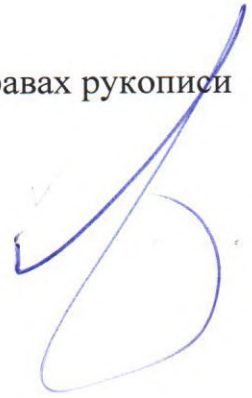


На правах рукописи



**Сайбаталов Рашид Фердаусович**

**МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ЗАТРУДНЕНИЙ  
В РАБОТЕ ПОЛИГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор  
Бородин Андрей Федорович

**Официальные оппоненты –**

Шмулевич Михаил Израилевич, доктор технических наук, профессор – ЗАО «Промтрансипроект», заместитель директора.

Рыженков Андрей Васильевич, кандидат технических наук – АО «Сибирская угольная энергетическая компания», угольный дивизион, директор службы заказчика.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. НОСОВА» (МГТУ им. Г.И. Носова).

Защита диссертации состоится «26» марта 2021 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС) по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, аудитория Б2–15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru> .

Автореферат диссертации разослан «03» февраля 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Долгосрочная программа развития ОАО «Российские железные дороги», утвержденная Правительством Российской Федерации, призвана обеспечить ведущую роль РЖД в транспортном обеспечении экономики страны и в мировой транспортной логистике. Стратегия клиентоориентированности и внутренней эффективности холдинга «Российские железные дороги» требует дальнейшего развития решения крупных производственных задач, направленных:

на расширение доходов за счет развития продуктовой линейки и индивидуального подхода к пользователям услуг железнодорожного транспорта;

на снижение прямых производственных расходов по перевозочной деятельности;

на предотвращение потерь доходов, в том числе из-за недостаточного качества транспортного обслуживания и отказа части пользователей от услуг железнодорожного транспорта;

на повышение результативности проводимых инвестиционных мероприятий.

Существенные потери в эксплуатационной работе имеют место при возникновении затруднений, вызываемых несоответствием:

транспортных потоков – пропускной и перерабатывающей способности элементов железнодорожной инфраструктуры;

вагонных парков – вместимости путевого развития;

тяговых ресурсов – предъявляемым объемам поездной и маневровой работы в условиях постоянных и временных инфраструктурных ограничений.

Чтобы свести к минимуму указанные потери, необходимо раскрытие закономерностей возникновения и развития эксплуатационных затруднений, и на этой основе – разработка продуктивных научных рекомендаций по их предотвращению, а в случае возникновения – по преодолению в минимальные сроки с минимальными отрицательными последствиями.

Данная проблема может утратить актуальность только в случае создания крупных резервов мощности инфраструктуры и всех перевозочных ресурсов, что теоретически возможно лишь за счет значительных некупаемых инвестиций на их создание и прямых производственных расходов на их обслуживание.

**Степень разработанности темы исследования.** Научно-методической базой настоящего исследования являются труды отечественных и зарубежных научных школ и коллективов в области эксплуатации железнодорожного транспорта, и прежде всего:

в области пропускной и провозной способности железных дорог – А.Н. Фролова, К.Ю. Цеглинского, А.Н. О'Рурка, Ф.П. Кочнева, Л.К. Ахрамовича, А.М. Макаровича, Ю.В. Дьякова, А.П. Батурина, В.А. Шарова;

в области пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и железнодорожных путей необщего пользования – Б.А. Длугача,

И.Г. Суязова, Г.А. Мухамедова, И.И. Кукушкина, Е.В. Архангельского, А.Ф. Бородина;

в области оперативного планирования и регулирования поездной и грузовой работы железных дорог – И.И. Васильева, А.Н. О'Рурка, В.И. Балча, А.П. Петрова, Е.М. Тишкина, В.С. Климанова, В.М. Макарова, Д.Ю. Левина;

в области управления эксплуатацией локомотивов – В.И. Некрашевича, В.Н. Ковалева, Н.И. Капустина;

в области рационального соотношения вместимости путевого развития и рабочего парка вагонов – М.Н. Кудрявцева, В.И. Аксенова, И.Б. Сотникова, А.А. Выгнанова, Р.И. Шариповой, Е.А. Сотникова, Ф.В. Бахадирова, Р.В. Лолуа, Д.Ю. Левина, А.Ф. Бородина;

в области методов моделирования работы железнодорожного транспорта – П.А. Козлова, А.Э. Александрова, Н.А. Тушина, Е.Н. Тимухиной, В.Ю. Пермикина, Н.В. Кашеевой, В.С. Колокольникова, И.Г. Слободянюк, Е.А. Сотникова, К.К. Таля, В.П. Козловой, А.С. Мишарина, О.В. Осокина и др.

В то же время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по разработке и применению комплексных методов устранения затруднений в эксплуатационной работе в современных условиях функционирования полигонов отечественной железнодорожной сети.

**Областью исследования** являются планирование, организация и управление транспортными потоками, технология транспортных процессов.

**Объектами исследования** являются транспортная сеть, структуры и линейные предприятия этой сети, транспортные и информационные потоки, системы управления на железнодорожном транспорте.

**Предметом исследования** являются методы устранения затруднений в эксплуатационной работе на основе оценки динамики перемещения вагонных парков и заполнения емкостей путевого развития полигонов железнодорожной сети.

**Целью исследования** является разработка научно-методических решений, обеспечивающих повышение технологической эффективности использования железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава на основе комплекса методов устранения затруднений в эксплуатационной работе полигонов железнодорожной сети, в том числе в условиях накопления избыточного вагонного парка.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

систематизация факторов, влияющих на уровень заполнения путевого развития полигонов сети вагонным парком;

исследование динамики развития затруднений в эксплуатационной работе при нарушении рациональных соотношений вместимости путевого развития полигонов железнодорожной сети и парка грузовых вагонов;

классификация технологических решений по устранению затруднений в эксплуатационной работе полигонов железнодорожной сети и разработка методических положений для их обоснования;

разработка рекомендаций по практическому применению разработанных теоретических положений при внедрении полигонных технологий управления эксплуатационной работой и вариантных технологических режимов.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в разработке новой научной идеи комплексного устранения затруднений в эксплуатационной работе в современных условиях функционирования полигонов отечественной железнодорожной сети, для чего:

разработана методика оценки влияния избыточного вагонного парка на уровни и качество использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов, основанная на результатах имитационного моделирования эксплуатационной работы;

предложена классификация методов устранения затруднений в эксплуатационной работе, предусматривающая методы интенсификации работы полигонов сети железных дорог и методы изменения внешних условий их функционирования;

разработана методика расчетов по устранению затруднений в эксплуатационной работе полигонов сети железных дорог на основе моделирования динамики рабочих парков вагонов;

сформулирован оригинальный подход к формализации задачи оценки показателей управления консолидированными парками универсальных грузовых вагонов с применением взаимосвязанных сетевых потоковых моделей железнодорожной сети и сети назначений плана формирования поездов.

**Теоретическая и практическая значимость.** Сформулированные в диссертации научные выводы, теоретические и практические результаты могут быть использованы для повышения эффективности организации эксплуатационной работы и дальнейшего совершенствования методов управления процессом перевозок.

Применение результатов позволяет снизить потери в использовании железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава, за счет этого уменьшить непроизводительные прямые расходы как ОАО «РЖД», так и операторов подвижного состава и грузовладельцев, а также предотвратить избыточные инвестиционные мероприятия.

**Методы исследования,** использованные в диссертации:

изучение и анализ отечественных и зарубежных научных разработок по вопросам регулирования железнодорожных перевозок, оценки емкости и пропускной способности железнодорожной инфраструктуры; статистические методы обработки данных; структурно-функциональный анализ; методы математического моделирования работы полигонов железнодорожной сети; методы технико-экономического сопоставления вариантов.

