодорожных линий и железнодорожных узлов.

Результаты диссертационного исследования реализованы в Методике определения порядка формирования корректирующих воздействий на вагоны/поезда/отправки на станции и в пути следования, имеющие потенциальные риски нарушения сроков доставки (утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2140/р от 23.08.2023 г.).

Апробация результатов. Результаты диссертации доложены и одобрены:

– на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ));

– XIX Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», Россия, Москва, 8 – 9 ноября 2018 г.;

– Всероссийской научно-практической конференции «Неделя науки – 2018», Москва, РУТ (МИИТ), 2 – 6 апреля 2018 г.;

– Всероссийской научно-практической конференции «Неделя науки – 2019», Москва, РУТ (МИИТ), 25 – 29 марта 2019 г.;

– XLIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева, Алматы, 17 апреля 2019 г.;

– Международной научно-практической конференции «Федор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 22 – 23 апреля 2021 г.;

– Международной научно-практической конференции «Кочневские чтения-2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 19 – 20 апреля 2023 г.;

– VIII международно-практической конференции «Транспорт и логистика: технологии устойчивого развития», РГУПС, 1 – 2 февраля 2024 г.;

– Международной научно-практической конференции «Кочневские чтения-2025: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 23 – 24 апреля 2025 г.

Публикации: Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 11 печатных работах, в том числе: 5 статей опубликованы в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Материалы диссертационной работы изложены на 234 страницах, включая 170 страниц основного текста, содержащего 82 рисунка и 36 таблиц. Список литературы состоит из 143 наименований.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследования, степень её разработанности, указаны цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

Анализ предыдущих исследований выявил необходимость определения возможности приёма отечественной железнодорожной инфраструктурой длинносоставных грузовых поездов и исследования зависимости потерь поездо-часов стоянок грузовых поездов на промежуточных станциях от количества длинносоставных грузовых поездов, отправляемых в железнодорожный узел, имеющий инфраструктурные ограничения.

В первой главе выполнен анализ железнодорожной инфраструктуры для приёма и отправления длинносоставных грузовых поездов с сортировочных станций Московской железной дороги за три календарных года – с 1 ноября 2021 г. по 1 ноября 2024 г., анализ данных о принятых и отправленных поездах на указанные сортировочные станции за выбранный период анализа (таблица 1).

Объектами для исследования выбраны крупнейшие сортировочные и участковые станции – Б.-С., О.-З., Б.-Л., Р., Л.-С. и П.

В диссертационном исследовании были выбраны данные сортировочные станции, так как на них формируются длинносоставные грузовые поезда и концентрируются крупнейшие транзитные вагонопотоки. Так, на примере станции Б.-С., в анализе данных о следовании длинносоставных грузовых поездов учитываются транзитные контейнерные поезда, имеющие длину до 140 усл. вагонов и следующие в назначение станции Орша-Центральная, Колядичи и Жодино (Белорусская ж.д.), а также транзитный вагонопоток назначением на ст. Гомель, Кричев I (Белорусская ж.д.), Калининградскую, Латвийскую, Литовскую и Эстонскую железные дороги.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов анализа данных о принятых и отправленных поездах на указанные сортировочные станции за выбранный период анализа

Наименование станции	Количество принятых поездов	Количество отправленных поездов	Количество принятых длинносоставных поездов и процент от общего количества поездов		Количество отправленных длинносоставных поездов и процент от общего количества поездов	
			Количество поездов	Процент	Количество поездов	Процент
Б.-С.	140469	71897	24237	17,2%	27109	37,7%
О.-З.	155217	65951	21824	14,1%	13739	20,8%
Р.	116986	30495	18542	15,9%	2768	9,1%
Б.-Л.	49340	38194	4945	10,0%	5614	14,7%
Л.-С.	23497	20898	2998	12,8%	3078	14,7%
П.	17211	13541	135	0,8%	606	4,5%

На основании анализа данных необходимо сделать вывод, что процент длинносоставных поездов, принимаемых на рассматриваемые станции, находится в диапазоне от 10% до 20%. По ст. Б.-С. и О.-З. количество отправляемых длинносоставных поездов превышает 20%. Одним из факторов, который оказывает влияние на данный показатель, является необходимость снижения рабочего парка станции и дефицит поездных локомотивов. Наибольшую долю путей вместимостью более 85 усл. вагонов имеет ст. Б.-С. – 26,2%, а наименьшую – ст. Л.-С. – 4,7%. Также выполнено сравнение количества принимаемых поездов длиной более 85 условных вагонов и доли путей для приёма поездов данной категории от общего количества путей по каждой из рассматриваемых сортировочных станций. По крупным сортировочным станциям, таким как Б.-С., О.-З. и Р. доля принимаемых поездов длиной более 85 усл. вагонов меньше доли путей для приёма поездов данной категории. Это позволяет осуществить беспрепятственный приём таких поездов на станцию. Но по станции Б.-Л. данный показатель приёма поездов составляет 10% от общего числа поездов, что меньше доли путей для приёма поездов длиной более 85 усл. вагонов (7,6%). В таком случае осложнён приём поездов и при нарушении межпоездного интервала возможны значительные затруднения для беспрепятственного приёма грузовых поездов.

Во второй главе предложена типизация станций в зависимости от секционирования приёмо-отправочных путей, разработана методика исследования

вероятностных характеристик отправляемых и принимаемых поездопотоков в узлах и задержек поездопотоков на участках. Она рассмотрена на примере направления Б.-С. – С., где в полной мере определены причины невыполнения нормативного графика следования длинносоставных грузовых поездов на выбранном участке.

Определены два основных типа станций, приведенные на рисунках 1 и 2. Выполнен анализ отечественной железнодорожной инфраструктуры в соответствии с рассматриваемыми типами станций, позволяющие осуществить приём и объединение грузовых поездов.



