

На правах рукописи



Железнов Дмитрий Валерианович

Методология усиления провозной способности железных дорог России в условиях
реформы отрасли

05.22.08 – Управление процессами перевозок

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» на кафедре «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор

Батурин Александр Павлович

Официальные оппоненты:

Кудрявцев Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, кафедра «Управление эксплуатационной работой» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения», профессор.

Годяев Александр Иванович, доктор технических наук, доцент, кафедра «Автоматика и телемеханика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой.

Числов Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Станции и грузовая работа» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «28» мая 2014 года в 13 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 218.005.07 при Московском государственном университете путей сообщения по адресу 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения».

Автореферат разослан «23» апреля 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 218.005.07



Горелик Александр
Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На современном этапе реформирования железнодорожного транспорта после преодоления экономикой страны последствий кризиса возобновился рост объёмов перевозок. Завершено формирование конкурентного сегмента транспортного рынка. Финансовый кризис и последовавшее за ним падение объёмов перевозок обозначили проблему недостатка вместимости сети железных дорог для отстоя вагонов в ожидании погрузки. Беспрецедентный рост вагонного парка, в совокупности с недостатком инвестиций в путевую инфраструктуру, серьёзно снижает маневренность сети.

Преимущественно сырьевой сценарий развития экономики России, её интеграция в мировую экономику, кардинально изменили характер связей между промышленными предприятиями различных регионов. На протяжении не одного десятилетия сеть железных дорог развивалась для обеспечения связей внутри страны. Высокий уровень технического оснащения имеют магистральные направления в центральной части сети, а также линии, связывающие удалённые регионы с центром. Существенно возросли требования к провозным способностям на отдельных направлениях следования экспортных грузов – прежде всего на подходах к портам и пограничным станциям. Невозможность обезличенного управления парками вагонов в современных условиях требует пересмотра подходов к этой проблеме, дальнейшего совершенствования теории, обеспечивающей взаимную увязку развития сети железных дорог и её элементов с потребностями растущей экономики страны.

Всё большие проблемы при пропуске поездов при проведении капитального ремонта пути стали возникать с изменением технологии производства работ, на фоне возрастающего поездопотока. Существенно обострилась проблема, связанная с возрастанием простоев поездов в ожидании пропуска через ремонтируемый перегон. При предоставлении «окон» имеющийся резерв наличной пропускной способности участков зачастую не позволяет пропускать все поезда через ремонтируемый перегон. Необходимо дальнейшее развитие теории эксплуатационной работы в части оптимизации пропуска поездов во время «окон».

Целью диссертационной работы является теоретическое обоснование принципов построения, функционирования и развития системы управления эксплуатационной работой на железных дорогах России в условиях реформы отрасли в части усиле-

ния провозной способности ключевых направлений сети, а также управления парками вагонов различной принадлежности.

Для достижения цели потребовалось решение **задач**:

- анализа текущего состояния вопроса в предметной области и оценки: технического и технологического состояния объектов транспортных систем; своевременности проведения мероприятий по модернизации транспортной системы; сырьевой направленности экономического развития страны и разделения парков на использование провозной способности сети железных дорог; зависимости использования провозной способности полигонов сети от размещения парков; влияния на пропускную способность полигонов сети: летних путевых работ и интервального регулирования движением поездов;
- определения зависимости между возрастающим грузопотоком и уровнем необходимого технического развития отдельных фрагментов сети железных дорог;
- формирования требований к: модернизации транспортной системы с выделением конкретных мероприятий и оценкой их своевременности; уровню провозной способности ключевых сегментов сети железных дорог;
- построения моделей: расчёта нагрузки на элементы сети; определения потребности пунктов погрузки в порожних вагонах;
- создания методик: определения потребности и проведения корректировки спроса пунктов погрузки в подвижном составе с учётом его принадлежности;
- разработки принципов: эффективного управления вагонным парком; организации вагонной биржи; создания экспертной системы для поддержки принятия решений о корректировке спроса в порожнем подвижном составе;
- установления порядка: принятия решения о создании «станции-отеля», предназначенной для ремонта, подготовки и сортировки порожних вагонов вне зависимости от их принадлежности; выбора варианта её компоновки, схемы путевого развития и параметров технического оснащения;
- выработки концепции выбора мест размещения «станций-отелей».

Научная новизна заключается в комплексном рассмотрении на основе системного анализа проблем эксплуатационной деятельности при проведении реформы железных

дорог России, что позволило выявить основные причины исчерпания наличной пропускной способности на отдельных направлениях сети и предложить новые подходы к: планированию перевозок; управлению парками вагонов; распределению погрузочных ресурсов; модернизации сети железных дорог; организации пропуска поездов в период «окон»; системам мониторинга дислокации поездов на диспетчерских участках; определению межпоездного интервала при координатном регулировании движением поездов.

Объектом исследования является работа железных дорог, включая такие области, как:

- планирование, организация и управление транспортными потоками;
- технология транспортных процессов;
- развитие транспортной сети, её структур и линейных предприятий;
- взаимодействие различных видов транспорта, межгосударственное сотрудничество в организации перевозок;
- транспортное экспедирование и сервис.

Предмет исследования – построение, функционирование и развитие системы организации перевозок на железных дорогах РФ в условиях реформы транспортной отрасли, и, в частности, при переходе на использование полностью частного вагонного парка.

Методологическую и теоретическую основу исследования составили научные труды отечественных и зарубежных авторов в области системного анализа и общей теории систем, прогнозирования транспортных потоков, логистики, управления эксплуатационной работой, моделирования процессов функционирования и развития транспортных систем.

Инструментально-методический аппарат. В основу исследования положены методы системного анализа и общей теории систем; теории оптимального управления, вероятности, нечётких множеств, возможностей, массового обслуживания, оптимизации и принятия решений; математическая статистика и корреляционный анализ; математическое и нейросетевое программирование; имитационное и статистическое моделирование. Программный комплекс *STATISTICA Neural Networks*, табличный редактор *MS Excel*, а также компьютерные программы, разработанные автором лично.

Информационно-эмпирическую и нормативно-правовую базу исследования составили: научные источники в виде данных и сведений из книг, журнальных статей, науч-

ных докладов и отчётов, материалов научных конференций, семинаров; статистические источники в виде отечественных и зарубежных статистических материалов, отчётов органов государственной, региональной, ведомственной статистики, материалов разных организаций, фондов, институтов; официальные документы в виде кодексов законов, законодательных и других нормативных актов, в том числе положений, инструкций, докладов, проектов; ресурсы *Internet*, а также научные работы выполненные автором лично.

Достоверность полученных результатов определяется корректностью исходных положений, правильностью математических преобразований и обоснованностью принятых допущений и выбранных показателей. В диссертации были использованы материалы, полученные автором при выполнении фундаментальных, хозяйственных и поисковых НИР, которые прошли экспертизу Министерства транспорта РФ, Министерства образования, науки и молодёжной политики Забайкальского края, Министерства транспорта Иркутской области, Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, ОАО «РЖД» и «ТрансКонтейнер».

Результаты диссертации были использованы при выборе наиболее целесообразных с экономической точки зрения вариантов организации «окон» для производства летних путевых работ на Забайкальской железной дороге. Исследования железнодорожных пограничных пунктов пропуска послужили Министерству транспорта РФ основой для оптимизации их работы. Требования к инфраструктуре терминально-складских комплексов различных типов и метод оценки эффективности инвестиций реализованы при проектировании, строительстве, и организации работы терминала ОАО «ТрансКонтейнер» на станции Забайкальск Забайкальской железной дороги. Действенность метода подтверждена практикой эксплуатации. Предложенная автором модель расчёта нагрузки на элементы сети при прогнозировании стационарных транспортных потоков использована при «Создании транспортной модели Иркутской области» в 2012 г.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что положения, выводы и предложения могут быть использованы: для разработки и совершенствования систем оперативного управления эксплуатационной работой; при проектировании объектов транспортной инфраструктуры, включая терминально-складские комплексы; для совершенствования системы управления вагонными парками; при проектировании и внедрении координатных сис-

тем интервального регулирования движением поездов; при развитии информационных систем оперативного управления перевозками; при планировании летних путевых работ. Реализация базовых положений диссертационной работы позволит повысить провозную способность железных дорог России, как в текущее время, так и в стратегической перспективе.

Личный вклад соискателя. Все результаты теоретических и экспериментальных исследований, приведенные в работе, получены автором самостоятельно. Статьи [10; 13-16; 20; 21; 24; 45-47] опубликованы единолично. В наиболее важных для диссертации работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад заключается в следующем: в монографиях [1 и 2], статьях [4 и 8] выявлены проблемы, возникающие в организации движения поездов в период проведения летних путевых работ и осуществлена постановка задачи исследования; изучен характер задержек поездов в период проведения работ по капитальному ремонту пути; выявлено влияние неравномерности поездопотока на величину дополнительных задержек поездов в период проведения капитального ремонта пути; предложена модель выбора оптимальных параметров «окна». В статьях [3 и 20] предложена классификация моделей распределения порожних вагонов и методика определения и корректировки спроса в погрузочных ресурсах. В статьях [5, 6 и 9] рассмотрены элементы методологии модернизации транспортной системы. В работе [7] предложено рассматривать межпоездной интервал в метрическом измерении, что позволяет построить на этой основе принципиально новый график движения поездов. В работах [11 и 12] предложена модель выбора направления модернизации объекта региональной транспортной системы и выполнена её апробация на конкретном примере.

Апробация диссертации. Результаты исследований по теме диссертации докладывались и получили одобрение на:

– всероссийских научно-практических конференциях «Актуальные проблемы Транссиба на рубеже веков» (Хабаровск, ДВГУПС, 2000); «Проблемы и перспективы развития Транссибирской магистрали в XXI веке» (Чита, 2006); «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (Иркутск, 2009, 2012, 2013);

– международных научно-практических конференциях: «Транссибирская магистраль на рубеже XX-XXI веков: Пути повышения эффективности использования пе-

ревозочного потенциала» (Москва, МИИТ, 2003); «Развитие транспортной инфраструктуры – основа роста экономики Забайкальского края» (Чита, 2008) и «Приграничное сотрудничество: Россия, Китай, Монголия» (Чита, 2009);

– технико-экономических советах: Забайкальской железной дороги «Пути повышения уровня безопасности движения на Забайкальской железной дороге в 2010 году и на среднесрочную перспективу» (Чита, 2010) и Восточно-Сибирской железной дороги «Применение логистики в управлении парками вагонов» (Иркутск, 2012);

– *The Second International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (Irkutsk, 2010)*;

– заседаниях рабочих групп по созданию: транспортно-логистического центра при правительстве Забайкальского края (Чита, 2011) и транспортной модели Иркутской области при Иркутском научном центре СО РАН (Иркутск, 2012-2013);

– заседаниях кафедр «Управление процессами перевозок» Забайкальского института железнодорожного транспорта (Чита, 2000-2012); «Управление эксплуатационной работой» Иркутского государственного университета путей сообщения (Иркутск, 2012); «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (Москва, 2012-2013).

Наиболее важные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Выявленные системные проблемы в сфере организации работы железнодорожного транспорта требуют разработки принципиально новых подходов: при планировании перевозок; моделировании развития сети железных дорог; в управлении парками вагонов; при форсированном использовании пропускной способности в периоды её краткосрочных ограничений или недостатка.

2. Дополнены детерминированные модели развития магистральной транспортной сети, позволяющие учитывать при планировании встречные потоки однородных грузов.

3. Прогнозирование объёмов перевозок грузов предлагается осуществлять с использованием методов теории оптимального управления и математической статистики, с учётом нелинейного характера зависимости от факторов, влияющих на точность прогноза, с разбиением на несколько групп. Выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза о достаточности для

прогнозирования объёмов грузопотоков простейших корреляционных моделей. Определены границы их применимости, описан вид и принципы создания. Предложен механизм усложнения регрессионных алгоритмов за счёт введения в «тело» формулы комплекта независимых переменных различной природы и правила формализации внешних факторов, влияющих на размер грузопотока, для повышения точности прогноза. Доказана возможность применения нейронных сетей для построения краткосрочных прогнозов грузопотоков в оперативной работе железных дорог при использовании базы данных о фактически исполненных перевозках.

4. Доказано, что снижение качества управления работой вагонных парков приводит к росту потребности в порожних вагонах, увеличению времени их оборота, длительным непроизводительным простоям в ожидании технологических операций, и возрастанию нагрузки на наиболее загруженных участках сети: в местах массовой погрузки и на подходах к портам и пограничным станциям. Установлено, что при разработке программных мероприятий по модернизации транспортной системы не учитываются произошедшие изменения, что приводит к недостатку наличных пропускных и провозных способностей на решающих направлениях железнодорожных перевозок. Доказана необходимость повышения наличной пропускной способности отдельных перегонов, участков или полигонов за счёт сокращения межпоездного интервала.