**Положения диссертации, выносимые на защиту:**

уточненная трактовка понятия затруднения в эксплуатационной работе железных дорог и расширенная классификация методов регулирования движения;

методика оценки влияния избыточного вагонного парка на эффективность и результативность перевозочного процесса, обеспечивающая расчет потерь в использовании подвижного состава и пропускной способности инфраструктуры при затруднениях в эксплуатационной работе;

методика расчетов по устранению затруднений в эксплуатационной работе, обеспечивающая выбор комплексных мер по интенсификации работы полигонов сети железных дорог и изменению внешних условий их функционирования;

технологические решения по применению разработанных методических положений при внедрении полигонных технологий управления эксплуатационной работой.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационного исследования реализованы:

в «Методике расчета показателей работы вагонных парков, позволяющих осуществлять мониторинг, анализ и оценку влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети», утвержденной распоряжениями ОАО «РЖД» от 18.03.2014 г. № 698р и от 12.11.2015 г. № 2668р;

в «Методике для определения норм наличия груза по номенклатурам, назначением на припортовые станции, в увязке с формированием сменно-суточных планов поездной и грузовой работы на железных дорогах», утвержденной распоряжением ЦД ОАО «РЖД» от 19.01.2021 г. № ЦД-14/р;

при проектировании Автоматизированной системы прогноза ресурсов сети (АС ПРОГРЕСС) (подсистема моделирования работы вагонных парков на инфраструктуре ОАО «РЖД» ПРОГРЕСС-3 – очередь 2014 г.), принятой в промышленную эксплуатацию в ОАО «РЖД» (акт № ГВЦ-169 от 28.11.2014 г.);

при разработке и внедрении организационных и технологических мероприятий по устранению затруднений в эксплуатационной работе и совершенствованию перевозочного процесса на железнодорожной сети ОАО «РЖД».

**Достоверность и обоснованность научных положений и выводов** подтверждается расчетами на аналитических и имитационных моделях, корректной логикой построения исследования, а также результатами практического внедрения.

**Апробация работы.** Результаты исследований, составляющих основное содержание работы, доложены на третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2014) Москва, Россия, 18 ноября 2014 г.; международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы транспорта и управления перевозочным процессом», посвященной 60-летию основания кафедры «Управление эксплуатационной работой» БелИИЖТа-БелГУТа, Беларусь, Гомель, 09 – 10 октября 2015 г.; сетевом совещании «Современные методы управления вагонными парками», Тюмень, Тобольск, 19-20 февраля 2015 г.; сетевом совещании «Переход к планированию и организации движения поездов на полигонах сети (управление тяговыми ресурсами, организация местной работы, работы

вагонных парков, соблюдение сроков доставки грузов)», г. Иркутск, 18 – 19 февраля 2016 г.; заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» 31 января 2019 г.; расширенном заседании кафедры «Управление эксплуатационной работой» УрГУПС 25 ноября 2020 г.

**Публикации.** Материалы, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 10 печатных работах, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Объем основного текста составляет 173 страницы, включая 57 рисунков и 7 таблиц, список литературы содержит 121 наименование.

### Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования и основные результаты, которые выносятся на защиту.

**В первой главе** дается анализ теории и практики организации эксплуатационной работы железных дорог в затрудненных условиях.

Предотвращение эксплуатационных затруднений требует восстановления и поддержания баланса мощности железнодорожной инфраструктуры, перевозочных ресурсов (тягово-энергетических и вагонного парка), методов управления движением. Это требует постановки и решения комплекса взаимосвязанных задач научно-методического характера.

В соответствии с этим рассмотрена история развития исследований:

методов оценки емкости и пропускной способности железнодорожной инфраструктуры;

методов регулирования железнодорожных перевозок;

методологии выполнения расчетов и зарубежных исследований.

С учетом результатов предыдущих исследований составлена классификация методов регулирования движения (рисунок 1). На рис. 1 предупредительное регулирование предусматривает заблаговременный учёт плановых изменений ограничений и транспортных потоков, последующее регулирование – методы устранения (компенсации) последствий внезапно возникших ограничений и резких колебаний транспортных потоков. Регулирование во времени предусматривает изменение приоритетности погрузки, организации и продвижения транспортных потоков, регулирование в пространстве – изменение путей следования транспортных потоков. Другие составляющие данной классификации не требуют пояснения.

**Вторая глава** посвящена исследованию взаимозависимостей технологических параметров работы полигонов железнодорожной сети в затрудненных условиях. Сформулированы пути решения проблемы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети и постановка задачи исследования.

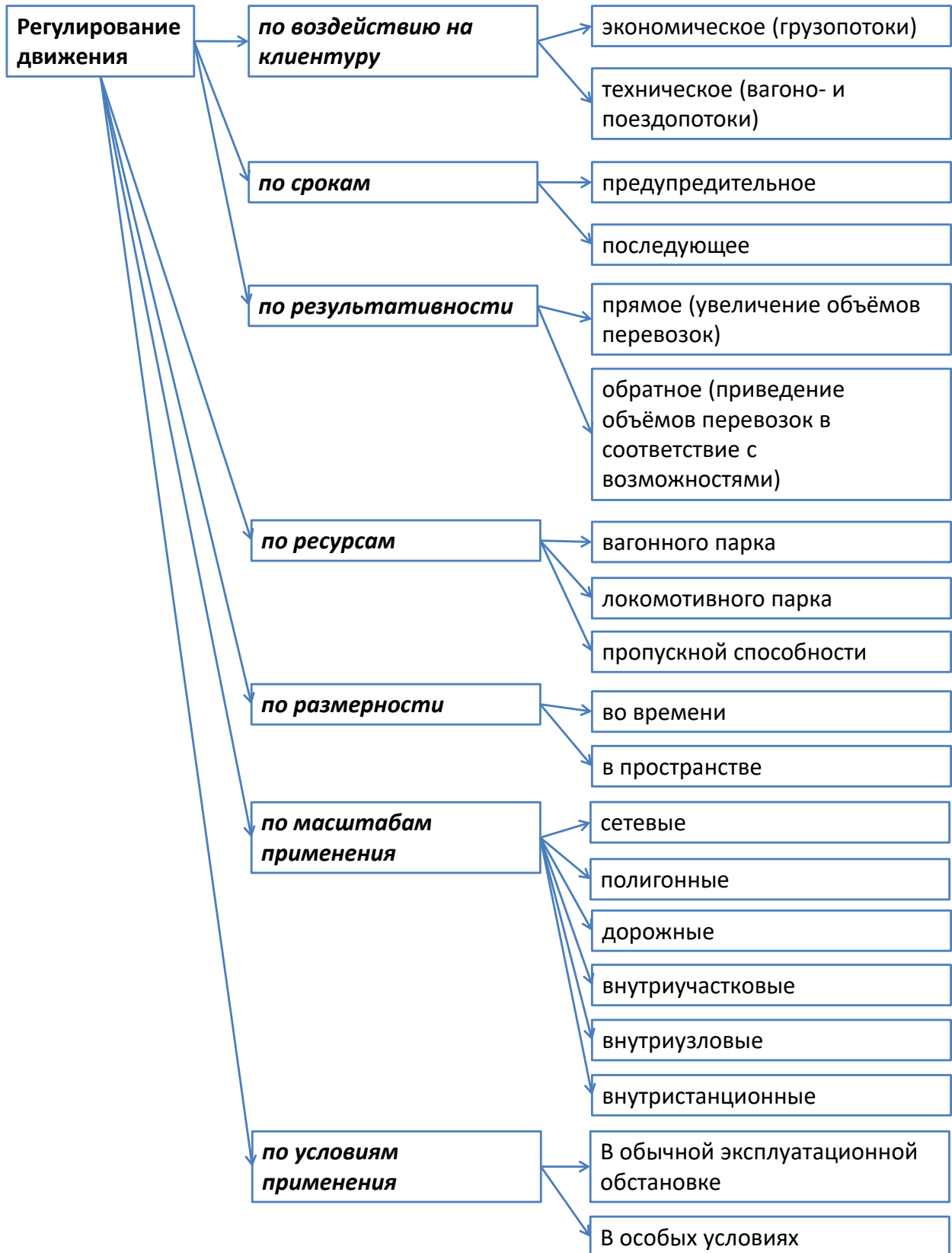


Рисунок 1 – Классификация методов регулирования движения



Постановка задачи требует формулировки понятия полигона железнодорожной сети. В настоящем исследовании под полигоном железнодорожной сети понимается совокупность железнодорожных станций и участков, связанных общими потоками вагонов и поездов, системой их организации и тягового обслуживания. При этом исследованию подлежат:

рациональные соотношения вместимости путевого развития полигонов железнодорожной сети и парка грузовых вагонов;

влияние уровней заполнения путевого развития вагонным парком на показатели эксплуатационной работы, на потребность в локомотивах и локомотивных бригадах грузового движения;

динамика развития затруднений в эксплуатационной работе при нарушении рациональных соотношений вместимости путевого развития полигонов железнодорожной сети и парка грузовых вагонов.