Рисунок 1 – Фрагмент схематического изображения станций, относящихся к I типу

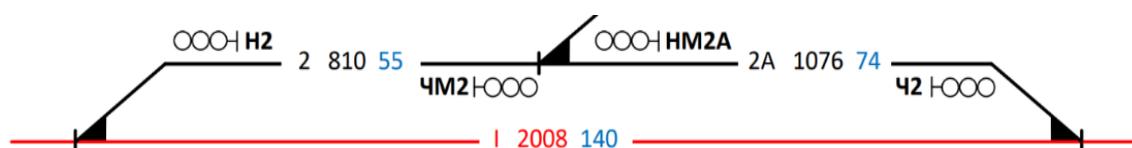


Рисунок 2 – Фрагмент схематического изображения станции, относящейся ко II типу

К первому типу относятся станции, имеющие приёмно-отправочные пути, где отсутствует примыкание других путей, либо секционируемые на две части стрелочным переводом, ограниченным маневровыми светофорами, и не имеющие маршрутных светофоров.

Ко второму типу относятся приёмно-отправочные пути, секционируемые на две части стрелочным переводом, ограниченным маршрутными светофорами, позволяющие принимать поезда до их запрещающего показания. При наличии второго типа станций на участке поездной диспетчер дает указание дежурному по станции, станционному или маневровому диспетчеру на объединение двух составов на одном приёмно-отправочном пути, либо перестановку второй части состава с другого пути.

Выполнен анализ данных по отправлению и прибытию длинносоставных грузовых поездов в назначении узла С. и Б.-С. Основные результаты анализа представлены в таблице 2. На основании этого определены варианты отправления и пропуска длинносоставных поездов по участку в случае неприёма соседним железнодорожным узлом, имеющим инфраструктурные ограничения. Определено количество длинносоставных поездов, следующих по участку между станциями Б.-С. – С. по месяцам за 2023 г.

По итогам анализа определено, что месяцами максимальных и минимальных размеров движения грузовых поездов длиной более 85 усл. вагонов являются ноябрь и июнь соответственно. Также выполнен анализ потерь поездо-часов длинносоставными грузовыми поездами из-за стоянок на промежуточных станциях по месяцам: за июнь – 61,55 поездо-часов и за ноябрь – 220 поездо-часов.

Таблица 2 – Статистика по отправлению длинносоставных поездов со ст. Б.-С. в назначении узла С. за 2023 г.

Разряды межпоездных интервалов	Число интервалов, приходящихся на данный разряд	Среднее значение интервала в разряде I_t , мин.	Доля интервалов от общего числа P	$I_t \cdot P$	$(I_t - I_{cp})^2 \cdot P$
0-120 (0-2 час.)	373	60	0,214	12,84	13739,4301
121-300 (2-5 час.)	637	210,5	0,365	76,8325	3863,4927
301-600 (5-10 час.)	574	450,5	0,330	148,665	6204,3536
601-900 (10-15 час.)	132	750,5	0,076	57,038	14521,4166
901-1200 (15-20 час.)	21	1050,5	0,012	12,606	6520,0976
1201-2400 (20-40 час.)	5	1800,5	0,003	5,4015	6634,5509
	1742		1,0	$I_{cp}=313,383$	51483,3415

Далее на основании таблицы 2 рассчитаны показатели по отправлению длинносоставных грузовых поездов из узла Б.-С. в назначении узла С. за 2023 г. по формулам 1–3:

– среднее значение интервала отправления:

$$I_{cp} = \sum_{i=1}^n I_i \cdot P_i \quad (1)$$

$$I_{cp} = 313,383 \text{ мин.},$$

– дисперсия:

$$D[I] = \sum_{i=1}^n (I_i - I_{cp})^2 \cdot P \quad (2)$$

$$D[I] = 51483,3415,$$

– максимальное отклонение интервалов:

$$I_{cp} + 3 \cdot \sigma[I] \quad (3)$$

$$I_{cp} + 3 \cdot \sigma[I] = 994,083 \text{ мин.}$$

Также анализом данных по прибытию длинносоставных грузовых поездов в узел С. определено, что среднее значение интервала прибытия $I_{cp}=315,89$ мин. имеет другое значение, чем среднее значение интервала отправления $I_{cp}=313,383$ мин., что подтверждает актуальность исследования.

По итогам анализа межпоездных интервалов следования грузовых поездов на участке между станциями Б.-С. – С. за 2023 г. определены основные причины невыполнения нормативного графика следования длинносоставных грузовых поездов (рисунок 3). Из рисунка 3 видно, что большую долю потерь поездо-часов занимают стоянки на промежуточных станциях из-за неприёма железнодорожного узла, также большую долю занимают и инфраструктурные ограничения, а наименьшую долю – отказы технических средств.