5. Предложен метод определения спроса пунктов погрузки в погрузочных ресурсах, обеспечивающий удовлетворение потребностей всех категорий грузоотправителей, линейных предприятий транспорта и отрасли в целом, в условиях работы парка частных вагонов. Выполнена математическая постановка задачи. Разработан алгоритм формирования обобщённой заявки на порожний подвижной состав по региону управления.

6. Предложено создавать на сети специализированные «станции-отели» для отстоя порожних вагонов в ожидании требования подачи под погрузку. Разработана концепция выбора оптимальных площадок для их размещения на сети. Рассмотрены варианты компоновки и заложены основы аналитического расчёта их параметров.

7. Доказано, что для анализа факторов, оказывающих влияние на величину дополнительных задержек поездов, возникающих при производстве капитального ремонта пути, возможно использование теории корреляционного анализа и методов математической статистики. Выявлено, что, при оценке применимости технологий капитального ремонта пути с устройством

временных блок-постов, необходимо исследование характера изменения потребной и наличной пропускных способностей. Установлена зависимость длины фронта работ и себестоимости выполнения капитального ремонта пути от продолжительности «окна». Разработан метод, позволяющий выбрать оптимальные параметры окна: продолжительность; способ организации пропуска поездов в этот период; мероприятия по усилению пропускной способности перегона.

8. Разработана и экспериментально проверена модель прогноза суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности, с учётом внутрисуточной неравномерности поездопотока. Выведено условие пропуска всех поездов в текущие сутки при закрытии одного из путей двухпутного перегона для производства капитального ремонта без дополнительных мероприятий, направленных на увеличение пропускной способности ремонтируемого перегона. Доказано, что при необходимости проведения мероприятий по увеличению наличной пропускной способности, а также выборе способа организации поездной работы и продолжительности «окна» следует учитывать зависимость длины фронта работ и себестоимости выполнения капитального ремонта пути.

9. Выявлена избыточность ограничений, накладываемых на величину межпоездного интервала со стороны перегонных систем автоматической блокировки, что приводит к занижению уровня наличной пропускной способности. Выявлены предпосылки для реализации на практике систем интервального регулирования движением на основе координатного позиционирования поездов и использования цифровых моделей пути и поезда. Предложенная модель представления динамических объектов позволяет описывать динамику перемещения по сети железных дорог поездов любых категорий. Возможно существенное упрощение модели, что значительно расширяет круг решаемых с её помощью задач эксплуатации железных дорог.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 48 печатных работ, в том числе 2 монографии, 14 работ – в рецензируемых ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка использованной литературы из 248 источников. Работа изложена на 302 страницах основного текста и 9 страницах приложений. Основная часть содержит 59 рисунков, 45 таблиц и 141 формулу.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Во введении: обоснована актуальность темы диссертации; выполнена оценка степени разработанности проблемы; сформулированы цель и задачи исследования; определены объект и предмет, методологическая, теоретическая и эмпирическая базы исследования; изложены элементы научной новизны и представлены их обобщения, характеризующие теоретическую и практическую значимость исследования.

В первой главе выполнен анализ проблем эксплуатации железных дорог, связанных с недостатком провозной способности в условиях реформирования отрасли. Выявлена главная причина её возникновения – несоответствие уровня развития сети федеральных железных дорог, законодательных основ организации процесса перевозок и управления парками вагонов, перемещающимися по сети. Структура диссертационного исследования приведена на рисунке 1.



Рисунок 1. Структура диссертационного исследования

Проведённый обзор научных исследований по вопросам модернизации транспортной системы показал, что недостаточные наличная пропускная способность решающих направлений транспортировки и перерабатывающие способности технических станций, а также избыток вагонных парков – следствия неэффективной стратегии развития железнодорожного транспорта в период после распада СССР. Общие принципы развития транспортной системы были сформулированы в трудах отечественных

учёных: А.Э. Александрова, В.И. Апатцева, Н.Н. Баркова, А.П. Батурина, И.В. Белова, А.Ф. Бородина, В.Г. Галабурды, А.Е. Гибшмана, Н.Н. Громова, С.В. Дувальяна, Ю.В. Дьякова, Ю.И. Ефименко, Л.В. Канторовича, А.Б. Каплана, Г.Н. Ковшова, Б.С. Козина, И.Т. Козлова, П.А. Козлова, Г.П. Кобылковского, Л.И. Колесова, В.А. Кудрявцева, А.П. Кузнецова, Ю.Д. Кузнецова, В.Н. Лившица, Б.Ю. Левита, А.М. Макарошкина, В.Н. Образцова, В.А. Персианова, В.И. Петрова, В.В. Повороженко, Э.И. Позамантира, С.М. Резера, И.И. Сидорова, К.Ю. Скалова, Н.С. Ускова, Г.И. Черномордика, О.Н. Числова, В.А. Шарова, Б.И. Шафиркина.

В трудах зарубежных учёных также неоднократно предлагались пути оптимизации развития транспортных систем. Подходы существенно различаются в зависимости от типов структур экономик государств. Наиболее интересны для настоящего исследования работы учёных: Р.Т. Вонга, В. Кристаллера, Т.Л. Маньянти, Г. Поттгоффа, К.Ю. Рихтера, П.А. Стенбринка, Л. Столерю, И.Г. Тюнена, Ф. Хейта, Дж. Шапиро.

Обзор методов прогнозирования транспортных потоков показал, что эта область прогностики мало изучена. Большинство работ специалистов транспорта не отличается глубиной проработки, нося прикладной характер. На этом фоне особняком стоят работы таких учёных как: А.Б. Барский, М.Н. Беленький, П.А. Дармоян, В.Я. Дыканюк, С.С. Жабров, Г.А. Заблоцкий, М.И. Загордан, Ф.П. Кравец, А.П. Кузнецов, Н.Г. Кучевский, В.Я. Негрей, В.А. Персианов, Н.В. Правдин, Л.П. Тулупов.

Системный анализ внешних связей транспортных систем показал, что на формирование грузопотоков оказывают влияние значительное количество факторов, а время лишь удобная для восприятия ось, на которую проецируются влияния. Отказаться в полной мере от такого подхода нельзя, но, однако, следует признать такой подход излишне механистическим.

В настоящее время самым перспективным количественным методом прогнозирования является использование нейронных сетей (*neural network*). Этот аппарат при прогнозировании потоковых процессов открывает большие возможности в оперативной работе железных дорог, позволяя с высокой точностью делать прогнозы на сутки, смену, четырёхчасовые периоды, вплоть до одного часа. Меньшие временные интервалы подвержены серьёзному влиянию неравномерности, характер которой требует изучения для каждого участка транспортной сети.

Анализ научных исследований по вопросам управления вагонными парками выявил, что проблемы в управлении парками порожних вагонов возникали на разных этапах развития железных дорог, при этом всегда учёные-транспортники видели серьёзный резерв снижения транспортных издержек грузовладельцев и эксплуатационных расходов железных дорог в сокращении порожнего пробега. Этим задачам отведено большое место в исследованиях таких учёных, как А.П. Абрамов, А.А. Аветикян, В.И. Балч, В.И. Васильев, Е.А. Ветухов, Б.А. Гершкович, В.Ф. Гречанюк, Г.М. Грошев, П.С. Грунтов, И.Г. Казовский, В.А. Кудрявцев, П.В. Куренков, Х.М. Лазарев, Е.И. Мокршицкий, С.Ф. Начученко, А.Т. Осьминин, В.В. Повороженко, Е.С. Сергеев, А.А. Смехов, Л.А. Степанов, Г.В. Тарунин, С.Г. Тихомиров, А.К. Угрюмов, М.И. Шмулевич, Е.П. Юшкевич и др.

С новой силой проблема качественного управления вагонными парками, снижения нагрузки на сеть железных дорог от перемещений избыточного парка встала после появления независимых компаний на рынке операторских услуг. Накопленные знания в разделе управления парками грузовых вагонов теории эксплуатационной работы железных дорог зачастую неприменимы в чистом виде и нуждаются в существенных дополнениях, отражающих специфику текущего положения дел в отрасли. В современных экономических реалиях особо актуальной становится задача распределения порожнего подвижного состава по пунктам погрузки. Сегодня отправитель может требовать от перевозчика обеспечения своих потребностей вагонами конкретного оператора. Поэтому задача распределения серьёзно усложняется: необходимо корректировать спрос на погрузочные ресурсы с учётом его приоритетов.

Анализ провозной способности сети железных дорог в условиях работы парка частных вагонов выявил, что общая протяженность «узких мест» на сети железных дорог оценивается в 6,1 тыс. км, и, как правило, расположены они на самых грузонапряжённых участках, которые являются частью основных маршрутов перевозки массовых грузов. Большое внимание повышению провозной способности в современных условиях уделено в работах таких транспортных учёных, как: А.А. Абрамов, В.И. Апатцев, А.П. Батулин, А.Ф. Бородин, Г.М. Грошев, В.Г. Дегтярёв, Ю.И. Ефименко, А.В. Дмитренко, С.Ю. Елисеев, В.И. Ковалёв, В.А. Кудрявцев, А.Т. Осьминин, Д.Ю. Левин, Ф.С. Пехтерев, Е.А. Сотников, И.Н. Шапкин, В.А. Шаров и др.

Экспортный потенциал промышленности упирается в ограниченные пропускные способности железнодорожных подходов к портам. Отсутствие прогнозов темпов развития азиатских рынков привело к тому, что железные дороги оказались не готовы к увеличению объёмов перевозок в этом направлении. Из-за недостаточной развитости железнодорожной инфраструктуры наблюдаются длительные простои вагонов в станционных парках в припортовых районах, задержки поездов на подходах. Железнодорожная инфраструктура, и, прежде всего путевое развитие станций, оказались не способны обеспечить растущий спрос на перевозки. На сети не хватает путей отстоя, обработки и формирования порожних маршрутов. Образуются очереди на подходах к пунктам погашения вагонопотоков, возросли сроки доставки грузов. В пиковые периоды предъявления груза к перевозке, либо при неблагоприятных погодных условиях, на подходах к портам образуются «заторы».

Переход на работу с частным вагонным парком негативно отразился на эффективности всей системы управления перевозками. Отсутствие на подходах к портам сортировочных мощностей, ориентированных на обработку порожнего вагонопотока, практически исключает возможность формирования маршрутов из порожних вагонов, создавая дополнительную нагрузку на технические станции самых грузонапряжённых участков.

Пропуск поездов при проведении работ по капитальному ремонту пути также оказывает негативное влияние на организацию эксплуатационной работы железных дорог. Рост массы и длины поездов требует совершенствования путевой инфраструктуры, что в условиях роста грузонапряжённости приводит к усложнению регламентов работ по капитальному ремонту, увеличению длительности «окон», которые вызывают дополнительные задержки поездов. Определению их характера отведено большое место в исследованиях таких учёных, как В.Г. Альбрехт, А.В. Дмитренко, Ю.В. Дьяков, А.Д. Каретников, М.Ф. Климов, А.Л. Мельник, В.И. Уманский, В.В. Яхимович и др.

Дополнительные простои поездов, как правило, связаны с недостатком пропускной способности перегонов и участков. Большой вклад в этой области внесли исследования таких учёных, как: А.П. Батуринов, К.А. Бернгард, А.И. Богачёв, Н.А. Воробьёв, Ю.В. Дьяков, А.Д. Каретников, М.Ф. Климов, В.Е. Козлов, Ф.П. Кочнев, А.М. Макарошкин, В.М. Максимович, А.Л. Мельник, И.Г. Тихомиров, В. Хофманн, В.А. Шаров, В.П. Ярошевич и др.

Существенный вклад в решение проблемы отыскания оптимальной продолжительности «окна» внесли: В.Г. Альбрехт, В.И. Ангелейко, Ю.А. Антонов, А.И. Богачёв, А.В. Дмитренко, В.С. Зиньковский, А.Д. Каретников, П.Л. Клауз, М.Ф. Климов, П.И. Колесников, Н.П. Кондаков, И.Б. Лехно, А.Л. Мельник, А.В. Рябой, И.Г. Тихомиров, К.К. Тихонов, В.И. Уманский, В.Л. Феоктистов, В.Я. Шульга и др.