Затруднений в эксплуатационной работе не возникает, если рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе (в том числе на путях общего пользования инфраструктуры ОАО «РЖД» и на железнодорожных путях необщего пользования), находится в диапазоне между значениями величин рабочего парка:

технологически необходимого (потребного) для выполнения заданных объемов перевозок  $P_{\text{раб.потр}}$ ;

технически допустимого (рационального) по условиям сохранения маневренности подразделений железнодорожной сети  $P_{\text{техн}}$ .

Однако сами величины  $P_{\text{раб.потр}}$  и  $P_{\text{техн}}$  в общем случае непостоянны и зависят от управления движением.

**Технологически необходимый (потребный) рабочий парк грузовых вагонов**, участвующих в перевозочном процессе,  $P_{\text{раб.потр}}$  (в том числе на путях общего пользования инфраструктуры ОАО «РЖД»  $P_{\text{раб.потр.оп}}$  и на железнодорожных путях необщего пользования  $P_{\text{раб.потр.ноп}}$ ) определяется по родам вагонов и подразделениям сети исходя из прогнозируемой перевозочной работы в месяце максимальных грузовых перевозок.

**Вместимость путевого развития железнодорожной станции.** Вместимость в поездах:

$$E_{\text{п.ст}} = \Sigma \Pi'_{\text{по}} = \Sigma \Pi_{\text{по}} - \Pi_{\text{гдп}}, \quad (1)$$

где  $\Sigma \Pi_{\text{по}}$  - количество приемо-отправочных путей для грузовых поездов;  $\Pi_{\text{гдп}}$  - в том числе путей, занимаемых согласно действующему нормативному графику движения пропуском, обгоном и скрещением поездов, не имеющих на станции технологической обработки.

Вместимость в условных вагонах:

$$E_{\text{в.ст}} = \Sigma E_{\text{по}} \Sigma \Pi'_{\text{по}} / \Sigma \Pi_{\text{по}} + \Sigma E_{\text{сп}} + \Sigma E_{\text{со}} + \Sigma E_{\text{пв}} + \Sigma E_{\text{выст}} + \Sigma E_{\text{соед}} + \Sigma E_{\text{проч}} + \Sigma E_{\text{отст}}, \quad (2)$$

где  $\Sigma E_{\text{по}}$ ,  $\Sigma E_{\text{сп}}$ ,  $\Sigma E_{\text{со}}$ ,  $\Sigma E_{\text{пв}}$ ,  $\Sigma E_{\text{выст}}$ ,  $\Sigma E_{\text{проч}}$ ,  $\Sigma E_{\text{отст}}$ ,  $\Sigma E_{\text{соед}}$  – суммарная вместимость в условных вагонах соответственно приемо-отправочных, сортировочных, сортировочно-отправочных, погрузочно-выгрузочных, выставочных, прочих путей, путей для отстоя вагонов, соединительных путей с железнодорожными путями необщего пользования.

Вместимость путевого развития железнодорожного пути необщего пользования определяется аналогично станции.

**Вместимость путевого развития железнодорожного полигона (района управления, региона железной дороги). Вместимость в поездах:**

$$E_{\text{п.рег}} = \Sigma E_{\text{п.ст}} + \Sigma E_{\text{п.уч}} = \Sigma E_{\text{п.ст}} + \Sigma (2 n_{\text{гдп.i}} L_{\text{уч.i}} / (24 V_{\text{уч.гдп.i}})) \quad (3)$$

где  $\Sigma E_{\text{п.ст}}$ ,  $\Sigma E_{\text{п.уч}}$  – вместимость в поездах соответственно станций полигона (без примыкающих путей необщего пользования) и участков;  $n_{\text{гдп.i}}$  – графиковые размеры движения грузовых поездов по  $i$ -тому участку, пар поездов/сут;  $L_{\text{уч.i}}$  – длина  $i$ -го участка, км;  $V_{\text{уч.гдп.i}}$  – графиковая участковая скорость грузовых поездов по  $i$ -тому участку, км/ч.

Вместимость в условных вагонах:

$$E_{\text{в.рег}} = \Sigma E_{\text{в.ст}} + \Sigma E_{\text{в.уч}} = \Sigma E_{\text{в.ст}} + \Sigma (2 n_{\text{гдп.i}} m_{\text{ун.i}} L_{\text{уч.i}} / (24 V_{\text{уч.гдп.i}})) \quad (4)$$

где  $m_{\text{ун.i}}$  – унифицированная длина состава поезда для  $i$ -того участка, условных вагонов.

**Технически допустимый (рациональный) рабочий парк грузовых вагонов**, участвующих в перевозочном процессе, при котором станции полигона обеспечивают беспрепятственный прием поездов и беспрепятственный обмен вагонов с железнодорожными путями необщего пользования,

$$P_{\text{техн}} = P_{\text{техн.оп}} + P_{\text{техн.ноп}} = P_{\text{техн.ст}} + P_{\text{техн.уч}} + P_{\text{техн.ноп}}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{техн.оп}}$ ,  $P_{\text{техн.ноп}}$  – наибольший технически допустимый (рациональный) рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, находящихся соответственно на путях общего пользования инфраструктуры ОАО «РЖД» (в том числе на станциях  $P_{\text{техн.ст}}$  и в поездах на участках  $P_{\text{техн.уч}}$ ) и на железнодорожных путях необщего пользования.

Железнодорожная станция:

$$P_{\text{техн.ст}} = (P_{\text{техн.по}} + P_{\text{техн.с}} + P_{\text{техн.со}} + P_{\text{техн.пр}} + P_{\text{техн.пв}} + P_{\text{техн.выст}} + P_{\text{техн.соед}}) / 1,1; \quad (6)$$

$$P_{\text{техн.по}} = 0,52 \Sigma E'_{\text{по}} \times \min \{ m_{\text{по}} \Sigma \Pi'_{\text{по}} / \Sigma E'_{\text{по}}; 1 \}; \quad (7)$$

$$P_{\text{техн.с}} = 0,4 \Sigma E_{\text{с}} \times \min \{ m_{\text{ф}} \Sigma \Pi_{\text{с}} / \Sigma E_{\text{с}}; 1 \}; \quad (8)$$

$$P_{\text{техн.со}} = 0,43 \Sigma E_{\text{со}} \times \min \{ m_{\text{ф}} \Sigma \Pi_{\text{со}} / \Sigma E_{\text{со}}; 1 \}; \quad (9)$$

$$P_{\text{техн.пв}} = 0,2 \Sigma E_{\text{пв}}; \quad (10)$$

$$P_{\text{техн.пр}} = 0,03 (P_{\text{техн.по}} + P_{\text{техн.с}} + P_{\text{техн.со}} + P_{\text{техн.пв}}); \quad (11)$$

$$P_{\text{техн.выст}} = \min \{ 0,5 \Sigma E_{\text{выст}}; \Sigma [(N_{\text{погр.ноп}}^* + N_{\text{выгр.ноп}}^*) t_{\text{псо}} / (24 k_{\text{сд}})] \}; \quad (12)$$

$$P_{\text{техн.соед}} = \Sigma E_{\text{соед}}, \quad (13)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий непропорциональность развития отдельных парков и маневровых районов станций; 0,03 – доля количества вагонов, находящихся на вытяжных, надвижных и прочих путях; 0,52; 0,43; 0,4; 0,2; 0,5 – доля суммарного времени занятости путей соответствующих парков, при котором сохраняется выполнение условий взаимодействия станционных процессов, и станция в целом обеспечивает беспрепятственный прием поездов. Указанные значения получены многовариантным имитационным моделированием работы станций с применением имитационной системы ИСТРА для типизированных вариантов исходных данных по станциям различных типов.

Железнодорожный полигон (район управления, регион железной дороги:

$$P_{\text{техн}} = \Sigma P_{\text{техн.ст}} + \Sigma P_{\text{техн.уч}} = \Sigma P_{\text{техн.ст}} + \Sigma n t_{\text{гдп}} m_{\text{ун}} / 24, \quad (14)$$

где  $\Sigma n t_{\text{гдп}}$  - сумма поездо-часов на участках полигона по нормативному графику движения поездов.