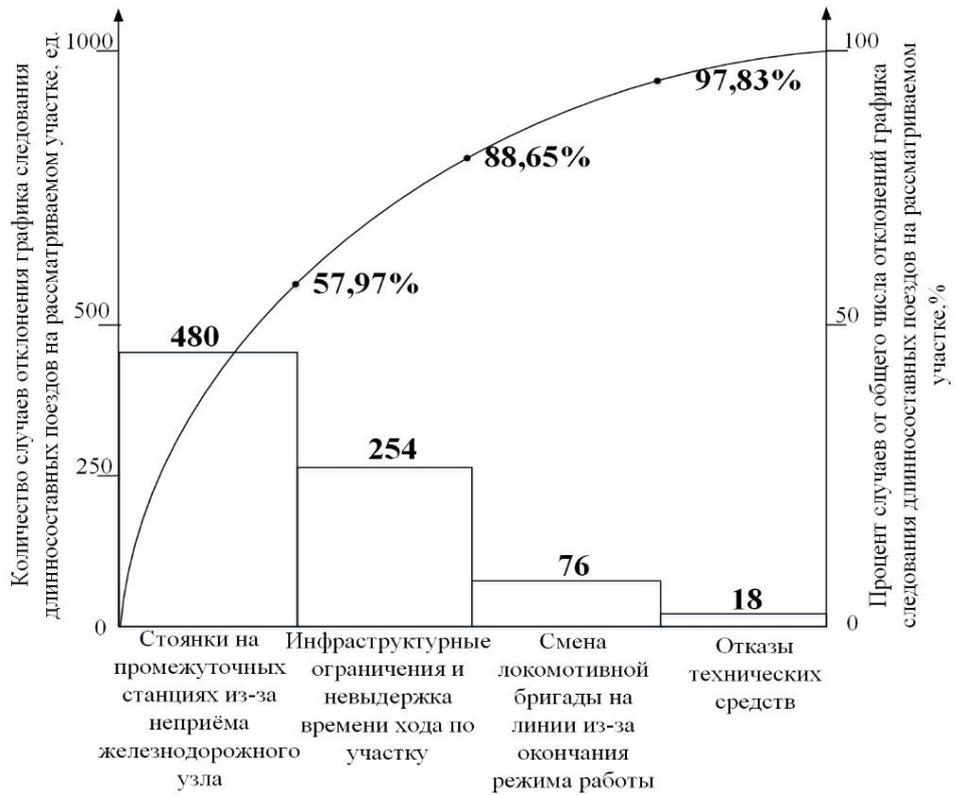


Рисунок 3 – Основные причины невыполнения графика следования длинносоставными грузовыми поездами на участке между рассматриваемыми узлами

Также во второй главе диссертационного исследования определена роль станций в процессе регулирования вагоно- и поездопотоков (рисунок 4).



Рисунок 4 – Схема регулирования поездопотоков между железнодорожными узлами

Исходя из схемы, приведенной на рисунке 4, необходимо сделать вывод, что рациональное упорядочение транспортных потоков представляет из себя комплексное регулирование движения – не только подвод в узел поездов с прилегающих направлений, но и отправление из узла на прилегающие направления. Следовательно, железнодорожная станция регулирует и упорядочивает поездо- и вагонопотоки для железнодорожных направлений и имеет функции поездообразования и проведения технологических операций. Все это создает необходимость исследования и разработки методики безостановочного приёма поездов в железнодорожный узел.

В третьей главе диссертационного исследования выполнено моделирование работы железнодорожного узла С. и участка Б.-С. – С. в системе ИМЕТРА (система макро моделирования транспортных узлов и полигонов). Моделирование работы железнодорожного узла проводилось в том числе с построением станций участка и заданием основных параметров их работы (рисунки 5, 6). Для получения наиболее точного результата моделирование проводилось построение графика исполненной работы узла С., отображающий простой и количество поездных локомотивов на станции.

Проведено моделирование восьми сценариев работы узла С. при основных заданных параметрах:

- наличие локомотивов переменного и постоянного тока;
- характер поездов, подводимых в железнодорожный узел: транзитные, поступающие в переработку, длинносоставные поезда;
- соблюдение межпоездных интервалов;
- инфраструктурные ограничения.

Новизна имитационной модели заключается в определении баланса взаимодействия железнодорожных узлов, один из которых имеет инфраструктурные ограничения, при неоднородности путевого развития и разным количестве поездных локомотивов (рисунок 7).

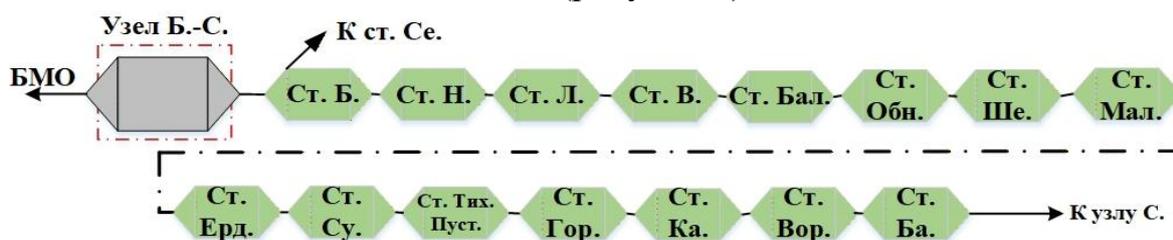


Рисунок 5 – Имитационная схема железнодорожного участка между двумя железнодорожными узлами. Участок Б.-С. – Ба.

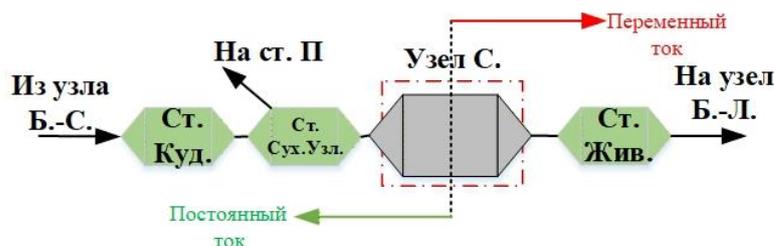


Рисунок 6 – Имитационная схема железнодорожного участка между двумя железнодорожными узлами. Ба. – Дум.