Анализ внедрения на наземном транспорте геоинформационных технологий, принципиально меняющих качество и сущность управления, показал, что в полной мере не удаётся реализовать перспективы без разработки концепции виртуальных железных дорог на основе цифровых моделей путевого развития. Большой вклад в процесс их создания внесли: – в области геодезии на железнодорожном транспорте (Г.С. Бронштейн, В.А. Коугия, С.И.Матвеев, У.Д. Ниязгулов, М.Н. Садакова и др.) в области математической картографии (Ф.Н. Красовский, В.В. Каврайский, Н.А. Урмаев, М.Д. Соловьёв, Г.А. Гинзбург, Л.А. Вахрамеева, Г.А. Мещеряков, Г.И. Конусова, Л.М. Бугаевский, А.М. Портнов и др.); в области геоинформационных систем (А.В. Кошкарёв, С.И. Матвеев, Е.Н. Розенберг, И.Н. Розенберг, В.С. Тикунов, В.Я. Цветкова и др.); в области проектирования железнодорожного пути (Ю.А. Быков, В.В. Виноградов, Б.Н. Веденисов, Г.Г. Кожилин, Г.М. Шахунянц, Т.Г. Яковлева и др.); в области компьютерного проектирования железнодорожных станций (С.П. Вакуленко, А.К. Головнич, Ю.И. Ефименко, А.Т. Осьминин, Н.В. Правдин, О.Н. Числов, В.Г. Шубко и др.).

Во второй главе разработана методология модернизации транспортной системы. Её внешние связи можно разделить на четыре крупных блока: государственное регулирование в сфере транспорта со стороны органов исполнительной и законодательной власти; взаимодействие с пользователями транспортных услуг (грузовладельцами и пассажирами); интеграция с мировой транспортной системой; отношения с поставщиками любых типов (энерго- и топливоснабжающие компании, металлургические, шпалопропиточные и стрелочные заводы и т.д.).

Многие из своих потребностей транспортная система удовлетворяет за счёт внутренних ресурсов, к которым следует отнести взаимоотношения между: участниками процесса перевозок; владельцами основных фондов и компаниями-перевозчиками,

операторами подвижного состава и экспедиторами; предприятиями транспортного машиностроения, поставщиками оборотных средств и услуг, строительными и проектно-изыскательскими учреждениями транспортной отрасли и т.д.

На современном этапе серьёзно усложнилась система взаимоотношений между участниками транспортного процесса, появилось значительное количество новых классов субъектов: перевозчики, операторские, логистические и экспедиторские компании. Пути совершенствования управления транспортным процессом, традиционно применяемые на железных дорогах, в современных реалиях зачастую либо неприменимы, либо малоэффективны. С позиций экономики главная задача транспорта остаётся неизменной – обеспечение потребностей хозяйствующих субъектов, государства и физических лиц в перевозках при их минимальной стоимости. В то же время независимые участники транспортного процесса заинтересованы, прежде всего, в получении прибыли, а ОАО «РЖД» как государственная корпорация, не может произвольно определять стоимость своих услуг, которые находятся под тарифным регулированием. Необходимо завершение реформы – устранение монопольного сегмента транспортного рынка. С одной стороны, это уравнивает всех участников транспортного процесса в правах, с другой, вынудит транспортные компании добиваться роста рентабельности путём снижения издержек.

В современных реалиях заметно ниже качество использования подвижного состава: значительно выше доля порожнего пробега вагонов; больше время их оборота; существенно возрос простой вагона в ожидании погрузки. Всё это – следствие отказа от централизованного обезличенного управления парками вагонов. Неэффективное использование вагонов увеличивает потребность в их парке, что благоприятно для транспортного машиностроения, но малоуправляемый рост вагонного парка создаёт избыточную нагрузку на транспортную инфраструктуру. В наибольшей степени страдают самые нагруженные участки сети – на подходах к местам выгрузки и в районах массовой погрузки. Необходимо создание системы управления вагонными парками в новых условиях. Требуется новых подходов и проблема развития транспортной инфраструктуры – темпы усиления её мощности должны быть существенно выше.

Модели развития магистральной транспортной сети, традиционно применяемые

на транспорте для решения задач стратегического управления, нуждаются в дополнении. Существует три класса такого рода моделей: статистическая с дискретно-непрерывными переменными; динамические с дискретно-непрерывными и непрерывными переменными. В каждой из них присутствует обобщённая матрица инцидентий:

$$S_p = \|S_{ijl}\|, \quad (1)$$

где i и j – вершины сети;

l – поток грузов одного наименования, причём $l = \{\overline{1, p}\}$.

Такой подход, при выполнении условия $i < j$, позволяет при определении суммарных потоков однородных грузов сокращать объёмы перевозок за счёт исключения встречных перевозок. При этом каждая дуга сети в матрице инцидентий представлена только один раз. При плановой экономике это было естественным требованием оптимизации. В современных условиях государство не может диктовать участникам транспортного рынка куда можно, а куда нельзя везти те или иные грузы. Как следствие, сами потоковые процессы перестают быть детерминированными в значительной степени. Возникновение встречных потоков грузов приводит к дополнительной нагрузке на транспортную сеть. В одних точках возникают дефицит (недостаток), в других профицит (избыток) грузов категории l . В местах избытка потребительских товаров отдельных видов возникают бифуркации, инициирующие рыночные процессы и заставляющие их участников адаптироваться к изменившимся условиям. Ситуация нестабильности не может разрешаться мгновенно, вследствие запаздывания принятия регулировочных мер, т.е. сброса избытка из узла с профицитом. В условиях когда собственниками грузов являются разные компании, ситуация может быть и не проанализирована вовсе, и даже в случае обнаружения профицита грузовладельцы могут избирать различные рыночные стратегии: ожидания действий со стороны конкурентов; снижение цены реализации; запрет на реализацию и создание запаса; и наконец, организация перевозки в узлы с дефицитом. Причём в последнем случае вовсе не обязательно будет выбрано оптимальное направление перевозки. Описанные процессы и модели поведения участников транспортного процесса приводят к избыточной нагрузке на сеть, которая на протяжении не одного десятилетия формировалась в системной увязке с оптимизированными потребностями

экономики. Рассмотренные модели вполне применимы и в современных реалиях при внесении незначительных уточнений. Так, при формировании матрицы инцидентий (1) должно выполняться условие $i \neq j$. Каждая дуга сети в этой матрице представлена два раза: от i к j , и в обратном направлении. Значение каждого элемента определяется двоичной функцией, задаваемой булевой переменной:

$$S_{ijl} = \begin{cases} 1, & \text{если по дуге следует груз типа } l; \\ 0, & \text{при отсутствии грузопотока типа } l. \end{cases} \quad (2)$$

Развитие магистральной сети железных дорог должно базироваться на качественном прогнозе грузопотоков. Предлагается осуществлять его с использованием методов теории оптимального управления и математической статистики. Объёмы грузов (Q), предъявляемые отправителями к перевозке, колеблются в значительных пределах. На точность прогноза существенное влияние оказывает нелинейный характер зависимости функции от целого ряда факторов, которые могут быть разбиты на несколько групп. Следует объединять сильно коррелирующие друг с другом факторы. К такого рода группам могут быть отнесены: технико-технологические факторы (T); производственные факторы (P); сырьевые факторы (S); политические факторы (L); баланс торговых отношений (B); конъюнктура мирового рынка (K).

Функциональная зависимость может быть представлена в виде:

$$Q = f(T, P, S, L, B, K). \quad (3)$$

Целенаправленное функционирование транспортной системы по своей природе многокритериально, поэтому построение прогнозной модели, учитывающей влияние всех групп факторов очень сложно, требует длительного сбора информации из большого количества независимых источников. Для практических целей более применимы грубые модели. При стабильном политическом положении; планомерном развитии экономики нашей страны и соответствующего торгового партнера; неизменной ситуации на мировом сырьевом рынке для прогнозирования могут быть применены простейшие (наивные) корреляционные модели:

$$Q = f(t), \quad (4)$$

где t – временной интервал, годы.

Функция $f(t)$ – динамический временной ряд, может быть определена путём оп-

ределения коэффициентов регрессии a_0 и a_1 уравнения вида:

$$f(t) = a_0 + a_1 * t. \quad (5)$$

Иными словами, простейшие корреляционные модели применимы на временных интервалах, в течение которых не происходит революционных изменений ни по одной из групп факторов. Проверка силы корреляционных связей позволяет получить значение коэффициента корреляции, который характеризует силу взаимосвязи между двумя свойствами. При стабильной экономической и политической ситуации в странах-партнерах, объёмы внешнеторговых перевозок имеют тенденцию к росту. Хорошо описывала процесс роста грузопотоков в сообщении между Россией и Китаем в докризисный период корреляционная модель со следующими параметрами:

– по импорту:

$$Q_{имп} = -196\,361,44 + 98,36 * t, \quad (6)$$

– по экспорту:

$$Q_{эксп} = -3\,032\,825,36 + 1\,519,04 * t. \quad (7)$$

Полученные значения справедливы при неизменных внешних факторах T , P , S , L , B и K . Характер влияния факторов этих групп существенно различается. Так, например, влияние факторов L и K всегда носит дискретный характер, т.е. при изменении этих параметров происходит нелинейное изменение объёмов перевозок. Остальные факторы по своей природе не могут привести к нелинейным скачкам. Влияние их не очень велико, тем не менее, применимость моделей вида (5) достаточно высока. Например, после выхода мировой экономики из кризиса происходит планомерное увеличение грузопотоков. Для оценки его динамики достаточно 3-6 месяцев наблюдений. Расчёт коэффициентов линейной регрессии позволяет получить новые параметры формул (6) и (7). Простота модели позволяет легко корректировать коэффициенты регрессии a_0 и a_1 при получении информации о фактических размерах грузопотоков. Возможно усложнение регрессионного алгоритма за счёт введения в «тело» формулы комплекта независимых переменных, от которых она зависит – T , P , S , L , B и K . Их природа различна, поэтому важно правильно формализовать все внешние факторы, от которых может зависеть размер грузопотока, в

числовую форму. Для каждого из параметров необходим коэффициент регрессии, который должен иметь размерность для отражения в единицы измерения потока. Факторы, имеющие дискретный характер, должны дополняться булевыми переменными. Таким образом, модель теряет «примитивизм», но становится менее удобной в работе.

Для оценки своевременности проведения мероприятий по модернизации транспортной системы предложен метод определения загрузки элементов сети. На основе прогноза транспортных потоков её можно определить в будущем разной степени отдаления. С этой целью формализуется модель расчёта нагрузки на элементы сети. Пусть i и j , соответственно, станции, осуществляющие погрузку и выгрузку. Причём $i, j \in \{N\}$, где N – множество всех станций сети. Тогда приняв за k индекс номенклатурной группы груза можно описать многопродуктовую модель стационарных транспортных потоков в форме трёхмерного массива:

$$S_{ijk} = \|s_{ijk}\|, \text{ где } i \neq j; i, j \in \{\overline{1, n}\}, k \in \{\overline{1, m}\}. \quad (8)$$

При рассмотрении однородных транспортных потоков модель можно упростить до двумерного массива:

$$S_{ij} = \|s_{ij}\|, \text{ где } i \neq j; i, j \in \{\overline{1, n}\}. \quad (9)$$

Параметр k может использоваться для описания принадлежности приватного вагона с использованием соответствующего классификатора. В этом случае, например, при решении задачи регулирования парков порожних вагонов, можно легко переходить к обезличенной регулировке проведя простую транзакцию:

$$s_{ij} = \sum_{k=1}^m s_{ijk}, \text{ где } i \neq j; i, j \in \{\overline{1, n}\}. \quad (10)$$

Под грузопотоком следует понимать перемещение грузовой массы между пунктами отправления и назначения. При их прогнозировании рассматривают какой-то временной отрезок: месяц, квартал, сезон, год и даже более длительные периоды. При этом пульсацией потока пренебрегают, считая его равномерным на весь период прогноза. Грузопоток реализуется через перевозки, каждая из которых имеет временную привязку. Размер партии груза, перевозимой за одну перевозку, определяет пульсацию потока.

При прогнозировании грузопотоков следует принять допущения: отсутствует пуль-

сация, т.е. поток равномерно истекает из пункта отправления i , следует по рёбрам маршрута и прибывает в пункт назначения j ; периоды возрастания нагрузки от реализации потока на сеть и затухания пренебрежительно малы по отношению к длине периода прогнозирования, поэтому нагрузка на сеть принимается равномерно распределённой:

$$s_{ijk} = \frac{Q_{ijk}}{T}, \quad (11)$$

где: Q_{ijk} – поток груза k , следующий из пункта отправления i в пункт назначения j , за период планирования T .