**Рациональное соотношение вместимости путевого развития и рабочего парка вагонов** на станциях (допустимое значение коэффициента вместимости путевого развития станций). Железнодорожная станция (путь необщего пользования):

$$\Phi_{\text{рац.ст(ноп)}} = (E_{\text{в.ст(ноп)}} - \Sigma E_{\text{отст}}) / (P_{\text{техн.ст(ноп)}} \omega). \quad (15)$$

где  $\omega$  - отношение средневзвешенной длины физического вагона на рассчитываемом полигоне (по существующей структуре вагонного парка) к длине условного вагона,  $\omega = l_{\text{ср. физ}} / l_{\text{усл}}$ .

Железнодорожный полигон (регион железной дороги, район управления Диспетчерского центра управления перевозками) – по станциям без учета участков и путей необщего пользования:

$$\Phi_{\text{рац.рег}} = 1,05 k_{\text{рег}} (\Sigma E_{\text{в.ст}} - \Sigma E_{\text{отст}}) / [\Sigma P_{\text{техн.ст}} \omega], \quad (16)$$

где 1,05 – коэффициент, учитывающий неравномерность размещения вагонных парков между станциями региона;  $k_{\text{рег}} = 1,0 \div 1,2$  – коэффициент, учитывающий необходимость регулирующей емкости путевого развития в регионах железных дорог: с особо интенсивным пассажирским движением всех видов; обслуживающих морские и речные порты, перегрузочные пограничные переходы либо подходы к ним; расположенных на основных загруженных направлениях сети ОАО «РЖД».

Расчитанные по представленной методике рациональные соотношения вместимости путевого развития и рабочего парка вагонов по данным за 2019 г. составляют: по сортировочным станциям ОАО «РЖД» - от 2,41 до 3,58 (в среднем  $\varphi_{\text{рац.ст}} = 2,80$ ); по регионам железных дорог ОАО «РЖД» - от 3,06 до 5,25 (в среднем  $\varphi_{\text{рац.рег}} = 3,87$ ).

**Резерв (+) или дефицит (–) вместимости путевого развития, условных вагонов: по участкам**

$$\Delta E_{\text{уч}} = \Sigma E_{\text{в.уч}} - P_{\text{раб.уч}}, \quad (17)$$

по железнодорожным станциям (железнодорожным путям необщего пользования) – для рабочего парка грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе,

$$\Delta E_{\text{ст(ноп)}} = (E_{\text{в.ст(ноп)}} - \Sigma E_{\text{отст}}) - P_{\text{раб.ст(ноп)}} \varphi_{\text{рац.ст(ноп)}} / \omega, \quad (18)$$

для вагонов, не участвующих в перевозочном процессе,

$$\Delta E_{\text{отст}} = E_{\text{в.ст(ноп)}} / \omega - P_{\text{раб.ст(ноп)}} \varphi_{\text{рац.ст(ноп)}} - (P_{\text{факт.отст}} + P_{\text{нрп}}) \quad (19)$$

где  $P_{\text{раб.уч}}$ ,  $P_{\text{раб.ст}}$ ,  $P_{\text{раб.ноп}}$  – фактический рабочий парк грузовых вагонов, находящихся в поездах на участках, на станциях и на железнодорожных путях необщего пользования;  $P_{\text{факт.отст}}$  – фактический рабочий парк грузовых вагонов, не участвующих в перевозочном процессе  $P_{\text{нрп}}$  – количество вагонов нерабочего парка, включая неисправные, не поданные на пути предприятий вагонного хозяйства.

**Потери пропускной и перерабатывающей способности станций.** Дефицит вместимости путевого развития станций вызывает исключение части станционных путей из работы по пропуску и переработке потока поездов. С учетом существующего непропорционального развития станционных парков конкретный перечень путей станции, составляющих величины  $\Delta E_{\text{ст}}$ ,  $\Delta E_{\text{ноп}}$  и  $\Delta E_{\text{отст}}$ , следует определять, исходя из наименьшего отрицательного влияния на эксплуатационные возможности станции по выполнению поездной, сортировочной и грузовой работы, с учетом регулирования штата ПТО вагонов, приемщиков поездов и количества маневровых локомотивов.

Эксплуатационные возможности станций по выполнению сортировочной работы определяются зависимостями технически допустимых размеров вагонопотока, поступающего в переработку, от числа назначений формируемых поездов и от рабочего парка вагонов на станции

$$\begin{cases} N_T = f_1(k) \\ N_T = f_1(P_{\text{раб}}) \end{cases} \quad (20)$$

Эти зависимости имеют вид, показанный на рисунке 2. Здесь  $k_{\text{max}}$  - максимальное число назначений формируемых поездов;  $N_T^*$  - наибольший поступающий в переработку расчетный вагонопоток, при котором станция (сортировочная система) обеспечивает беспрепятственный прием поездов, вагонов/сут;  $k_{\text{ф}}$  - фактическое число назначений поездов по действующему плану формирования;  $N_{\text{ф}}$  - фактические размеры переработки, вагонов/сут.

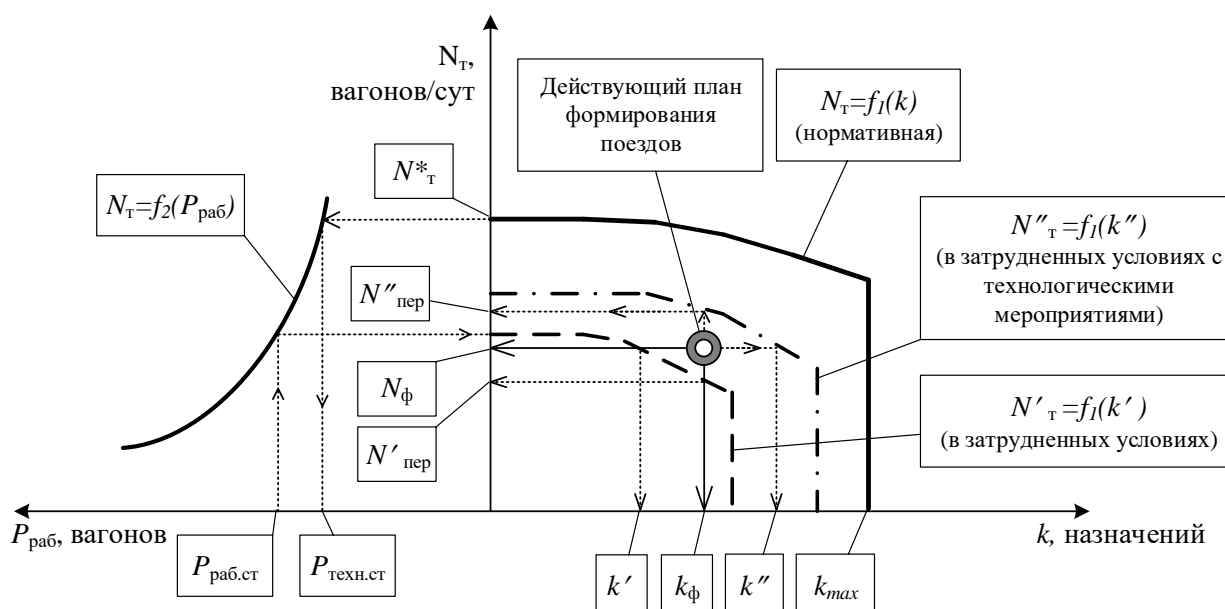


Рисунок 2 – Взаимосвязь технически допустимых размеров вагонопотока, поступающего в переработку, числа назначений формируемых поездов и рабочего парка вагонов

Нормативная зависимость  $N_T = f_1(k)$  соблюдается при рабочем парке вагонов не больше технически допустимого, т. е. при  $P_{\text{раб}} \leq P_{\text{техн.ст}}$ . При  $P_{\text{раб}} > P_{\text{техн.ст}}$  исключается из работы часть путевого развития станции, изменяются исходные данные для определения зависимости  $N_T = f_1(k)$ : уменьшается пропускная способность парков приема и отправления, снижается перерабатывающая способность горок и вытяжных путей; сокращается количество сортировочных путей для формирования поездов. С использованием новых данных рассчитывается зависимость  $N'_T = f_1(k')$ , характеризующая условия работы станции в ситуации затруднения (на рис. 2 показана штриховой линией). При этом, если вновь полученное число назначений  $k' < k_{\text{ф}}$  или размеры переработ-

ки  $N'_{\text{пер}} < N_{\text{ф}}$  (см. рис. 2), то возникает необходимость проведения технологических мероприятий на уровне станции (узла) либо изменения плана формирования на сетевом уровне.