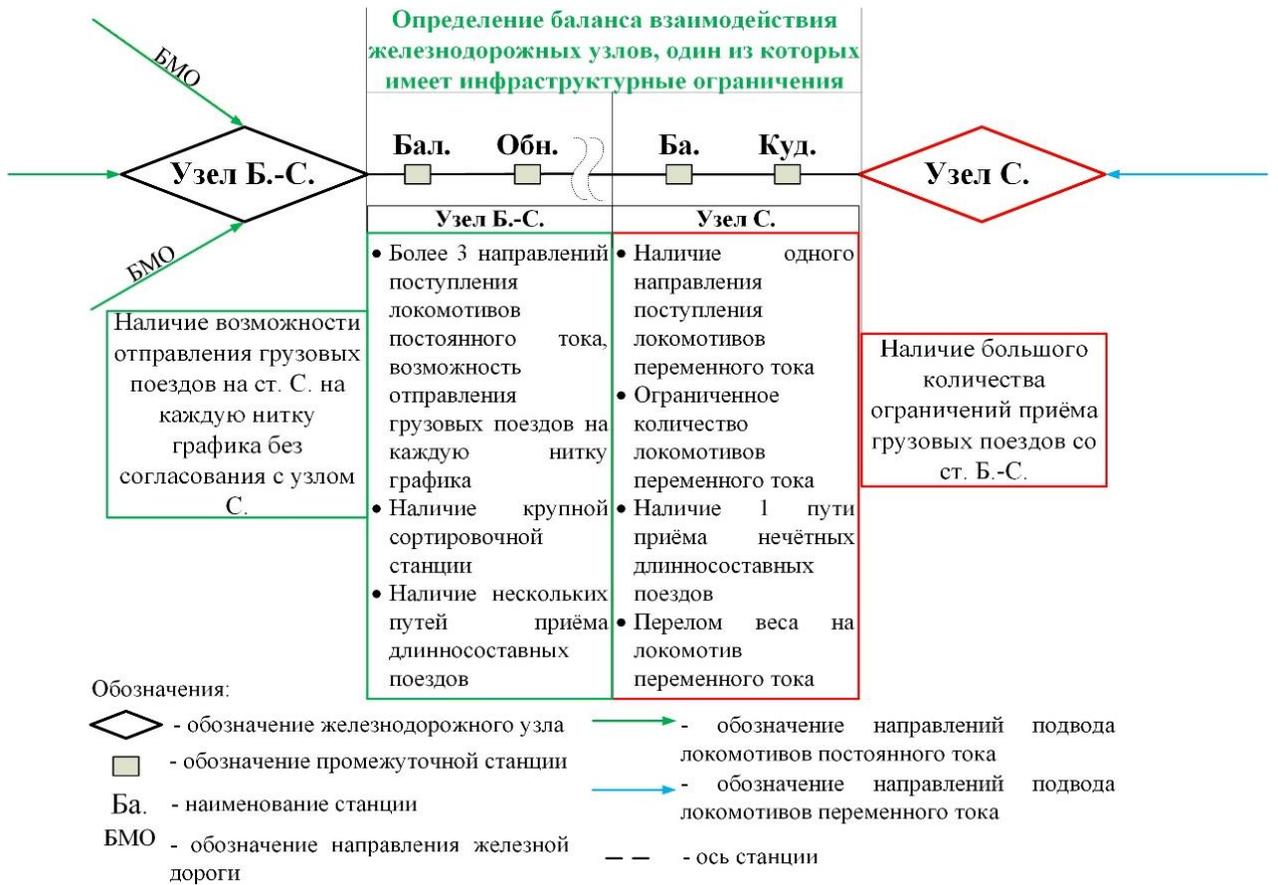


Рисунок 7 – Схематическое изображение новизны и практической значимости имитационной модели взаимодействия двух железнодорожных узлов

Для моделирования движения поездов создавались операции, объединённые в единый технологический процесс (рисунок 8).

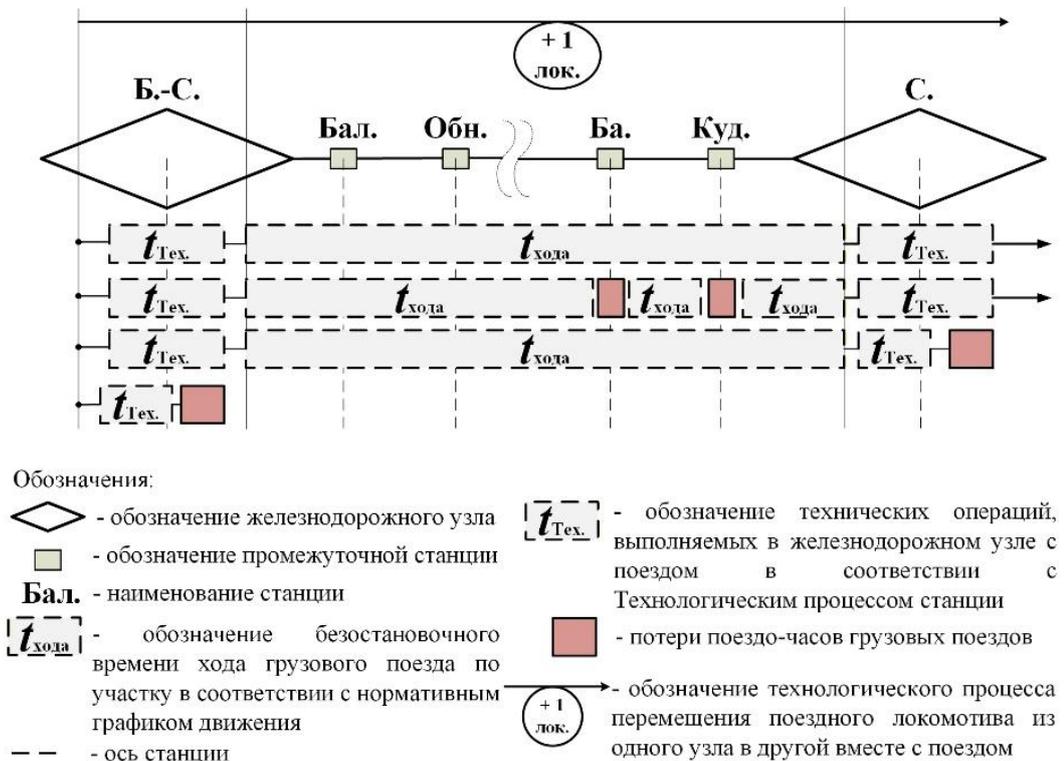


Рисунок 8 – Схема технологических процессов следования поездов в имитационной модели рассматриваемого участка