При продвижении из пункта отправления i в пункт назначения j грузопоток создаёт нагрузку на направленный набор рёбер и вершин сети l_{ij} , расположенных по маршруту следования. Существует уникальный маршрут следования для каждого грузопотока $Q_{ij} > 0$, длина которого минимальна. Тогда для каждого Q_{ij} из всех возможных маршрутов l_{ij} существует:

$$L_{ij} = \min \|l_{ij}\|, \text{ где } i \neq j. \quad (12)$$

Если известны длины всех существующих рёбер сети, то длину маршрута можно определить как сумму произведений длин рёбер сети на соответствующие им булевы переменные b_{ij} :

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при включении ребра в маршрут;} \\ 0, & \text{при исключении из маршрута.} \end{cases} \quad (13)$$

Тогда каждому маршруту L_{ij} будет соответствовать:

$$L_{ij} = \|d_{ij} * b_{ij}\|, \quad (14)$$

где: d_{ij} – рёбра, действительно существующие на сети.

Предложенный подход позволяет аналитически определить требуемую пропускную способность для любых фрагментов сети, как простых – вершин и рёбер, так и более сложных – полигонов. В последнем случае пропускная способность определяется по простому элементу полигона, имеющему наибольшую загрузку. Для каждого из действительных рёбер можно определить его загрузку, зная все грузопотоки для сети. Существуют также нормированные загрузки, когда к учёту принята лишь часть грузопотоков, например, только

одной номенклатурной группы. Это удобно при анализе для установления тенденций. При известном прогнозе грузопотоков на период планирования можно рассчитать требуемую пропускную способность для каждого из элементов сети. Такой подход позволяет научно обосновывать временную привязку мероприятий по наращиванию мощности сети.

В третьей главе разработаны базовые положения модели обезличенного управления парками частных вагонов. Произведена оценка влияния на требуемую пропускную способность участков сети железных дорог от перехода на использование в грузовых перевозках частного вагонного парка. Выявлены её ограничения на основных направлениях перевозок экспортных грузов. Доказана необходимость снижения на сеть нагрузок от избыточных парков вагонов.

Предложена модель управления парками частных вагонов в современных условиях на условиях его добровольной централизации. В качестве оперативной меры, позволяющей централизовать парк, предлагается создание вагонной биржи на разработанных принципах обезличенного использования вагонов. Предложен механизм организации биржевых процессов.

Для повышения качества работы операторской компании предлагается перейти к управлению грузопотоками. Его можно осуществить, реализовав концепцию поструйного управления. Суть такого подхода состоит в выделении кластера погрузки в регионе перевозок в качестве объекта планирования. Идея состоит в организации закольцованного курсирования определённого парка вагонов внутри региона перевозок. Выделяются «пучки» струй, следующих в направлении региона выгрузки. В современных условиях это, как правило, либо порты, либо пограничные передаточные станции, реже крупные предприятия перерабатывающей промышленности. Расстояние перевозки при этом может быть значительным. Объектом управления логистов и диспетчеров операторской компании становится маршрут, показателем эффективности – время оборота вагонов на маршруте. Формирование технологии поструйного управления следует начинать с анализа ежемесячной погрузки в кластерах. Если доказана стабильность объёмов и наблюдается ритмичность формирования партий груженых вагонов, то следует рассчитать периодичность формирования маршрутных поездов. При проведении анализа выделяются, в соответствии с принципом Парето, крупнейшие отправители, обеспечивающие сово-

купно не менее 80% грузопотока на рассматриваемом полигоне. Если есть устойчивый встречный грузопоток совместимого груза в рамках одного региона перевозок, то пункты его назначения включаются в кластер. Выполняется расчёт требуемого парка, привязываемого к полигону, который регулярно пересматривается на основании прогнозов грузопотока и складывающихся параметров эксплуатационной работы по каждому из маршрутов. Определяется порядок формирования маршрута, для чего изучаются технологические возможности путей общего и необщего пользования на станции погрузки. При отсутствии достаточной ёмкости для формирования маршрутных поездов их организация возможна только при снижении нагрузки на инфраструктуру от других перевозок, что потребует дополнительных затрат от перевозчика. Выгода от организации кольцевых маршрутов очевидна как для оператора, так и для перевозчика. Маршруты следует пропускать по твёрдым ниткам графика, что позволит резко повысить детерминированность подвода порожняка в регион погрузки, с одной стороны, а с другой гарантированно выполнять обязательства перед грузовладельцами по срокам доставки.

В четвёртой главе рассмотрена методология определения потребности пунктов погрузки в подвижном составе с учётом их принадлежности и пригодности. С её использованием разработана система поддержки принятия решений о распределении порожних вагонов.

При обращении на сети железных дорог избыточного парка грузовых вагонов, принадлежащих различным собственникам, задача минимизации порожнего пробега имеет огромное значение, ибо без принятия регулировочных мер лавинообразно возрастает нагрузка на сеть. При этом её решение кардинально отличается от канонического случая, при котором не принимается во внимание принадлежность вагонов. Определение потребности пунктов погрузки в подвижном составе с учётом принадлежности вагонов и пригодности под погрузку включает в себя два последовательных этапа: определение спроса пунктов погрузки и его корректировку. Спрос определяется на основе месячных планов с учётом прогноза использования подвижного состава, освобождающегося после выгрузки. Обобщённым критерием оптимальности для любого региона управления является минимум суммарных приведённых затрат. В стоимостном выражении он может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned}
R^* = \min_{y_{ijk}} & \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n z_{ijk}(y_{ijk}) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m q_{ij}' * \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right) * U \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right) + \\
& + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m q_{ij}'' * \left(S_{ij} - \sum_{k=1}^n y_{ijk} \right) * U \left(S_{ij} - \sum_{k=1}^n y_{ijk} \right),
\end{aligned} \tag{15}$$

где $z_{ijk}(y_{ijk})$ – затраты на удовлетворение спроса на порожние вагоны типа i пункта потребления j за счёт ресурса пункта-поставщика k с учётом затрат на транспортировку, руб.;

y_{ijk} – количество вагонов типа i , направляемых из пункта k в пункт j ;

q_{ij}', q_{ij}'' – потери в денежном выражении, если величина выделенного ресурса типа i пункту потребления j , соответственно, больше или меньше спроса, руб./ваг.;

S_{ij} – реальный спрос на порожние вагоны типа i пункта погрузки j , ваг.;

$U \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right)$ – единичная функция вида:

$$U \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right) = \begin{cases} 0, & \text{при } \sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \leq 0; \\ 1, & \text{при } \sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} > 0. \end{cases} \tag{16}$$

Первое слагаемое формулы (15) – затраты на удовлетворение спроса на порожние вагоны пункта потребления j за счёт ресурсов пунктов-поставщиков i с учётом затрат на транспортировку. Второе – потери от превышения выделенного ресурса реальной потребности. Третье – недополучение доходов от перевозки непринятого груза, а также штрафные санкции, налагаемые на перевозчика за невыполнение плана подачи вагонов под погрузку.

Проведение корректировки спроса пунктов погрузки, есть решение задачи поиска такого его значения, при котором приведённые затраты минимальны, а получаемая прибыль всех участников транспортного процесса максимальна. Между этими критериями существует сложная неформальная зависимость, поэтому применение традиционных методов не даёт требуемых результатов. В работе предложен новый метод проведения корректировки спроса в погрузочных ресурсах. В его основе – методы теорий принятия решений, возможностей и нечётких множеств. Для выполнения корректировки потребности станций в порожнем подвижном составе нужно для каждой из них дать оценку соответствия реального и заявляемого отправите-

лями спроса по экономическим и техническим показателям. Для этого требуется оценить вариант распределения порожних вагонов с помощью выбранных критериев. Цель этого этапа – определение степени соответствия заявляемых ресурсов и реальной потребностью, т.е. определение для каждого j -го пункта погрузки и i -го типа вагонов такого S_{ij}^* , для которого выполняется условие (15), т.е. совокупные затраты всех участников минимальны. Значения S_{ij}^* определяются на основе данных о спросе S_{ij} каждого j -го пункта погрузки за предшествующий планированию период времени T , с помощью предложенного набора критериев.

Пусть Ω – множество станций из j элементов, которые требуется классифицировать с учётом множества критериев C . Число объектов является конечным и определяется реальным числом станций, осуществляющих погрузку в вагоны i -го типа. Отдельная целевая функция рассматривается как некоторое нечёткое множество, ограничивающее допустимое значение соответствующего критерия. X_k – область, в которой оцениваются объекты по критерию $C_k \in C$. Оценки объектов по каждому критерию C_k могут быть представлены посредством отображений m_k из множества Ω в множество X_k . Целевая функция, связываемая с критерием C_k , будет описываться нечётким множеством G_k , определённым на X_k , причём $\forall x \in X_k$ величина μ_{G_k} есть степень совместимости между значениями оценки x , характеризующей некоторый объект, и желанием лица, принимающего решение. Ядро нечёткого множества G_k соответствует оценкам, полностью совместимым с целью. В свою очередь, оценки, расположенные вне носителя нечёткого множества G_k , оказываются полностью несовместимыми с целью. Оценка μ_{G_k} может не быть точной. Для выявления индивидуальных особенностей предпочтений лица, принимающего решение, удобно пользоваться дискретной шкалой предпочтений, содержащей 5-7 уровней в зависимости от порога восприятия лица, принимающего решение и требуемой точности в вычислениях. Самый простой способ состоит в лингвистическом выражении уровня совместимости между оценкой и целью, и отображением этих уровней на $[0, 1]$. Зная целевую функцию G_k и критерий C_k , можно судить о совместимости каждого объекта $\omega_j \in \Omega$ с целью G_k с помощью функции принадлежности μ_k , определяемой в виде:

$$\mu_k(\omega_j) = \mu_{G_k}(m_k(\omega_j)) \quad (17)$$

При проведении экспертной оценки пунктов погрузки выделяются три группы критериев: количественные, маркетинговые и качественные. Методом парных сравнений определяется вес каждого из критериев, а также вес групп. Определяются такие приоритеты r пунктов погрузки, для которых выполняется условие:

$$\exists \omega_r \in \Omega, \quad \mu_D(\omega_1) \geq \mu_D(\omega_2) \geq \dots \geq \mu_D(\omega_j), \quad r = \overline{1, m}. \quad (18)$$

С этой целью на первом этапе для каждого из C_k критериев строится оценочный функционал G_k , целью которого является нахождение максимального по этому критерию из множества Ω :

$$G_k(\omega_j) \rightarrow \max_{\omega_j \in \Omega}. \quad (19)$$

Значение ω_j , для которого реализуется условие (19) для критерия C_k обозначается через ω_{k0} . Степень принадлежности элемента ω_{k0} нечёткому множеству G_k обозначается $\mu_{G_k}(\omega_{k0})$ и принимается условие:

$$\mu_{G_k}(\omega_{k0}) = 1. \quad (20)$$

Все станции ω_j , для которых выполняется условие (20), составляют ядро нечёткого множества G_k , обозначаемое \tilde{G}_k , и характеризуют предельные возможности станций по критерию C_k . Те ω_j , для которых степень принадлежности к нечёткому множеству G_k принимает ненулевое значение, составляют множество, называемое носителем нечёткого множества G_k , и обозначается $S(G_k)$:

$$S(G_k) = \{ \omega_j \in \Omega \mid \mu_{G_k}(\omega_j) > 0 \}. \quad (21)$$

И, наконец, те станции ω_j , для которых функционал G_k принимает минимальное значение:

$$G_k(\omega_j) \rightarrow \min_{\omega_j \in \Omega}, \quad (22)$$

обозначаются ω_{k1} , и получают нулевое значение степени принадлежности к нечёткому множеству G_k :

$$\mu_{G_k}(\omega_{k1}) = 0. \quad (23)$$

Следующим этапом является точное определение значения функции принадлежности к нечёткому множеству G_k для каждой станции $\omega_j \in \Omega$:

$$\mu_{G_k}(\omega_j) = \frac{\mu_{G_k}(\omega_j) - \mu_{G_k}(\omega_{k1})}{\mu_{G_k}(\omega_{k0}) - \mu_{G_k}(\omega_{k1})}. \quad (24)$$

Эти операции выполняются для всего множества C критериев. Следующим шагом является нахождение отображения h из $[0,1]$ ¹² в $[0,1]$, что достигается путём свёртывания критериев посредством их взвешивания. Таким образом, для каждой из станций $\omega_j \in \Omega$, определяется степень её принадлежности к нечёткому множеству D станций, требующих выделения вагонов под погрузку. И, наконец, последним шагом методики является определение приоритетов r станций $\omega_j \in \Omega$ в соответствии с условием (18).