**Потери пропускной способности участков.** Избыточное насыщение участков поездами приводит к необходимости оставлять на путях промежуточных станций поезда без локомотивных бригад либо составы без локомотивов, уменьшая таким образом число путей для скрещения и обгона поездов. Конкретный перечень путей, составляющих величину  $\Delta E_{\text{уч}}$ , следует определять, исходя из наименьшего отрицательного влияния на реализуемые размеры грузового движения.

Уровни заполнения путевого развития вагонным парком влияют на показатели работы станций (время нахождения грузовых вагонов на станциях) и полигонов (число задерживаемых по неприятию поездов и время их задержек; участковая скорость грузовых поездов; потребный контингент локомотивных бригад грузового движения; эксплуатируемый парк локомотивов; время задержек поездов, отставленных от движения). Для каждого участка имеет место взаимосвязь участковой скорости  $V_{\text{уч}}$ , размеров грузового движения  $n_{\text{уч}(1)} > n_{\text{уч}(2)} > n_{\text{уч}(3)}$  и эксплуатируемого парка локомотивов  $M_3$  (рисунок 3).

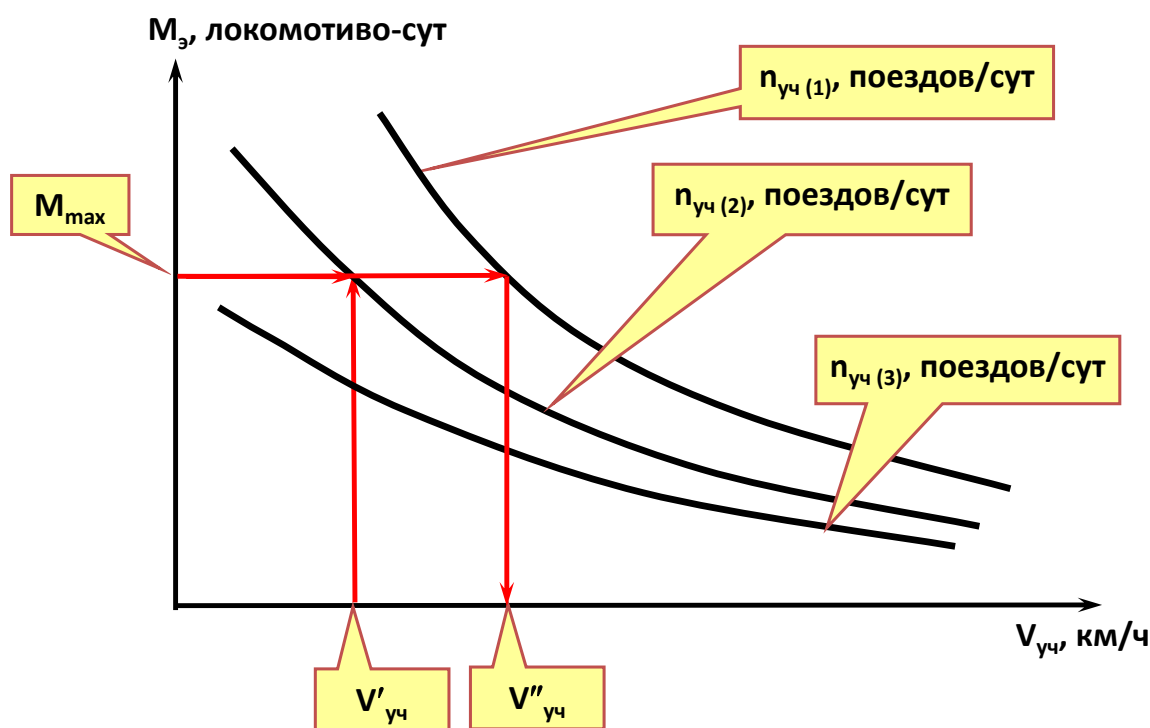


Рисунок 3 – Взаимосвязь участковой скорости, размеров грузового движения и эксплуатируемого парка локомотивов

Структурная схема оценки влияния избыточного вагонного парка на эффективность и результативность перевозочного процесса представлена на рисунке 4.

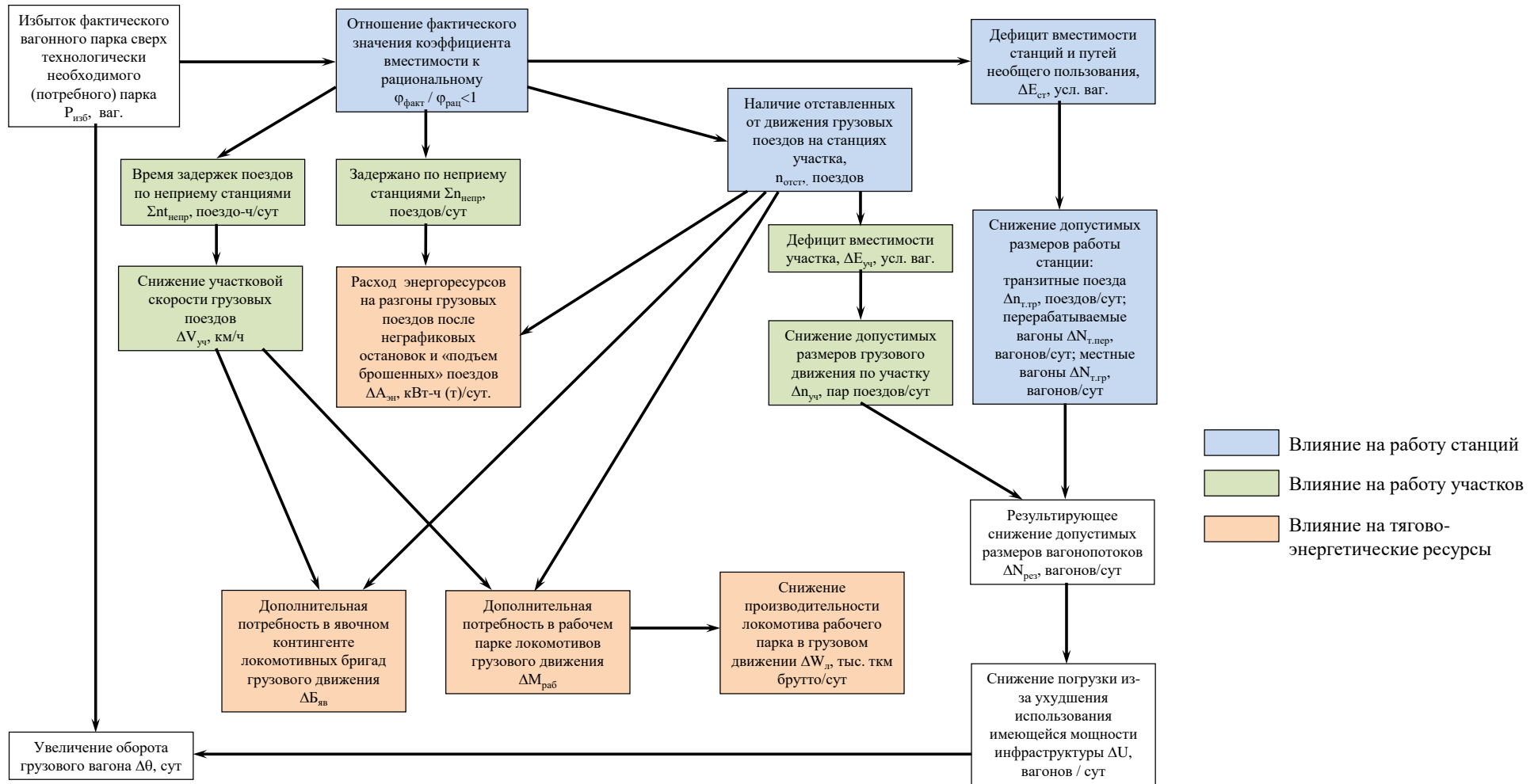


Рисунок 4 – Схема оценки влияния избыточного вагонного парка на эффективность и результативность перевозочного процесса

Динамика развития затруднений в эксплуатационной работе при нарушении рациональных соотношений вместимости путевого развития полигонов железнодорожной сети и парка грузовых вагонов характеризуется уравнениями перехода

$$P(t) = P(t - 1) + N_{\text{пр}}(t - 1, t) - N_{\text{сд}}(t - 1, t), \quad (21)$$

где  $P(t)$ ,  $P(t - 1)$  – рабочий парк вагонов на подразделении сети на временных срезах соответственно  $t$  и  $t - 1$ ;  $N_{\text{пр}}(t - 1, t)$ ,  $N_{\text{сд}}(t - 1, t)$  – прием и сдача вагонов данного подразделения в интервале времени  $(t - 1, t)$ .