Таблица 3 – Особенности работы железнодорожного узла С. при изменении внешних параметров входящего поездопотока

Номер варианта имитационной модели	Потери поездо-часов из-за неприёма железнодорожного узла	Загрузка ст. С.,%	Количество поездов, поступающих на ст. С. (в числителе-грузовые, в знаменателе-пассажирские), ед.	Наличие поездных локомотивов в железнодорожном узле С., ед.	Участковая скорость, км/ч
1	88,98	66,4	60 (5 ПД)/10	6/2	28,3
2	2,12	32,7	10 (5 ПД)/10	7/3	40,1
3	97,21	60,7	31 (25 ПД)/10	8/4	27,5
4	111,53	64,4	85 (26 ПД)/10	5/2	25,1
5	0,26	39,1	10 (5 ПД)/10	5/10	42,1
6	106,48	55,8	68 (5 ПД)/10	5/10	26,4
7	97,65	74,9	75 (29 ПД)/10	8/10	27,1
8	65,953	71,1	38 (31 ПД)/10	7/9	29,9

Примечание к таблице 3: 5ПД – количество длинносоставных поездов длиной более 85 усл. вагонов. Данные поезда включены в указанное в столбце число. Остальные поезда – меньшей длины (от 71 до 85 усл. вагонов).

В случае неприёма железнодорожного узла С. увеличиваются потери поездо-часов из-за стоянок грузовых поездов на промежуточных станциях участка. Так в 4, 6 и 7 вариантах потери поездо-часов из-за неприёма железнодорожного узла С. на рассматриваемом участке составили 111,53, 106,48 и 97,65 поездо-часа соответственно. Наибольшая загрузка рассматриваемого железнодорожного узла выявлена в 7 варианте (таблица 3) – 74,9%. Количество принятых длинносоставных поездов в узел С. составило 29 поездов, а потери поездо-часов из-за неприёма железнодорожного узла С. на рассматриваемом участке составили 97,65 поездо-часа.

На основании полученных результатов необходимо сделать вывод, что поддержание потребного количества поездных локомотивов в узле и соблюдение межпоездного интервала приёма длинносоставных грузовых поездов при наличии инфраструктурных ограничений в значительной степени уменьшают потери поездо-часов, но при избытке поездных локомотивов в узле увеличиваются экономические затраты ввиду необходимости их содержания и оплаты рабочего времени локомотивной бригады.

В четвёртой главе диссертационного исследования рассматривается взаимосвязь экономических затрат пропуска длинносоставных грузовых поездов по участку от поездо-часов простоя грузовых поездов на промежуточных станциях, предлагаемая автоматизированная система оперативной аналитики для поддержки принятия решений при планировании работы взаимодействующих железнодорожных узлов и методические подходы по обоснованию выбора рациональных параметров организации взаимодействия железнодорожных узлов, направлений по формированию, пропуску длинносоставных грузовых поездов.

Задачи, решаемые в рамках автоматизированной системы оперативной аналитики для поддержки принятия решений:

1. Наглядное отображение поездной работы участка между узлами в части движения длинносоставных поездов с расчетом суммарного времени стоянок на промежуточных станциях (рисунок 9).

2. Среднее время занятия пути в железнодорожном узле, имеющем инфраструктурные ограничения, и количество одновременно занятых путей на станции железнодорожного узла. Это позволит работнику диспетчерского центра (ДЦУП) спланировать беспрепятственную организацию движения длинносоставных грузовых поездов в железнодорожный узел с учетом содержания потребного числа поездных локомотивов.

3. Исключение нарушений межпоездного интервала при отправлении длинносоставных поездов с начальных технических станций в железнодорожный узел, имеющий инфраструктурные ограничения, для предотвращения дополнительных простоев на промежуточных станциях из-за неприёма соседнего узла.

4. Расчет затрат на основе определения потерь поездо-часов и прогноз работы железнодорожного узла, имеющего инфраструктурные ограничения, на основе анализа основных данных о движении длинносоставных грузовых поездов по участку за сутки.

В диссертационном исследовании применены изыскания в области экономики железнодорожного транспорта и определена экономическая эффективность пропуска поездов меньшей длины по сравнению с длинносоставными грузовыми поездами (длиной до 85 условных вагонов), по методу укрупненных расходных ставок. В расчётах использованы актуальные расходные ставки ОАО «РЖД» за 2024 г.

При формировании и пропуске длинносоставных поездов в соответствии с Методикой определения порядка формирования корректирующих воздействий на вагоны/поезда/отправки на станции и в пути следования, имеющие потенциальные риски нарушения сроков доставки (распоряжение ОАО «РЖД» №2140/р от 23.08.2023 г.), определены среднесуточные стоимостные оценки простоя вагонов на каждом этапе следования с учетом изменений расходов станции по формуле 4. Автором внесён личный вклад в данную Методику, что подтверждается Актом о внедрении.

$$\Delta E_i = (E_{\text{пр.ваг.}i} + E_{\text{пр.ваг.нити}} + E_{\text{пр.ваг.локом.}} + E_{\text{пр.ваг.огран.}} + E_{\text{доп.тех.}}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $E_{\text{пр.ваг.}i}$ – среднесуточные стоимостные оценки простоя вагонов в ожидании формирования и пропуска длинносоставных и тяжеловесных поездов, формирования и пропуска соединённых, объединённых поездов, руб.;

$E_{\text{пр.ваг.нити}}$ – среднесуточные стоимостные оценки простоя вагонов в ожидании нитки пропуска поездов таких категорий, руб.;

$E_{\text{пр.ваг.локом.}}$ – среднесуточные стоимостные оценки простоя вагонов в ожидании тяговых ресурсов, руб.;

$E_{\text{пр.ваг.огран.}}$ – среднесуточные стоимостные оценки простоя вагонов в ожидании пропуска поездов таких категорий из-за ограничений инфраструктуры, руб.;

$E_{\text{доп.тех.}}$ – среднесуточные стоимостные оценки изменения мощности станций при перераспределении вагонопотока, руб.