В пятой главе рассмотрена провозная способность сети железных дорог в условиях работы парка частных вагонов. Последствия неэффективного управления вагонным парком проявляются: в избыточной нагрузке на сеть железных дорог; росте потребной пропускной способности на ключевых направлениях транспортировки грузов; недостаточной вместимости путей общего пользования в местах массовой погрузки и выгрузки. Рационализация соотношения вагонных парков и вместимости путей позволяет избежать избыточных инвестиций в путевую инфраструктуру и определяет требования к качеству организации эксплуатационной работы на всех уровнях – от грузового фронта до полигонов и даже всей сети в целом.

Накопление избыточных вагонных парков на ряде полигонов сети в последние годы систематически вызывает затруднения в поездной и грузовой работе. В период интенсивного роста грузовых перевозок это приводит к обострению дефицита погрузочных ресурсов для удовлетворения заявок отправителей, вследствие затруднений в подводе порожних вагонов к пунктам погрузки. При спаде объёмов погрузки нахождение на сети невостребованных порожних вагонов приводит к многочисленным нарушениям взаимодействия работы станций и участков, потерям пропускной способности и дополнительным эксплуатационным расходам. Требуется планомерное усиление мощности отдельных направлений и полигонов сети на длительную перспективу. Развитие инфраструктуры по точечным направлениям позволит существенно повысить эффективность инвестиций, направляемых на её усиление. Остро необходимы на сети пункты отстоя вагонов, по крайней мере, в некотором удалении от мест массовой выгрузки. Создание на малодеятельных направлениях и участках «станций-отелей», предназначенных для передислокации на них для отстоя «лишних» вагонов, снимет избыточ-

ную нагрузку на перегруженные узлы и участки инфраструктуры. Плата за отстой вагонов позволит поддерживать инфраструктуру малодеятельных участков и станций сети, компенсировать эксплуатационные затраты, которые вынужден нести владелец инфраструктуры.

В шестой главе рассмотрено увеличение вместимости сети железных дорог путём создания новых классов объектов транспортной инфраструктуры: специализированных «станций-отелей» для длительного отстоя вагонов и терминальных комплексов. Формирование концепции их размещения на сети осуществлено с применением системного анализа и общей теории систем. Избыток вагонов выявляется в местах массовой выгрузки и погрузки. Причём изначально проблема возникает в пунктах выгрузки. Оперативные меры по выводу избытков из этих зон неизбежно приводят к возникновению заторов в регионах массовой погрузки. Таким образом, очевидно, что резерв погрузочных ресурсов необходимо содержать ближе к местам погрузки. С позиций же логистики, правильной будет не «выталкивать» вагон из выгрузочного региона, а отставить его на «станцию-отель». Это реализация одного из базовых правил логистики: «груз – нужный товар». Поскольку в качестве груза выступает порожний вагон, то правило можно интерпретировать: «порожний рейс выполняется вагоном, подвезанным к конкретной погрузке».

Размещать станции-отели на малодеятельных участках сети следует осторожно, т.к. при этом неизбежно возникают технологические пробеги, вызванные отклонением струй порожних вагонопотоков от кратчайших траекторий перемещения по сети. В регионах погрузки следует изыскивать площадки в непосредственной близости к входным станциям регионов, что позволит минимизировать дополнительные порожние пробеги по досылке на станции погрузки. Особо следует рассмотреть зоны на подходах к морским и речным портам, к пунктам стыков железных дорог разной ширины колеи, к пограничным станциям. Сырьевой сценарий развития экономики страны привёл к серьёзному перекосу балансов внешнеторговых отношений: при оценке в тоннаже экспортных и импортных грузопотоков наблюдается примерно восьмикратное превышение экспорта над импортом, что приводит к серьёзным затруднениям в работе стыковых станций всех видов. Оперативно задача решается путём формирования порожних маршрутов в расформирование на первой попутной сортировочной станции. Таким образом, проблема не снимается, а переносится на другой,

тоже, как правило, перегруженный участок сети. Концепция выбора оптимальных площадок для размещения «станций-отелей» предусматривает следующую систему приоритетов:

1. В регионах массовой выгрузки, вблизи: портов (с примыканием к ближайшей по ходу от порта технической станции, либо станции ответвления железнодорожной линии); пограничных, в первую очередь, перегрузочных станций (с примыканием к ближайшей по ходу от неё технической станции, либо станции ответвления железнодорожной линии); пунктов стыка железных дорог разной ширины колеи.

2. Перед сортировочными станциями, расположенными на маршрутах следования мощных струй порожних вагонопотоков.

3. В районах тяготения входных технических станций регионов массовой погрузки.

4. На малодеятельных линиях, вблизи станций примыкания к магистралям с высоким уровнем загрузки их перевозочных мощностей.

Инвестором в создание станций-отелей должен стать частный капитал. Заинтересованность в их создании испытывают владельцы и производители вагонов, лизинговые компании, операторы подвижного состава. Принятие решения о создании станции должно подкрепляться технико-экономическим обоснованием. Компоновка, схема путевого развития, оснащение постоянными устройствами зависит от набора технических и сервисных операций. Органично вписываются в их структуру вагонные депо, пункты подготовки и промывки вагонов. Сортировочные устройства должны обеспечивать не только вычленение из общего потока вагонов одного владельца, но и подборку по родам, типам, категориям пригодности под погрузку и т.д. Схема должна включать в себя парки приёма, сортировки и отправления, сортировочные устройства, внепарковые пути (рисунок 2). В зависимости от характеристик выбранной площадки возможны различные схемы расположения парков: от поперечного до продольного типа. Наилучшие технологические показатели у схем продольного типа, однако, на практике их применение затруднено, вследствие необходимости организации второй точки примыкания к сети федеральных железных дорог. Зачастую при этом требуется примыкание к перегону, что законодательно ограничено. На возможности проектирования влияет и продольный профиль площадки: существенный объём

ём земляных работ приводит к росту капитальных вложений и снижению экономических показателей, а в конечном итоге и коммерческой привлекательности проекта.

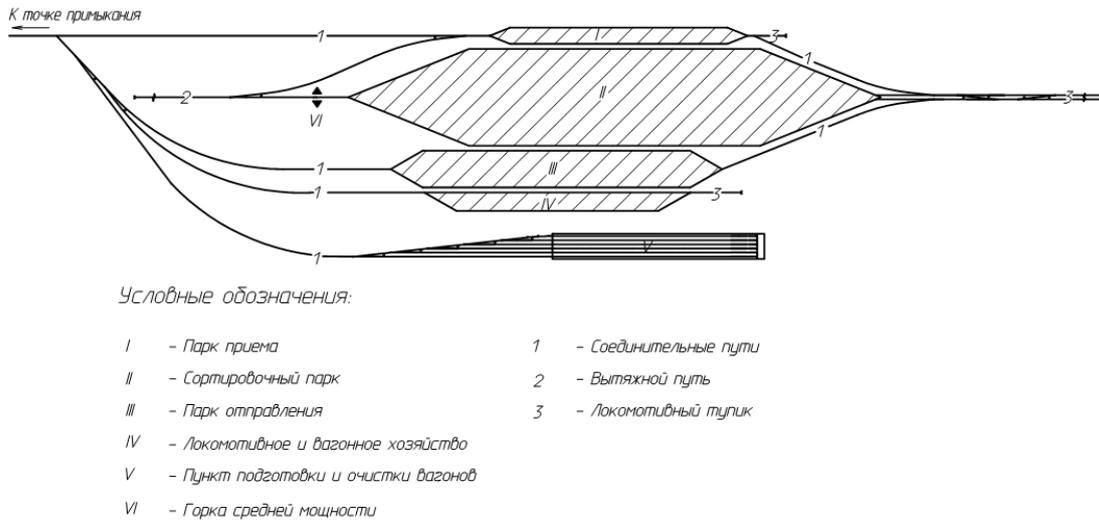


Рисунок 2. Пример компоновки станции-отеля

Расчёт мощности путевого развития существенно отличается от общепринятых методик, что объясняется характером протекающих на них процессов. И если при оценке операций в парке приёма нет значительных отличий от технологии работы аналогичных парков сортировочных станций, то продвигаясь по этапам технологического процесса, разница становится всё существеннее. В наибольшей степени это будет касаться парка отправления, так как именно на путях этого парка и происходит длительный отстой подготовленных для работы вагонов. Потребное число путей в парке приёма может быть определено исходя из суммарного времени занятия путей парка прибывающими поездами:

$$n_{nn} = \frac{\sum Nt}{1440 - t_{mex}} + n_{ход} + n_{дон}, \quad (25)$$

где: N – среднесуточное количество поездов, прибывающих на станцию;

t – время занятия пути поездом от приёма до освобождения при вытягивании для роспуска, мин;

t_{mex} – время технологических перерывов в работе пути, мин;

$n_{ход}$ – количество ходовых путей для пропуска поездного локомотива при возвращении на станцию примыкания (не менее одного пути);

$n_{доп}$ – количество дополнительных путей в парке (определяется величиной технологического резерва).

Величина технологического резерва зависит от характера входящего поездопотока, с одной стороны, и закладываемого при проектировании уровня надёжности в работе станции и полигона сети, к которому она примыкает, с другой. Число путей сортировочного парка зависит от задач, выполняемых сортировочной системой. Специфика работы такого рода станций подразумевает достаточно частую смену специализации путей, которая напрямую связана с договорной работой предприятия, занимающегося эксплуатацией станции. Заключение нового договора означает появление новых струй (всегда не менее одной). Их количество определяется требованиями заказчика по подбору вагонов (по родам, типам, назначениям, категориям, классам грузов-предшественников и т.д.), поэтому и мощность путей подгруппного парка должна быть значительной. При наличии выхода на соединительные пути с отдельных пучков сортировочного парка, можно оперативно менять специализацию путей, делая их путями длительного отстоя вагонов. Во время сортировки требуется отсечь вагоны, близкие к «красному пробегу» для проведения ремонтов во время отстоя на станции. Параметры горки, её энергетические параметры должны учитывать характер бегунов, скатывающихся с горки. Поскольку это порожние вагоны, то требуются более значительные энергетические затраты, чем обычно. Наиболее мощным путевым развитием должен обладать парк отправления. Требуется тщательный осмотр технического состояния вагонов после прохождения сортировочной системы, с целью максимально возможного выявления неисправных вагонов. Длительный отстой вагонов должен осуществляться в составах сформированных и готовых к отправлению поездов из порожних вагонов. Потребное число путей в парке отправления может быть определено исходя из суммарного времени занятия путей парка сформированными поездами:

$$n_{но} = \frac{\sum N(t_{осм} + t_{омсм})}{1440 - t_{мехн}} + n_{ход}; \quad (26)$$

где: $t_{осм}$ – время технического осмотра, выставленного из сортировочного парка состава и операций по подготовке поезда к отправлению, мин;

$t_{омсм}$ – нормативное время длительного отстоя вагонов, мин;

$n_{ход}$ – количество ходовых путей для пропуска маневрового локомотива при возвращении на вытяжные пути сортировочного парка (не менее одного пути).

На испытывающих затруднения от избытка вагонного парка полигонах следует предусматривать рациональную последовательность занятия станций, парков и путей составами из порожних вагонов. Порядок размещения таких составов: в первую очередь – на «станциях-отелях»; во вторую – на станциях предстоящей погрузки; в третью – на сортировочных и участковых станциях; в четвертую – на промежуточных станциях участков.

Инфраструктура «станции-отеля» позволяет осуществлять ряд услуг. К основным направлениям её деятельности следует отнести: организацию паркинга (отстоя) порожних вагонов; технический осмотр; сортировку; консолидацию вагонов по станциям назначения; формирование вагонных маршрутов; приёмку-передачу вагонов между перевозчиком и станцией-отелем, включая оформление документов; очистку вагонов; текущий, деповской и капитальный ремонт вагонов; агентирование; экспедиторские услуги; создание электронной биржи контрактов на использование свободных вагонов. Полномасштабные расчёты коммерческой эффективности проектов по увеличению вместимости путевого развития станций и полигонов, сроков их окупаемости с учётом дисконтирования, должны быть выполнены на стадии разработки обоснования инвестиций по узлам и полигонам сети.