В нормальном режиме эксплуатации (рисунок 5, а) посуточные колебания размеров приема и сдачи вагонов на подразделении сети не превышают допустимых пределов. Отклонения значения рабочего парка вагонов от исходной (средней) величины  $P_0$  не приводят к ухудшению эксплуатационных показателей.

Развитие эксплуатационных затруднений может быть вызвано либо внешними причинами (сгущенное поступление вагонов – рисунок 5, б), либо внутренними причинами (ограничения: выгрузки, пропуска поездов из-за ремонтно-путевых работ, тяговых ресурсов, а также неприятие другими подразделениями и др. – рисунок 5, в). Рабочий парк вагонов достигает значения, превышающего технически допустимую величину  $P_{\text{техн}}$ . В результате станции подразделения не могут обеспечивать беспрепятственный прием поездов и обмен вагонами с железнодорожными путями необщего пользования. Это, в свою очередь, влечет за собой дальнейшее ухудшение эксплуатационных показателей в случае непринятия регулировочных мер.

**В третьей главе** исследованы методы, основанные на изменении внешних условий эксплуатационной работы полигонов сети железных дорог, испытывающих затруднения (регулирование погрузки по назначениям и подвода поездов, организация и направление транзитных вагонопотоков, размещение парков порожних вагонов).

Выбор способов устранения эксплуатационных затруднений зависит от структуры избытка парка вагонов  $P_{\text{изб}} = P^* - P_0$  ( $P_0$  – нормальное наличие вагонов,  $P^*$  – фактическое наличие) по их технологическому состоянию и назначениям следования.

Увеличение подвижности вагонопотока (снижение времени нахождения вагонов на станциях, участках и путях необщего пользования) позволит ускорить сдачу вагонов и восстановить их нормальное наличие  $P_0$  (рисунок 6, а) за счет помощи других подразделений, имеющих резервы мощности: по принимаемому вагонопотоку (формирование транзитных для затрудненного подразделения поездов взамен разборочных, увеличение массы или длины поездов либо их подготовка для пропуска без перелома составов, регулирование очередности подвода), либо по сдаваемому вагонопотоку (сдача вагонов без подборки по назначениям, в длинносоставных поездах и др.).



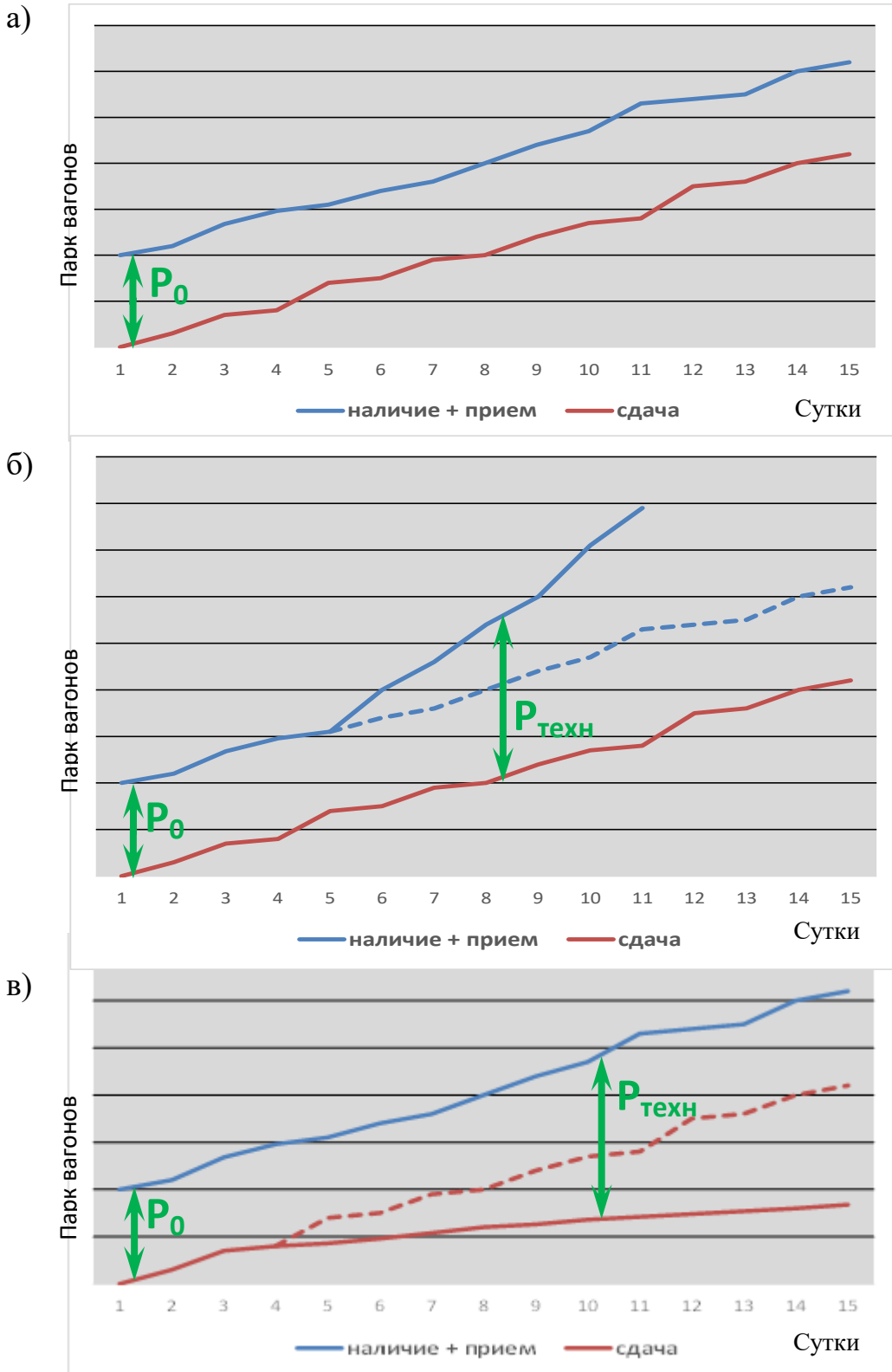


Рисунок 5 – Посуточная динамика рабочего парка вагонов на подразделении железнодорожной сети: а) нормальный режим эксплуатации; б) развитие эксплуатационного затруднения при сгущенном поступлении вагонов; в) развитие эксплуатационного затруднения при замедлении сдачи вагонов (снижении подвижности вагонопотока)