Неч.	Участок взаимодействия двух железнодорожных узлов Б.-С.-С.	
19	— Количество отправленных поездов повышенной длины за сутки	
3	— Количество поездов повышенной длины, отправленных с нарушением необходимого межпоездного интервала	
6,15	— Сумма времени стоянки поездов повышенной длины на промежуточных станциях участка в часах	
27 998	— Расчёт затрат, вызванных потерями поездо-часов из-за стоянок грузовых поездов на промежуточных станциях за сутки, руб.	
5,12	— Среднее время хода поезда по участку, час	
Номер пути	↓	Время
5		2,15
		— Среднее время занятия пути в узле, час
УЗЕЛ С.		Выход

Обозначения:

- Неч.** - Данные программы отображены для нечетного направления участка
- ↓** - Выбор путей железнодорожного узла по списку
- 5,12** - Завышенные показатели участка
- 2,15** - Выполнение показателей участка

Рисунок 9 – Пример оформления интерфейса предложенной программы

Среднесуточные стоимостные оценки простоя вагонов в ожидании формирования и пропуска длинносоставных поездов, формирования и пропуска соединённых, объединённых поездов определяют по формуле 5:

$$\sum E_{\text{пр.ваг.}} = \sum_{r=1}^R (N_{\text{сост.1}} + N_{\text{сост.2}}) \cdot (t_{\text{тех.г}} + t_{\text{ож.г}}) \cdot e_{\text{вч}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{сост.1}}$, $N_{\text{сост.2}}$ – составность объединяемых поездов/ожидания формирования оставшейся части тяжеловесного поезда, ваг.;

$t_{\text{тех.г}}$, $t_{\text{ож.г}}$ – длительность соответственно выполнения и ожидания технологических операций на станциях формирования/ расформирования, ч.;

$e_{\text{вч}}$ – динамическая стоимостная оценка вагоно-часа грузового вагона, руб./в-ч.

Комплексное, поэтапное применение разработанных и предложенных технологий, сводных результатов анализа станций сети отечественных железных дорог, описанных в диссертационном исследовании, позволяют сформулировать методические подходы по обоснованию выбора рациональных параметров организации взаимодействия железнодорожных узлов, направлений и по формированию, пропуску длинносоставных грузовых поездов в условиях неоднородной вместимости и специализации приёмо-отправочных путей станций, неоднородных транспортных потоках. Алгоритм и схема применения разработанной методики представлены на рисунках 10 и 11.