Развитие современных технологий перевозок требует значительного усиления мощности существующих и создания принципиально новых типов терминальных комплексов: сети транспортно-логистических центров; контейнерных и контрейлерных терминалов. При проведении реконструкции требуются значительные капитальные вложения, т.к. большинство терминалов сети имеют низкий уровень технического оснащения, характеризующийся высокой степенью износа покрытия площадки, кранового хозяйства, обеспечивающих подсистем. На значительной части терминалов отсутствует твёрдое покрытие, дренажные системы либо находятся в нерабочем состоянии, либо вовсе отсутствуют. Выделение контейнерного бизнеса в отдельную структуру, в большей степени усложнило процедуру проведения реконструкционных мероприятий: нет процедур передачи земельных участков в собственность дочерних компаний, в совместном пользовании находятся инженерные сети и т.д.

В седьмой главе рассмотрено влияние летних путевых работ на пропускную способность сети при современных технологиях капитального ремонта пути. Основными причинами задержек поездов являются недостаток пропускной способности во время «окна» и ожидание технического осмотра в период интенсивного пропуска после его завершения. Проведено статистическое исследование задержек на модели пропуска поездов через ремонтируемый перегон. В качестве факторных признаков предлагается принять: интенсивность поездопотока; перегонное время хода грузовых поездов; продолжительность «окна»; количество временных блок-постов. В предлагаемой модели результативным признаком приняты суммарные задержки поездов. Так как наблюдается его зависимость от нескольких факторов, имеет место множественная корреляция. Постановка задачи описывает издержки поездов как функцию четырёх переменных. Пусть:

y_1 – суммарные задержки поездов, вызванные недостатком пропускной способности;

x_1 – продолжительность «окна»;

x_2 – интенсивность поездопотока или потребная пропускная способность на участке;

x_3 – количество временных блок-постов;

x_4 – перегонное время хода грузовых поездов.

Тогда:

$$y_1 = (x_1, x_2, x_3, x_4). \quad (27)$$

Предложен метод расчёта аналитических зависимостей задержек поездов для любых полигонов сети железных дорог. В работе определена зависимость для Забайкальской железной дороги суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности:

$$\sum Nt = 0,091 * 1,212^{x_1} * 2,219^{x_2} * 0,555^{x_3} * 1,038^{x_4}. \quad (28)$$

Определена внутрисуточная неравномерность поездопотока и её влияние на величину дополнительных задержек поездов. Выполнена корректировка моделей задержек поездов с учётом внутрисуточной неравномерности и осуществлена экспериментальная проверка разработанной модели суммарных задержек поездов. Определён вид зависимости коэффициентов неравномерности от продолжительности рассматриваемо-

го периода. Предложен метод оптимизации пропуска поездов в период капитального ремонта пути. Сформулировано условие недопущения суточного съёма поездов.

Необходимость кратковременного усиления пропускной способности и выбор способа организации поездной работы определяется разницей наличной и потребной пропускной способностей. Для построения модели (рисунок 3) введены обозначения:

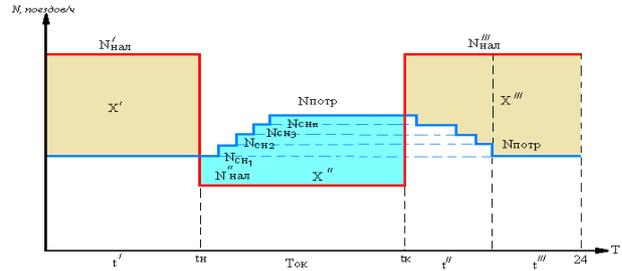


Рисунок 3. Динамика наличной и потребной пропускных способностей при проведении капитального ремонта пути

X' , X''' – резерв пропускной способности соответственно до и после «окна»;

X'' – недостаток пропускной способности во время «окна»;

$N_{снi}$ – поезда, снятые из-за недостатка пропускной способности во время «окна»;

$N'_{нал}$ – наличная пропускная способность до «окна»;

$N''_{нал}$ – наличная пропускная способность во время «окна»;

$N'''_{нал}$ – наличная пропускная способность после «окна»;

$N_{потр}$ – потребная пропускная способность;

$T_{ок}$ – продолжительность «окна»;

t' – период времени до начала «окна»;

t'' – период форсированного пропуска поездов для ликвидации съёма;

t''' – период нормального пропуска поездов;

t_n, t_k – время начала и окончания «окна».

Из рисунка 3 видно, что условие выполнения задачи недопущения съёма формулируется как:

$$X'' + \sum_{i=1}^n N t_{зад_i}''' \leq X' + X''', \quad (29)$$

Теоретически это условие верно, но практически использовать резерв пропускной способности в период до «окна» (X') очень сложно. Для этого необходимо заранее планировать подвоз поездов к участку производства работ. Только планирование перевозок на

уровне региона или даже сети дорог позволяет это сделать. Поэтому, при существующей организации эксплуатационной работы вернее будет представить данное условие в виде:

$$X'' + \sum_{i=1}^n Nt_{зад_i}''' \leq X''' \quad (30)$$

где: $\sum_{i=1}^n Nt_{зад_i}'''$ – задержки снятых поездов соответственно после окончания «окна».

На рисунке 4 показан процесс формирования поездо-часов задержек в период «окна». Для интерпретации в терминах теории эксплуатации железных дорог необходимо определить площади фигур X'' и X''' . Площадь фигуры X'' складывается из суммы площадей X_1'' , X_2'' , X_3'' , ..., X_{n+1}'' . Таким образом, она определяется:

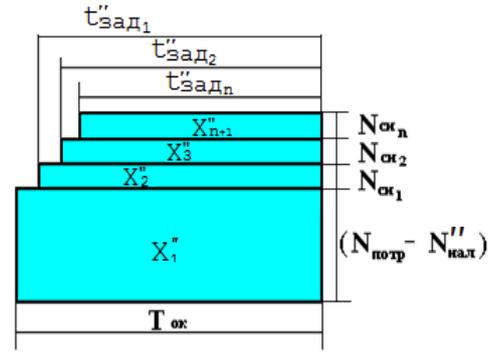


Рисунок 4. Формирование поездо-часов задержек в период «окна»

$$X'' = (N_{потр} - N_{нал}) * T_{ок} + \sum_{i=1}^n Nt_{зад_i}'' \quad (31)$$

На рисунке 5 отражено изменение резерва пропускной способности в период после «окна». Видно, что с каждым пропущенным поездом, из числа «снятых» он увеличивается. Площадь фигуры X''' можно определить как разность:

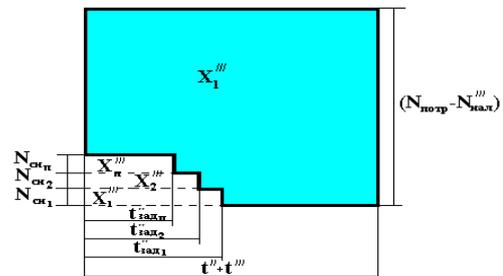


Рисунок 5. Резерв пропускной способности в период после «окна»

$$X''' = (N_{нал} - N_{потр}) * (t'' + t''') - \sum_{i=1}^n Nt_{зад_i}''' \quad (32)$$

После определения площадей фигур X'' и X''' и простейших преобразований условие (30) примет вид:

$$(N_{потр} - N_{нал}) * T_{ок} + \sum_{i=1}^n Nt_{зад_i}'' + 2 \sum_{i=1}^n Nt_{зад_i}''' \leq (N_{нал} - N_{потр}) * (t'' + t'''), \quad (33)$$

где: $\sum_{i=1}^n Nt_{за\partial}''$ – задержки снятых поездов соответственно в период «окна».

Задержки снятых поездов определяются на основе установленных уравнений множественной регрессии. Так как:

$$t'' + t''' = 24 - T_{ок} - t', \quad (34)$$

то при подстановке в (33) получается неравенство:

$$(N_{норм} - N_{нал}) * T_{ок} + \sum_{i=1}^n Nt_{за\partial}'' + 2 \sum_{i=1}^n Nt_{за\partial}''' \leq (N_{нал} - N_{норм}) * (24 - T_{ок} - t'). \quad (35)$$

Если данное неравенство выполняется при существующих технических условиях и способах пропуска поездов, то не требуется мероприятий по кратковременному повышению пропускной способности перегона на период капитального ремонта. Внесены предложения в организацию пропуска поездов в период технологических «окон». Предложен способ определения себестоимости выполнения работ по капитальному ремонту пути в части зависящих расходов. Определена зависимость длины фронта работ от продолжительности «окна». Установлена зависимость себестоимости капитального ремонта пути от продолжительности «окна». Разработаны рекомендации для выбора оптимальных параметров «окна». Осуществлён анализ экономической эффективности оптимизационной модели.

В восьмой главе рассмотрено влияние работы систем интервального регулирования движением поездов на пропускную способность сети при росте норм длины грузовых поездов. В современных условиях на основных магистральных направлениях, вследствие увеличения длины поездов, как нормативной, так и фактически исполненной, происходит снижение наличной пропускной способности за счёт увеличения межпоездного интервала. Это явление – следствие объективной ситуации: несоответствия длин фактически обращающихся на полигоне поездов и нормативов, заложенных при проектировании и строительстве систем интервального регулирования движением поездов.

Предложено дальнейшее развитие цифровых моделей железных дорог для решения задач эксплуатационной работы. Внесены существенные дополнения в модели путевого развития и динамических объектов. К перспективам развития цифровой модели путевого развития следует отнести создание базы данных электронных паспортов подъездных путей

необщего пользования. Цифровая модель поезда должна описывать поезд не как материальную точку, к которой прилагаются силы, а как тело, обладающее фиксированной массой. Пространственная интерпретация поезда: динамический сплайн (от англ. *spline* – планка, рейка) фиксированной длины, под которым понимается кусочно-заданная функция, совпадающая с функциями более простой природы на каждом элементе разбиения своей области определения. Динамичность сплайна означает, что в любой момент времени для него существует система уравнений, описывающая размещение поезда в пространстве. Предлагается при описании поезда представлять его как цепь переменной длины, обладающую системой управления режимами движения, следующую по направляющей, на которую наложены внешние ограничения переменного характера, под которыми понимаются: воздействия систем тягового электроснабжения и диспетчерского управления; погодные условия; перемещения динамических объектов в пространстве габарита подвижного состава и др. Звенья цепи – вагоны. Состав поезда легко описывается на основе информации из автоматизированной системы оперативного управления перевозками. По номеру вагона устанавливается главный параметр для модели – его фактическая длина по осям автосцепок.

Положения головной и хвостовых меток определяют привязку поезда к цифровой модели пути. С неё снимается, на каких элементах в плане и профиле находится состав поезда. Путь описывается как линия, что соответствует пространственному размещению его оси на уровне головок рельсов. Если следовать логике описания движения цепи по направляющей, то движение поезда должно описываться не одним сплайном, а целым семейством. В пространственной интерпретации это напоминает пучок нитей. Если построить сплайны для всех точек габарита погрузки, то получится достаточно точная копия. Причём при наличии в поезде вагонов с негабаритностью, контур габарита подвижного состава должен быть скорректирован в соответствии с индексом негабаритности поезда.

Для работы с пучком сплайнов цифровая модель пути должна быть представлена как последовательность сечений, построенных с заданным шагом. Величина последнего определяется сложностью решаемых задач. Например, фактическое размещение опоры контактной сети в стрелочной горловине нарушает габарит приближения строений. Учитывая диаметр опоры в нижнем сечении (для современных железобетонных опор – 540 мм), очевид-

но, что при построении виртуального туннеля шаг построения поперечных сечений должен быть менее этой величины. В противном случае препятствие можно просто не увидеть.

Для решения большинства задач эксплуатации железных дорог модель пучка динамических сплайнов избыточна. Её проекции на продольную ось пути, т.е. получение сплайна, описывающего расположение продольной оси пути на отрезке между метками головы и хвоста поезда, вполне достаточно. Взаимосвязь между полной и сокращённой версией моделей осуществляется посредством поперечного сечения (габарита очертаний), построенного в соответствии с индексом негабаритности поезда. При её отсутствии используется очертание габарита погрузки (рисунок 6). Числами 1-10 отмечены точки, для которых строятся сплайны. 11 – соответствует сплайну сокращённой версии. Количество сплайнов может меняться в зависимости от сложности контура. Минимальное число соответствует случаю, когда все вагоны в составе поезда вписываются в габарит погрузки. При наличии негабаритных вагонов толщина пучка сплайнов колеблется от 10 до 24 (предельный случай) линий.

Для поезда, в составе которого только порожние вагоны, его описание принимается по габариту подвижного состава. Полная модель пучка динамических сплайнов должна применяться при проверке габаритной проходимости поезда до выбора маршрутов приёма, пропуска или отправления по станциям. Особенно это актуально в случаях ограничения пропускной способности, например, связанной с проведением технологических «окон».