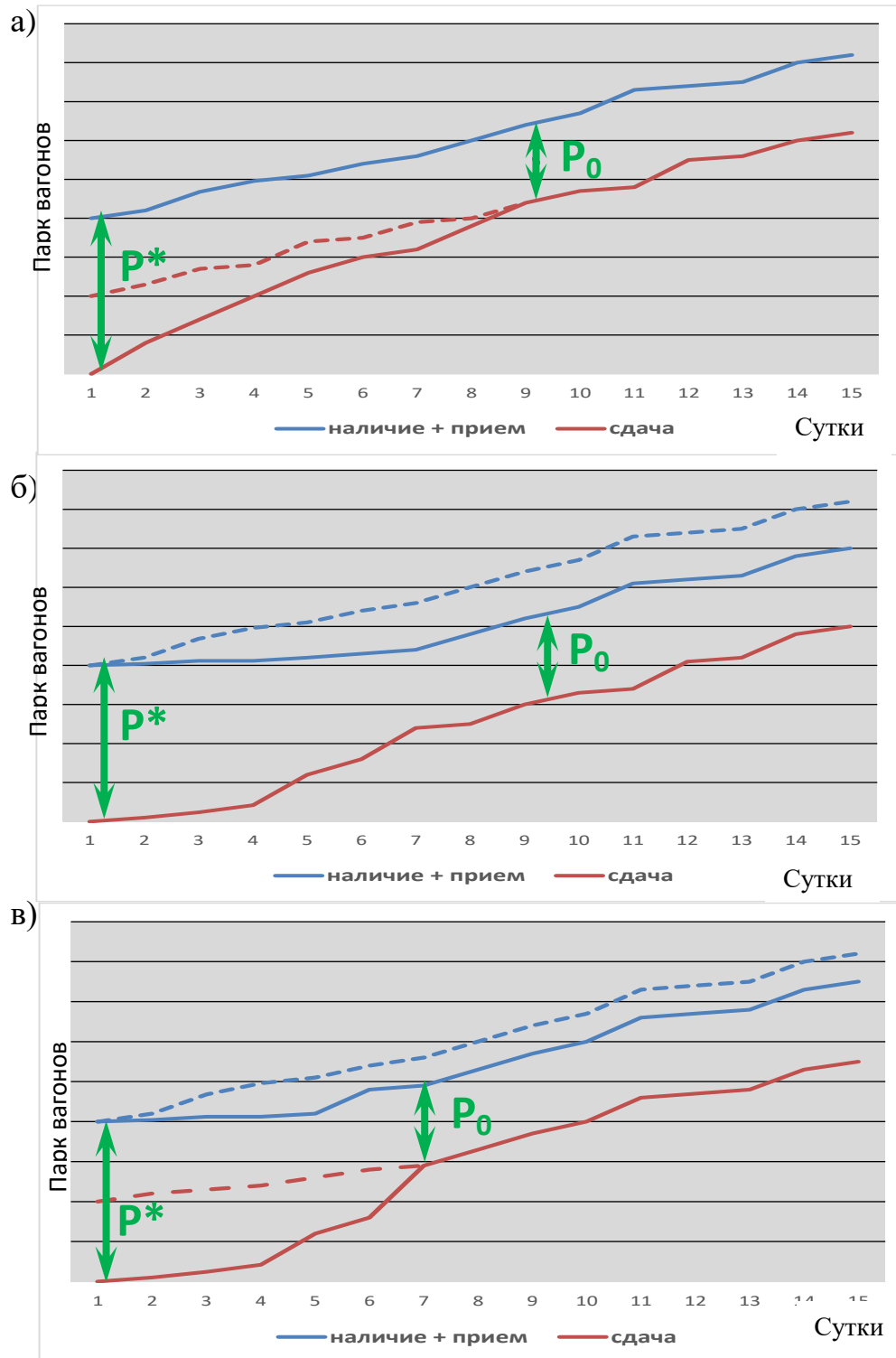


Рисунок 6 – Посуточная динамика рабочего парка вагонов на подразделении железнодорожной сети при устранении эксплуатационного затруднения: а) за счет интенсификации работы подразделения, испытывающего трудности, и (или) ускорения сдачи вагонов (повышения подвижности вагонопотока); б) за счет помощи других подразделений сети (ограничение приема вагонов); в) комбинированными методами

Ограничивать прием вагонов на подразделение, испытывающее затруднение (рисунок б, б), следует путем регулирования (ограничения) погрузки, направления вагонопотоков кружностью, перенаправления порожних вагонов, не планируемых под погрузку (во взаимодействии с операторами подвижного состава). Снижение приема вагонов позволит улучшить взаимодействие станций с участками и железнодорожными путями необщего пользования. Это ускорит продвижение вагонов там, где возникли затруднения. Комбинированные методы позволят быстрее восстановить нормальное наличие вагонов (рисунок б, в).

Как ограничение погрузки, так и отклонение следования вагонов от экономически целесообразных направлений порождают финансовые потери. Прибегать к таким мерам приходится, если методы, основанные на интенсификации работы подразделений сети, испытывающих затруднения, оказались более затратными, либо технически нереализуемыми.

Оценивать применение отдельных регулировочных решений либо их комплексов необходимо как по динамике восстановления нормального наличия вагонов рабочего парка (см. рисунок б), так и по их влиянию на финансовый результат, динамика которого характеризуется уравнениями перехода

$$R(t) = R(t - 1) + E(t - 1, t) - Z(t - 1, t) - D(t - 1, t), \quad (22)$$

где  $R(t)$ ,  $R(t - 1)$  – накопленный финансовый результат на временных срезах соответственно  $t$  и  $t - 1$ ;  $E(t - 1, t)$ ,  $Z(t - 1, t)$  – экономия от применения комплекса регулировочных мероприятий (КРМ) и дополнительные затраты на осуществление КРМ в интервале времени  $(t - 1, t)$ ;  $D(t - 1, t)$  – потери доходов (из-за не обеспечения погрузки, снижения надежности доставки грузов, невыполнения иных договорных обязательств) в интервале времени  $(t - 1, t)$ .

Изменение прямых производственных расходов связано с привлечением дополнительных тягово-энергетических и инфраструктурных ресурсов  $Z(t - 1, t)$  и высвобождением ресурсов за счет снижения задержек продвижения транспортных потоков  $E(t - 1, t)$ .

Исследованы возможные диапазоны снижения нагрузки на инфраструктуру и эксплуатационных расходов за счет включения парков универсальных вагонов, принадлежащих разным собственникам, в общий контур регулирования. Для этого по одной из железных дорог Европейской части сети ОАО «РЖД» проведены серии вариантных расчетов распределения потоков порожних вагонов с учетом плана формирования поездов и плана организации маршрутов и определением технико-экономических показателей.

Затраты, связанные с простоями порожних вагонов, с их пробегами и переработками по плану формирования поездов, при управлении консолидированным парком пяти крупных операторов снижаются на 10 – 27%. Рабочий парк порожних вагонов в границах рассматриваемой железной дороги снижается на 12 – 25%.

Расчеты подтвердили также, что управление консолидированным вагонным парком, снижая распыленность вагонопотоков, позволяет повысить уровень их организованности. Число порожних полувагонов, включаемых в отправительские порожние маршруты на станциях выгрузки рассматриваемой железной дороги, возрастает в 3,2 – 4,6 раза; включаемых в технические порожние маршруты на сортировочных станциях дороги – в 1,44 – 2,33 раза.

**В четвертой главе** исследованы методы, позволяющие увеличить подвижность вагонопотока (см. рис. 6, а) за счет интенсификации работы самого подразделения, испытывающего затруднения (интенсификация выгрузки и развоза местного груза, вывоза поездов с сортировочных и грузовых станций, интенсификация маршрутных перевозок и др.). Основная цель при этом – локализовать возникшие затруднения, исключить либо уменьшить необходимость оперативных корректировок плана формирования поездов и иных оперативных изменений, затрагивающих большие полигоны сети.

Реализация технологических мероприятий увеличивает эксплуатационные возможности станций для работы по плану формирования поездов. С учетом этого рассчитывается зависимость  $N''_T = f_1(k'')$  для условий работы с технологическими мероприятиями (см рис. 2, штрих-пунктирная линия). При этом, если число назначений  $k'' \geq k_\phi$  и новые возможные размеры переработки  $N''_{пер} \geq N_\phi$  (как показано на рисунке), необходимость корректировки сетевого плана формирования исключается.

**Пятая глава** посвящена вопросам применения, эффективности и перспективам развития научно-методических решений, разработанных в диссертации.

В рамках пилотного проекта перехода от управления перевозочным процессом в границах железных дорог к планированию и организации движения поездов на полигонах сети организован центр управления перевозками на Восточном полигоне. Разработанные методические решения применяются здесь при организации движения в условиях реконструкции и ремонта инфраструктуры с круглосуточными закрытиями одного главного пути перегона и предоставлением единого технологического створа для проведения «окон» на участках нескольких дорог, а также при регулировании продвижения груженых и порожних поездопотоков.