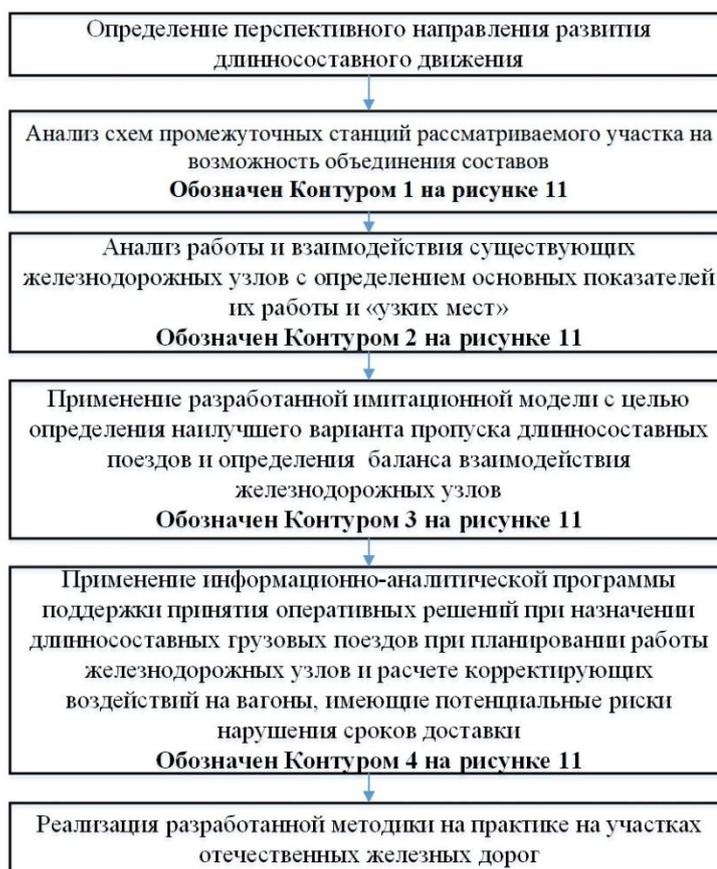


Рисунок 10 – Алгоритм предложенного комплексного методического подхода

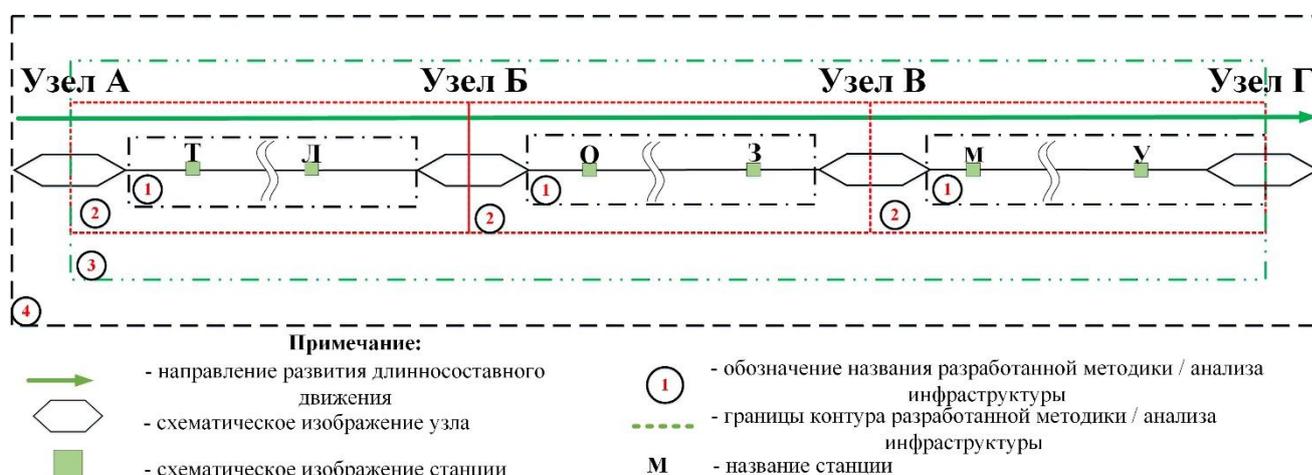


Рисунок 11 – Схема применения разработанной методик на примере железнодорожного участка

Преимущества разработанной комплексной методик:

- планирование развития длинносоставного движения, учитывающее особенность местных условий и инфраструктурные ограничения;
- планирование эксплуатационной работы участка, учитывающее объединение грузовых поездов на промежуточных станциях, для упрощения работы железнодорожных узлов, в том числе имеющих инфраструктурные ограничения;
- универсальность имитационного моделирования и определение наилучшего варианта баланса взаимодействия железнодорожных узлов,

направленного на беспрепятственный пропуск длинносоставных грузовых поездов по участку;

- универсальность информационно – аналитической программы поддержки принятия решений, распространяемая в перспективе в диспетчерских центрах управления перевозками;

- значимость определения экономической эффективности пропуска длинносоставных грузовых поездов по участку с минимальными потерями поездо-часов стоянок грузовых поездов на промежуточных станциях;

- масштабирование разработанной методики на участки сети отечественных железных дорог;

- перспективы использования машинного обучения при планировании взаимодействия железнодорожных узлов, поиск наилучшего варианта их работы.

Недостатки разработанной комплексной методики:

- необходимость изменения разработанной методики в случае переустройства станций участка и изменения местных условий;

- необходимость определения местных ограничений, влияющих на объединение составов на промежуточных станциях;

- наличие существенных временных затрат на определение итогового варианта применения разработанной методики на рассматриваемых участках и внедрение информационно-аналитической программы в диспетчерских центрах управления перевозками.

Особенностью применения разработанной методики на практике является этапность и зависимость каждого этапа друг от друга, что подтверждает возможное комплексное и полноценное применение методики на практике.

В заключении приведены результаты диссертационной работы и сформулированы основные выводы.

Заключение

1. Выполнено комплексное исследование факторов, оказывающих влияние на развитие длинносоставного движения грузовых поездов – анализ длин главных, приёмо-отправочных и сортировочных путей станций сети отечественных железных дорог, межпоездных интервалов отправления, прибытия и следования длинносоставных поездов на выбранном участке между железнодорожными узлами Б.-С. – С., один из которых имеет инфраструктурные ограничения, влияния тяговых ресурсов и наличия контингента локомотивных бригад на движение длинносоставных грузовых поездов, среднего времени занятия приёмо - отправочных путей в железнодорожном узле, а также определение причин невыполнения нормативного времени следования длинносоставных грузовых поездов на выбранном участке. Анализом инфраструктуры железнодорожных станций сети отечественных железных дорог определено, что доля путей вместимостью 100 усл. вагонов составляет: для главных – 5,93%, приёмо-отправочных – 2,26% и сортировочных путей – 0,29%. Анализ межпоездных интервалов отправления, прибытия длинносоставных поездов в железнодорожный узел С. за 2023 г. определил ряд причин нарушения

нормативного времени хода длинносоставных грузовых поездов на выбранном участке, где наибольшую долю – 57,97% составил неприём железнодорожного узла, а наименьшую – отказы технических средств (2,17%): 18 из 828 поездов. Результаты выполненного комплексного анализа в совокупности с разработанной имитационной моделью взаимодействия железнодорожных узлов определяют предпосылки выбора параметров организации и пропуска поездопотока между взаимодействующими железнодорожными узлами – длину составов, станции и парки выполнения операций в узлах, интервалы движения, участки следования грузовых поездов.

2. В условиях существующих ограничений по инфраструктуре организация движения длинносоставных грузовых поездов вызывает факторы противоположного действия – уменьшающие потребность в тяговых ресурсах (снижение количества грузовых поездов в адрес соседних железнодорожных узлов при увеличении длины составов) и увеличивающие потребность (простои и пробеги с поездами, одиночные пробеги между парками и станциями узла). Несогласованность отправления длинносоставных грузовых поездов между железнодорожными узлами приводит к увеличению времени нахождения поездных локомотивов в движении, предельному режиму работы и смене локомотивных бригад на линии.

3. Определены методические положения по построению имитационной модели взаимодействия узлов, направления железной дороги и проведению имитационных экспериментов для поиска рациональных параметров регулирования отправления и подвода поездов с учетом неоднородности путевого развития и транспортных потоков. Результатами анализа проведенного имитационного эксперимента определено, что при нарушении межпоездного интервала отправления длинносоставных грузовых поездов в соседний железнодорожный узел и при отсутствии в нём потребного количества поездных локомотивов другого рода тока существенно возрастает значение потерь поездо-часов, что требует определения дальнейшего баланса взаимодействия железнодорожных узлов. Таким примером является 1 имитационный вариант, в котором значение потерь поездо-часов составляет 88,98 поездо-часа, загрузка узла 66,4%, участковая скорость 28,3 км/ч, а количество не отправленных грузовых поездов из узла Б.-С. составило 82 поезда.

4. Показатели работы железнодорожного узла, определенные расчетами на имитационных моделях, подлежат стоимостной оценке с применением разработанных расчетных зависимостей; при этом определена технико-экономическая эффективность пропуска длинносоставных грузовых поездов при наличии инфраструктурных ограничений в оперативных условиях с учетом сопоставления изменения размеров грузового движения и потерь поездо-часов в узлах и на участках, а также вариантов путей следования вагонопотоков между рассматриваемыми узлами.