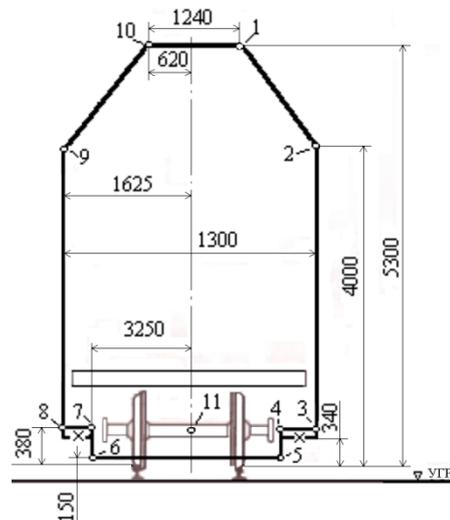


Рисунок 6. Характерные точки габарита погрузки

При отпращивании со станции основанием для начала движения при трогании с места «догоняющего» поезда может служить освобождение «убегающим» стрелочной горловины, что легко определяется снятием шунтирования с последней по маршруту следования бесстрелочной секции. Ограничением по безопасности в момент движения по станционным путям должна служить разница скоростей двух поездов – для безопасного движения поездов попутного следования достаточно обеспечить условие «убегания»:

$$V_{y\delta} > V_{\delta\delta\delta}. \quad (36)$$

Для реализации описанного принципа требуется изменить логику настройки цепей управления станционными системами централизации. Для открытия выходного сигнала достаточно свободы секций по маршруту следования до изостыка первого участка удаления. В современных реалиях жёлтый сигнал выходного светофора означает полное освобождение первого участка удаления от станции (первого блок-участка), а при применении тональных рельсовых цепей ещё и двух цепей следующего участка. При вкатывании головы «догоняющего» поезда на первый блок-участок перегона условие (36) перестаёт работать, а управление передаётся правилу (37), где s_m – тормозной путь (в метрах) принимается равным сумме подготовительного тормозного пути s_n и действительного пути торможения s_δ :

$$s_m = s_n + s_\delta. \quad (37)$$

При приближении головы поезда к входному сигналу станции на расстояние s_m , при условии отсутствия впереди идущего поезда на участке приближения к станции, управление передаётся показаниям входного светофора. При прохождении головы поезда входного сигнала он находится под управлением по сигналам станционной автоматики. В теории эксплуатационной работы принято определять поезд как материальную точку, к которой прилагаются силы. Поэтому определение интервала между поездами в пакете выполняется на основе нормальной схемы разграничения поездов в пакете.

Произведены расчёты для различных норм длины поездов, при этом скорости «убегающего» и «догоняющего» поездов приняты равными и варьировались средние значения скоростей при фиксированной длине блок-участков, которые показывают, что величина интервала между поездами в пакете колеблется в значительных пределах. На рисунке 7 приведены графики изменения величины интервала между поездами в пакете для трёх норм длины поезда в диапазоне скоростей 10÷120 км/ч. Видно, что при падении ходовой скорости происходит экспоненциальный рост величины интервала. При этом резко падает наличная пропускная способность и возрастает потребность в локомотивах и поездных бригадах.

Величина межпоездного интервала постоянно меняется при следовании по перегону, а т.к. рассчитанное значение закладывается в график движения поездов, то очевидно, что

уже на этапе долговременного планирования эксплуатационной работы участков закладывается недоиспользование их пропускной способности.

В рассмотренных примерах скорости обоих поездов принимаются равными. В реальной поездной обстановке они выравниваются крайне редко, т.к. в любой момент времени поезда находятся на разных участках перегонов, имея при этом различные скоростные режимы. Кроме того, следует рассматривать поезд не как точку, а как тело, обладающее фиксированной массой и пространственными размерами.

Учитывая сказанное, под истинным интервалом между поездами в пакете следует понимать расстояние между хвостом «убегающего» поезда и головой «догоняющего» в момент времени t_0 . Понятие истинного или мгновенного интервала отражает его физическую сущность. Во многом оно схоже с понятием мгновенной (истинной) скорости, под которой понимается предел отношения пройденного расстояния Δs к интервалу времени Δt , за который оно пройдено, при стремлении последнего к нулю:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}. \quad (38)$$

При использовании цифровой модели железнодорожного пути, зная географические координаты хвоста «убегающего» и головы «догоняющего» поездов, можно определить фактическое расстояние между соответствующими метками транспордеров по ожидаемой траектории движения «догоняющего» поезда. Эта траектория тоже может быть определена мгновенно. Её длина и будет являться истинным интервалом между поездами. При движении поездов они движутся по пути, любой фрагмент которого может быть представлен в виде сплайна. Поскольку истинный интервал определяется мгновенно, важно чтобы в любой момент времени существовала аналитическая функция, описывающая ожидаемую траекторию. Поэтому в качестве модели пути следует использовать динамичный сплайн. При

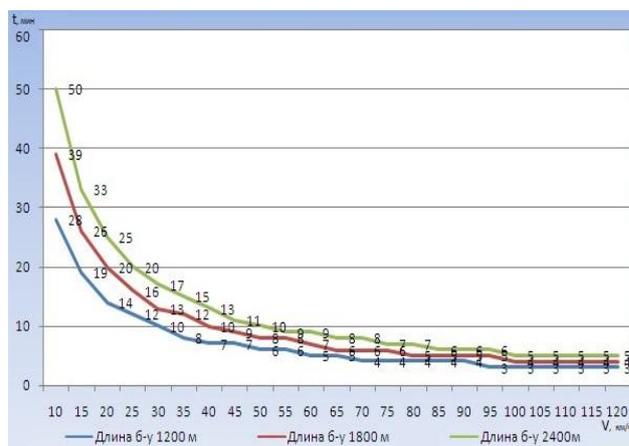


Рисунок 7. Зависимость интервала между поездами в пакете при варьировании средней ходовой скорости

этом ожидаемая траектория постоянно меняет свою длину, кроме случая, когда скорости двух последовательно движущихся поездов равны и оба двигаются равномерно.

В качестве научной основы построения системы интервального регулирования движения поездов с использованием средств космической навигации, предложена концепция непрерывного пересчёта истинного интервала для выбора оптимального скоростного режима движения поезда. При разработке графика движения поездов следует отказаться от линейного отображения прохождения поездом перегонов, а прокладывать кривые времени хода. Интервал между двумя последовательно отправляющимися поездами следует определять по моменту прохождения последней оси «убегающего» поезда изостыка, разделяющего последнюю станционную и первую перегонную рельсовые цепи.

В современных реалиях всё чаще возникают ситуации с недостатком наличной пропускной способности. Строительство дополнительного пути на участке примерно в 2,5-8 раз дороже, чем переход на координатную систему интервального регулирования движения поездов с расширенными функциональными возможностями локомотивного устройства. Существует и временной фактор – от момента принятия решения о строительстве, до ввода объекта в эксплуатацию, проходит несколько лет. Использование современной инструментальной базы в области космической навигации, уровень развития информационных технологий на транспорте, опыт экспериментальной эксплуатации позволяют приступить к созданию принципиально новых систем управления эксплуатационной работой. В конечном итоге это позволит повысить качество услуг железнодорожного транспорта, создавая предпосылки для его успешной работы в условиях жёсткой конкурентной борьбы с другими видами транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретическое обоснование принципов построения, функционирования и развития системы управления эксплуатационной работой на железных дорогах России в условиях реформы в части усиления провозной способности ключевых направлений, а также управления парками вагонов различной принадлежности являлось целью диссертационной работы. Установлено, что применяемые ранее модели и принятые па-

радикалы не работают в полной мере в новых экономических условиях, вызванных проводимой реформой железнодорожного транспорта. Обеспечение логистических потребностей в условиях смещения акцентов в сторону повышения надёжности поставок, в части выполнения договорных сроков и обеспечение сохранности перевозимых грузов, требует создания новых транспортных технологий.

Снижение качества управления работой вагонных парков приводит к росту потребности в порожних вагонах, увеличению времени их оборота, длительным непроизводительным простоям в ожидании технологических операций, и, как следствие, возрастает нагрузка на сеть путей сообщения. Последнее находит выражение в росте потребной пропускной способности на наиболее загруженных участках сети: в местах массовой погрузки и на подходах к портам и пограничным станциям.

При разработке программных мероприятий по модернизации транспортной системы недостаточно учитываются произошедшие изменения, что приводит к нарастанию отставания роста наличных пропускных и провозных способностей на решающих направлениях железнодорожных перевозок. В основу программных мероприятий по развитию пропускных способностей сети должен лечь качественный прогноз размеров, направлений и номенклатурный спектр грузопотоков. Выполненный анализ прогнозных моделей позволил предложить модель прогнозирования грузопотоков. Наиболее перспективным направлением развития методов прогнозирования грузопотоков является применение искусственных нейронных сетей.

В качестве оперативных мероприятий, позволяющих снять избыточную нагрузку с сети железных дорог, предложено введение обезличенного управления вагонными парками различных собственников. Рассмотрены пути повышения пропускной способности за счёт интенсификации пропуска поездов, как в условиях временных ограничений пропускных способностей отдельных перегонов, участков или полигонов, так и в длительной перспективе за счёт сокращения межпоездного интервала.

Выявлены системные недостатки и проблемы эксплуатации вагонов различной принадлежности, главной из которых является низкая эффективность использования вагонов. Предложена модель управления парками частных вагонов. В качестве оперативной меры предлагается создание вагонной биржи на разработанных принципах обезличенного

использования вагонов. Предложена методика определения потребности пунктов погрузки в погрузочных ресурсах, обеспечивающая удовлетворение потребностей всех категория грузоотправителей, линейных предприятий транспорта и отрасли в целом. Обобщенным критерием оптимальности, при решении задачи распределения порожнего подвижного состава, выбраны суммарные приведенные затраты на обеспечение пунктов погрузки ресурсами в необходимых размерах при минимальных затратах на перемещение порожних вагонов. Представлена математическая постановка задачи. Предложена методика определения спроса пунктов погрузки в современных условиях. Создание на сети специализированных «станций-отелей» для отстоя порожних вагонов в ожидании требования подачи под погрузку – основной путь снижения нагрузки на сеть от избыточного вагонного парка.

При отыскании границ применимости технологий с устройством временных блок-постов необходимо исследование характера изменения потребной и наличной пропускных способностей при производстве капитального ремонта пути. Разработана методика, позволяющая выбрать наиболее эффективные с экономической точки зрения параметры окна: продолжительность; способ организации пропуска поездов в это период; мероприятия по усилению пропускной способности перегона. Установлено, что величина задержек поездов определяется в основном изменением: интенсивности поездопотока, продолжительности «окна», количества временных блок-постов и перегонных времён хода грузовых поездов. Выбран и обоснован теоретический закон распределения изменения суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности от выбранных факторов. Установлен характер и вид зависимости задержек поездов в период «окна» и после его окончания. Экспериментальная проверка модели суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности с учётом внутрисуточной неравномерности поездопотока, позволяет рекомендовать модель к использованию в практических целях при планировании «окон» на любом участке железных дорог. Установлено условие пропуска всех поездов в текущие сутки при закрытии одного из путей двухпутного перегона для производства капитального ремонта без дополнительных мероприятий, направленных на увеличение пропускной способности ремонтируемого перегона. При необходимости проведения мероприятий по увеличению наличной пропускной способности, а также выборе способа организации поездной работы и продолжительности «окна» следует учитывать

установленный характер зависимости длины фронта работ и себестоимости выполнения капитального ремонта пути в части зависящих от продолжительности «окна» расходов. Предложена методика, позволяющая выбрать наиболее целесообразные с экономической точки зрения: время начала «окна», его продолжительность, количество временных блок-постов.

Выявлена избыточность ограничений, накладываемых на величину межпоездного интервала со стороны перегонных систем автоматической блокировки, что приводит к снижению наличной пропускной способности. Уровень развития информационных систем железнодорожного транспорта позволяет создать цифровую модель путевого развития для использования в практике решения задач оперативного управления движением поездов. Предложенная модель представления динамических объектов в виде пучка динамических сплайнов позволяет описывать динамику перемещения по сети железных дорог общего пользования поездов любых категорий.

Предложенные принципы создания системы интервального регулирования движением поездов позволяют повысить наличную пропускную способность лимитирующих участков и перегонов сети значительно быстрее и с меньшими финансовыми затратами, чем реконструкция и наращивание мощности железных дорог при традиционном подходе.