Общесетевые технологические решения по снижению влияния избыточности вагонных парков на эффективность и результативность работы сети позволили за период с 2014 г. по 2019 г.:

снизить потери тяговых ресурсов на 30 поездных локомотивов и 180 локомотивных бригад;

уменьшить на 4635 число случаев оставления поездов из порожних вагонов на промежуточных станциях без локомотивов за месяц;

снизить потери в участковой скорости грузовых поездов на 2,08 км/ч, в обороте вагона на 1,95 сут, финансовые потери ОАО «РЖД» на 3764 млн. руб./год, в том числе предъявляемых к оплате штрафов за несвоевременную доставку порожних вагонов – на 2606 млн. руб. /год.

Внедряемый в ОАО «РЖД» комплексный подход к ремонту и текущему содержанию инфраструктуры (определение сетевых полигонов единой технологии производства работ, рациональная длительность и периодичность закрытия перегонов и путей, рациональная цикличность и совмещение видов работ на пассажиро- и грузонапряженных направлениях) должен предусматривать меры по предотвращению затруднений в работе полигонов и направлений железнодорожной сети.

Поэтому дальнейшее развитие полученных в диссертации результатов предлагается в рамках научно-методической проработки вариантных технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети. Такие режимы должны увязывать директивный план работ по ремонту и реконструкции инфраструктуры, периодичность пассажирского движения, периодические изменения реализуемых мощностей погрузочных и особенно выгрузочных комплексов. Это позволит вводить эффективные изменения в направление вагонопотоков и их организацию поезда, в использование норм массы и длины поездов, в тяговое обеспечение поезда и маневрово-вывозной работы, в распределение персонала и сменность его работы.

### Заключение

1. В диссертации сформулированы основные признаки затруднений в эксплуатационной работе железных дорог. Такими признаками являются нарушения условий взаимодействия:

станций и участков (задержки поездов по неприему станциями);

станций и железнодорожных путей необщего пользования (взаимные отказы приема вагонов по установленным интервалам и (или) срокам);

полигонов железнодорожной сети (отставление поездов от движения на промежуточных станциях и длительные задержки вагонов в узлах из-за неприема другими полигонами сети, в том числе железными дорогами других государств);

смежных видов транспорта (отставление поездов от движения на промежуточных станциях и длительные задержки вагонов в узлах из-за невыгрузки в пунктах перевалки).

2. Затруднений в эксплуатационной работе не возникает, если рабочий парк грузовых вагонов, участвующих в перевозочном процессе, не превышает технически допустимых (рациональных) значений.

Разработана методика оценки возможностей размещения на заданном путевом развитии вагонных парков, участвующих и не участвующих в перевозочном процессе, а также оценки влияния избыточного вагонного парка на уровни и качество использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов.

3. Разработана методика расчетов по устранению затруднений в эксплуатационной работе полигонов сети железных дорог на основе моделирования динамики рабочих парков вагонов и технико-экономического сопоставления

показателей. Комплекс мер по устранению затруднений в эксплуатационной работе полигонов железнодорожной сети принципиально делится на две группы:

меры, основанные на интенсификации работы полигонов, испытывающих затруднения (интенсификация выгрузки и развоза местного груза, вывоза поездов с сортировочных и грузовых станций, интенсификация маршрутных перевозок и др.);

меры, основанные на изменении внешних условий эксплуатационной работы полигонов, испытывающих затруднения (регулирование погрузки по назначениям, размещения парков порожних вагонов, направления транзитных вагонопотоков, подвода поездов).

4. Определены сетевые регулировочные меры, которые классифицируются на меры, проводимые ОАО «РЖД» самостоятельно, и меры, которые осуществимы только при взаимодействии с отправителями и получателями грузов, с отправителями и получателями порожних вагонов, с владельцами железнодорожных путей необщего пользования, и предусматривают интенсификацию сдачи вагонов с полигона; вывод порожних вагонов, не участвующих в перевозочном процессе, в отстой на станции с незагруженной путевой емкостью или на пути необщего пользования; ограничение поступления вагонов на полигон.

5. Проведена оценка показателей консолидации управления парками универсальных грузовых вагонов с применением взаимосвязанных сетевых потоковых моделей железнодорожной сети и сети назначений плана формирования поездов, которая показала возможность снижения парка порожних вагонов в границах железной дороги до 25% с уменьшением прямых зависящих расходов ОАО «РЖД» по их организации и продвижению до 27%.

6. Общесетевые технологические решения по снижению влияния избыточности вагонных парков на эффективность работы сети, включающие в себя применение научно-методических решений, разработанных в диссертации, обеспечили снижение технологических потерь, связанных с использованием инфраструктуры и перевозочных ресурсов, и финансовых потерь ОАО «РЖД» на 3764 млн. руб./год (за период с 2014 г. по 2019 г.).

7. Дальнейшим развитием полученных в диссертации результатов должны стать научно-методическая проработка вариантов технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети, развитие методов сбалансированного планирования погрузки с возможностями сети и её регулирования по направлениям, а также эффективная эксплуатация вагонов с повышенной грузоподъемностью.

### **Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:**

*В изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Сайбаталов Р.Ф. Системная оценка регламента переговоров. – Железнодорожный транспорт, 2010. № 5. – С. 33 – 35.

2. Сайбаталов Р.Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети, связанных с избыточным парком грузовых вагонов. – Транспорт Урала, – 2013. – № 4 – С. 32 – 37.
3. Сайбаталов Р.Ф. Необходим комплексный подход к ремонту и текущему содержанию инфраструктуры. – Железнодорожный транспорт, 2013. – №6. – С. 38– 41.
4. Сайбаталов Р.Ф., Бородин А.Ф. Вагонный парк, инфраструктура и управление движением: к общему знаменателю. – Железнодорожный транспорт, 2014. № 11. – С. 26 – 34.
5. Сайбаталов Р.Ф. Ключевые задачи перехода к планированию и организации движения на полигонах. – Железнодорожный транспорт, 2016. № 6. – С. 32 – 37.

*В других изданиях:*

6. Бородин А.Ф., Сайбаталов Р.Ф. Методы устранения эксплуатационных затруднений на основе оценки манёвренности и вариантных технологических режимов работы полигонов железнодорожной сети. – Труды третьей научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2014) Москва, Россия, 18 ноября 2014 г. – С. 20 – 23.
7. Сайбаталов Р.Ф., Бородин А.Ф., Бородин Е.В. О предотвращении затруднений в эксплуатационной работе полигонов сети железных дорог. – Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт, 2015. - № 2. – С. 50 – 52.
8. Бородин А.Ф., Панин В.В., Прокофьева Е.С., Сайбаталов Р.Ф. Алгоритмические решения задач эффективного использования и развития железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов. – Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». - 2019. - № 3. - С. 28 - 39.
9. Бородин А.Ф., Панин В.В., Сайбаталов Р.Ф. Алгоритмические решения задач использования и развития ресурсов железнодорожной сети. – в кн.: Управление товарными потоками и перевозочным процессом на железнодорожном транспорте на основе клиентоориентированности и логистических технологий: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»./ под ред. Б.М. Лapidуса, А.Т. Осьминина. – СПб: ЛЕМА, 2019. – С. 160 – 170.
10. Бородин А.Ф., Панин В.В., Лаханкин Е.А., Панин В.В., Сайбаталов Р.Ф. О предиктивной бизнес-модели железнодорожных перевозок ОАО «РЖД». – Бюллетень учёного совета АО «ИЭРТ» за 2019 год. – М.: ИЭРТ, 2020. – Вып. 5. – С. 5 – 14.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [1 – 3, 5] подготовлены единолично. Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [4, 6, 7], подготовленных в соавторстве: разработка методических положений по применению регуляторных мер по-

вышения манёвренности железнодорожного полигона [4, 6, 7], оценке технологической эффективности консолидации управления парками грузовых вагонов [4]; расчету показателей работы при избыточности вагонных парков [6], количественному обоснованию параметров вариантных технологических режимов [4, 6]; предложения по диспетчерскому руководству и информационному взаимодействию в рамках развития полигонных принципов управления [7], анализ эксплуатационных затруднений и взаимозависимости параметров работы полигонов железнодорожной сети при их устранении [8 - 10].

Сайбаталов Рашид Фердаусович

## **МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ЗАТРУДНЕНИЙ В РАБОТЕ ПОЛИГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

---

Подписано в печать

22.01.2021

Формат 60×84 1/16

Тираж 100 экз.

Усл.печ.л 1,2.

Заказ 25.

---

Издательство УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66