5. Одним из оснований для разработки алгоритма принятия решений является рассчитанные показатели работы железнодорожного узла С., на основе данных, полученных из информационных систем ОАО «РЖД», а именно: разница значения среднего интервала поступления требований в систему (узел С.) –

$\Delta I_{\text{ср}} = 2,5$ мин., среднеквадратичное отклонение интервалов отправления длинносоставных поездов со ст. Б.-С. в назначение узла С. – $\sigma[I] = 226,9$ мин., среднеквадратичное отклонение интервалов прибытия длинносоставных поездов на ст. С. – $\sigma[I] = 219,49$ мин. Целью применения результатов и расчетов в оперативных условиях эксплуатационной работы является предложенный алгоритм оперативной аналитики для поддержки принятия решений в оперативных условиях при планировании работы взаимодействующих железнодорожных узлов, имеющих инфраструктурные ограничения, обеспечивающий контроль соблюдения межпоездного интервала, оценку занятости приёмо-отправочных путей в железнодорожном узле и на основе этих данных – рекомендуемый порядок отправления длинносоставных грузовых поездов.

6. Дальнейшие исследования необходимо посвятить развитию алгоритмов оперативного планирования работы взаимодействующих железнодорожных узлов, имеющих инфраструктурные ограничения, в том числе с применением нейросетевых алгоритмов и машинного обучения, предусматривающих комплексное распределение между станциями в узлах технологических операций, функций поездообразования и функций регулирования движения при изменяющейся эксплуатационной обстановке и динамически определяемых приоритетах продвижения различных транспортных потоков.

Список работ, в которых изложены основные научные результаты диссертации:

а) научные статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Серёгин, И. В. Моделирование работы железнодорожного узла в условиях неравномерного подвода поездопотока [текст] / И. В. Серёгин // Экономика железных дорог. – 2025. – № 1. – С.38-49.

2. Серёгин, И. В. Представление железнодорожного узла Сухиничи как систему массового обслуживания с расчётом её показателей [текст] / И. В. Серёгин // Экономика железных дорог. – 2024. – №7. – С. 59-65.

3. Серёгин, И. В. Анализ времени следования длинносоставных поездов при нарушениях технологии работы участка и наличии инфраструктурных ограничений [текст] / И. В. Серёгин // Экономика железных дорог. – 2024. – № 11. – С. 121-128.

4. Серёгин, И. В. Варианты организации движения поездов на участке между двумя железнодорожными узлами в условиях нестабильного поездопотока и наличия поездных локомотивов [текст] / И. В. Серёгин // Экономика железных дорог. – 2024. – № 11. – С. 41-48.

5. Серегин, И. В. Определение оптимальных маршрутов следования поездов повышенной массы и длины при наличии лимитирующих участков железнодорожной сети [текст] / И. В. Серегин, Ю. В. Немцов // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 4 (100). – С. 88-94.

б) научные работы, опубликованные в прочих изданиях:

6. Серёгин, И. В. Вариант развития автоматизированных систем управления для улучшения организации продвижения поездов на сети ОАО «РЖД» [текст] / И. В. Серёгин // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки труды международной научно-практической конференции, посвящённой 125-летию университета. – М.: РУТ (МИИТ), 2021. – С. 418-421.

7. Серёгин, И. В. Формирование сквозных цифровых технологий организации перевозочного процесса для повышения эффективности эксплуатационной работы [текст] / И. В. Серёгин // Материалы IV Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Том 1. – Тюмень, 2021. – С. 376-379.

8. Серёгин, И. В. Внедрение цифровых систем и технологий на железнодорожном транспорте для планирования организации эксплуатационной работы [текст] / И. В. Серёгин // Сборник трудов международно-практической конференции, посвящённый 115-летию со дня рождения профессора Ф. П. Кочнева «Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России». – М.: РУТ (МИИТ), 2021. – С. 245-247.

9. Вольнов, П. И. Определение категоричности станций и условий для безопасного движения при приёме, отправления и пропуске поездов повышенной массы и длины на сети ОАО «РЖД» [текст] / П. И. Вольнов, И. В. Серёгин // Материалы XLIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. – Алматы, 2019. – С. 66-69.

10. Серёгин, И. В. Анализ существующих и перспективных размеров движения тяжеловесных и длинносоставных поездов на направлении Екатеринбург - Лужская с определением потребности в развитии промежуточных, участковых и сортировочных станций [текст] / И. В. Серёгин // Сборник научных трудов «Неделя науки 2019». – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – С. IV-92 - IV-93.

11. Серёгин, И. В. Анализ возможностей станций сети ОАО «РЖД» по приёму, отправлению и пропуску грузовых поездов повышенной массы и длины [текст] / И. В. Серёгин, П. И. Вольнов // Сборник научных трудов «Неделя науки 2018». – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – С. IV-24.

Основные положения и результаты исследований получены и сформулированы автором самостоятельно. Статьи [1 – 4, 6 – 8, 10] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [5, 9, 11], подготовленных в соавторстве: подготовка и разработка информационной программы для пропуска длинносоставных поездов круглыми маршрутами в случае наличия инфраструктурных ограничений на участке [5], определение типизации станций, описание предложенных типов станций, их недостатков и преимуществ, анализ станций сети на разделяемые типы [9], анализ железнодорожной инфраструктуры, размеров движения грузовых поездов и составление основных выводов выполненного исследования [11].

Серёгин Игорь Витальевич

**ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ И
НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ДЛИННОСОСТАВНЫХ ПОЕЗДОВ И
ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ**

2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать « »

2026 г.

Формат 60x84 1/16
Тираж 100 экз.

Объем усл. печ. л. 1,4
Заказ

Издательство