Основные публикации по теме диссертации

Монографии

1. Железнов, Д.В. Интенсификация пропуска поездов при повышении эффективности работы машин в период производства капитального ремонта пути [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова. – Чита: ЗаБИЖТ. – 2005. – 190 с. – ISBN 5-98710-016-X.
2. Железнов, Д.В. Оптимизация движения поездов при ограничениях пропускной способности. «Окна» для производства капитального ремонта пути [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова. – Саарбрюккен: *LAP LAMBERT Academic Publishing*. – 2012. – 120 с. – ISBN 978-3-8484-1252-5.

Научные статьи в рецензируемых ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных научных результатов докторских диссертаций

3. Железнов, Д.В. Электронное слежение за повагонными отправками [Текст] / Д.В. Железнов, М.Н. Самошин, И.О. Комарницкий // Вестник ВНИИЖТ. – 1995. – № 2. – С. 39-43.
4. Железнов, Д.В. Влияние пропускной способности участков в период «окон» на размеры задержек поездов при пропуске их по ремонтному участку [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – №3. – 2004. – С. 79-84.

5. Железнов, Д.В. Совершенствование передачи грузов через пограничный переход [Текст] / Д.В. Железнов, Н.О. Азбукин, Г.М. Ромашкова // Железнодорожный транспорт. – 2006. – №7. – С.28-30.
6. Железнов, Д.В. Создание логистического центра по переработке скоропортящихся грузов на станции Забайкальск / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова, М.А. Долгополова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. 2006. - №4.-С.204-207.
7. Железнов, Д.В. К вопросу о межпоездном интервале [Текст] / Д.В. Железнов, П.Е. Волокитина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. – 2010. – №4 (28). – С. 142-145.
8. Железнов, Д.В. Статистическое исследование задержек поездов при пропуске через ремонтируемый перегон [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – №3 (31). – 2011. – С. 244-248.
9. Железнов, Д.В. Интеграция железных дорог Монголии в мировую транспортную систему [Текст] / Д.В. Железнов, И.А. Домбровский // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – №1. – С. 16-20.
10. Железнов, Д.В. Принципы построения системы интервального регулирования движения поездов с использованием космической навигации [Текст] / Д.В. Железнов // Вестник РГУПС. – 2012. – №2. – С. 125-131.
11. Железнов, Д.В. Выбор направления модернизации объекта региональной транспортной системы [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова. // Бюллетень транспортной информации. – 2012. – №7. – С. 34-40.
12. Железнов, Д.В. Реализация алгоритма по выбору направления модернизации объекта региональной транспортной системы на примере Забайкальского края [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова. // Бюллетень транспортной информации. – 2012. – №8. – С. 29-33.
13. Железнов, Д.В. Создание специализированных для массового отстоя и подготовки вагонов станций как основной путь повышения качества эксплуатационной работы полигонов в условиях обращения избыточного парка и ограничений пропускной способности [Текст] / Д.В. Железнов // Вестник РГУПС. – 2012. – №3. – С. 78-86. ISSN 0201-727X.
14. Железнов, Д.В. Цифровые модели путевого развития [Текст] / Д.В. Железнов // Мир транспорта. – 2012. – №3. – С. 148-153.
15. Железнов, Д.В. Модель расчёта нагрузки на элементы сети при прогнозировании стационарных транспортных потоков [Текст] / Д.В. Железнов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. – 2012. – №4 (36). – С. 240-245.
16. Железнов, Д.В. Нейронные сети и прогнозирование размеров движения [Текст] / Д.В. Железнов // Мир транспорта. – 2012. – №4. – С. 114-117: ил.: 2 рис. – Библиогр.: с. 117 (10 назв.). – ISSN 1992-3252.

Научные статьи и другие публикации

17. Железнов, Д.В. Бездокументная технология перевозок грузов [Текст] / Д.В. Железнов, А.Ф. Котляренко // Межв. сб. научн. тр. «Коммерческая эксплуатация железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики». – Ростов-на-Дону. – РИИЖТ. – 1992. – С. 24-28.
18. Лазарев, Х.М. Организация перевозок грузов в местном сообщении по бездокументной технологии [Текст] / Х.М. Лазарев, Д.В. Железнов // Сб. научн. тр. «Логистика и проблемы интенсификации технологии грузовой и коммерческой работы станций». – Труды МИИТа. – Вып. 860. – М: МИИТ. – 1992. – С. 11-19.
19. Железнов, Д.В. Разработка унифицированных технологических схем выполнения начально-конечных операций с повагонными отправками для разработки системы электронного сопровождения перевозок [Текст] / Д.В. Железнов, М.Н. Самошин // Тез. докл.

межвузовской научно-практической конференции, посвященной 20-летию СамИИТа «За технический прогресс на железных дорогах». – Ч. 2. . – Самара: СамИИТ. – 1993. – С. 46.

20. Железнов, Д.В. Методика определения и корректировки спроса в погрузочных ресурсах в условиях функционирования системы электронного информационного сопровождения перевозок [Текст] / Д.В. Железнов // Перспективы развития железнодорожного транспорта на рубеже XXI века: Межв. сб. научных трудов. – Чита: ЗаБИЖТ. – 1999. – С.10-19.

21. Железнов, Д.В. Проблемы создания автоматизированного диспетчерского центра управления перевозками [Текст] / Д.В. Железнов // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2000. – №3. – С.85-88.

22. Железнов, Д.В. Определение требований по развитию обеспечивающих подсистем Забайкальской магистрали с позиции интеграции в мировую транспортную систему [Текст] / Д.В. Железнов, Т.В. Иванова, М.И. Коновалова // Мат. межд. научно-практ. конференции «Транссибирская магистраль на рубеже XX-XXI веков: Пути повышения эффективности использования перевозочного потенциала». – М.: МИИТ, 2003. – С.11-19 – 11-20.

23. Железнов, Д.В. Усиление провозной способности Забайкальской железной дороги и её влияние на объём внешнеторговых грузов, перевозимых по Транссибирской магистрали [Текст] / Д.В. Железнов, Т.В. Иванова, М.И. Коновалова // Мат. межд. научно-практ. конф. «Транссибирская магистраль на рубеже XX-XXI веков: Пути повышения эффективности использования перевозочного потенциала». – М.: МИИТ, 2003. – С.11-20 – 11-22.

24. Железнов, Д.В. Перспективы развития и выбор оптимальной схемы взаимодействия парков пограничной станции Забайкальск [Текст] / Д.В. Железнов // Сб. научн. тр. «Транссибирская магистраль – важнейший элемент Евроазиатского транспортного коридора». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2004. – С. 40-49.

25. Железнов, Д.В. Повышение производительности путевых машин в «окно» для капитального ремонта пути с использованием сетевого планирования [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова // Сб. научн. тр. «Проблемы модернизации инфраструктуры Транссибирской магистрали». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2005. – С. 74-89. ISBN 5-93119-150-X.

26. Железнов, Д.В. Определение мощности потока скоропортящихся грузов, ввозимых в Россию из КНР по стыку Маньчжурия-Забайкальск [Текст] / Д.В. Железнов, Н.А. Демидова, М.А. Долгополова // Тр. всер. научно-практ. конф. уч. транспорта, вузов, НИИ, инж. работн. и представителей академической науки «Проблемы и перспективы развития Транссибирской магистрали в XXI веке», Чита, 22-24 ноября 2006 г. Ч. 1. – Чита: ЗаБИЖТ. – 2006. – С. 4-16.

27. Железнов, Д.В. Логистические технологии на пограничной перегрузочной станции [Текст] / Д.В. Железнов, Н.О. Азбукин // Сб. научн. тр. «Современные проблемы экономики и управления железных дорог России». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2006. – С. 83-96. ISBN 5-98710-018-6.

28. Железнов, Д.В. Новая технология перегрузки контейнеров на пограничной станции [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова, П.Е. Волокитина // Сборник научных трудов «Ресурсосберегающие технологии на транспорте и в промышленности». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2007. – С. 124-132. ISBN 978-598710-041-7.

29. Железнов, Д.В. Будущее транзита – контейнерные перевозки [Текст] / Д.В. Железнов, Н.А. Демидова // Сб научн. тр. «Ресурсосберегающие технологии на транспорте и в промышленности». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2007. – С. 140-145. ISBN 978-598710-041-7.

30. Железнов, Д.В. Методика расчета и анализ соответствия пропускной способности технических станций дороги объемам перевозок [Текст] / Д.В. Железнов, Н.А. Демидова, Е.Н. Светлакова // Сб. научн. тр. «Ресурсосберегающие технологии на транспорте и в промышленности». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2007. – С. 155-161. ISBN 978-598710-041-7.

31. Железнов, Д.В. Формирование бюджетной эффективности проекта освоения месторождений полезных ископаемых на юго-востоке Забайкальского края [Текст] / Д.В. Железнов,

С.В. Кирюшин // Мат. XII межд. мол. научно-практ. конф. «Молодёжь Забайкалья: перспектива развития края», г. Чита 10-11 апреля 2008 г. – Ч. II – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 225-227.

32. Железнов, Д.В. Оценка вариантов трассы новой железнодорожной линии Нарын-Лугокан [Текст] / Д.В. Железнов, О.А. Хмелюк // Мат XII межд. мол. научно-практ. конф. «Молодёжь Забайкалья: перспектива развития края», г. Чита 10-11 апреля 2008 г. – Ч. II. – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 299-301.

33. Глухов, А.А. Реконструкция терминала ОАО «ТрансКонтейнер» на станции Забайкальск [Текст] / А.А. Глухов, Д.В. Железнов, Е.В. Мельников // Мат. межд. научно-пр. конф. «Развитие транспортной инфраструктуры – основа роста экономики Забайкальского края», 1-4 октября 2008 г. – Т. I. – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С.13-20. ISBN 978-5-98710-052-3.

34. Железнов, Д.В. Склад временного хранения агентства «ТрансКонтейнер» на станции Забайкальск [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова, П.Е. Волокитина // Мат. межд. научно-пр. конф. «Развитие транспортной инфраструктуры – основа роста экономики Забайкальского края», г. Чита 1-4 октября 2008 г. – Т. I – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 24-30.

35. Железнов, Д.В. Работа железнодорожных пунктов пропуска в современных условиях [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова, П.Е. Волокитина // Межв. сб. научн. тр. «Моделирование. Системный анализ. Технологии». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 56-61. ISBN 978-5-98710-060-8.

36. Железнов, Д.В. Лесоперерабатывающий комплекс в Забайкальском крае [Текст] / Д.В. Железнов, П.Е. Волокитина, О.А. Нестеренко // Межвузовский сборник научных трудов «Моделирование. Системный анализ. Технологии». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 120-124. ISBN 978-5-98710-060-8.

37. Железнов, Д.В. Анализ рынка сбыта импортных грузов из Китая в Забайкальском крае [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова, М.И. Коновалова // Межвузовский сборник научных трудов «Моделирование. Системный анализ. Технологии». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 124-133. ISBN 978-5-98710-060-8.

38. Железнов, Д.В. Обоснование целесообразности создания мультимодального логистического центра в Забайкальском крае [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова, М.И. Коновалова // Межвузовский сборник научных трудов «Моделирование. Системный анализ. Технологии». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С. 134-139. ISBN 978-5-98710-060-8.

39. Сигачёв, Н.П. Оптимизация транспортной системы Забайкальского края на принципах логистики [Текст] / Н.П. Сигачёв, Д.В. Железнов // Межвузовский сборник научных трудов «Управление, эксплуатация и ремонт железнодорожных узлов и агрегатов». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2009. – С. 130-140. ISBN 978-5-98710-060-8.

40. Железнов, Д.В. Оптимизация транспортной системы Забайкальского края на принципах логистики [Текст] / Д.В. Железнов, Н.П. Сигачёв // Межвузовский сборник научных трудов «Управление, эксплуатация и ремонт железнодорожных узлов и агрегатов». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2009. – С. 130-140.

41. Железнов, Д.В. Транспортно-логистическое развитие Забайкалья [Текст] / Д.В. Железнов, Н.П. Сигачёв, М.И. Коновалова // Материалы межвузовской научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», 12-15 октября 2009 г. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС. – т. 1. – 2009. – С. 184-189.

42. Железнов, Д.В. Проблемы и перспективы развития пограничной инфраструктуры на железнодорожных пунктах пропуска Российской Федерации [Текст] / Д.В. Железнов, Н.А. Демидова // Сб. докл. межд. научно-практ. конф. «Приграничное сотрудничество: Россия, Китай, Монголия». //Министерство международного сотрудничества, внешнеэкономических связей и туризма Забайкальского края. – Чита: Экспресс-издательство. – 2009. – С. 128-132.

43. Железнов, Д.В. Модель развития транспортной системы [Текст] / Д.В. Железнов, А.А. Банщикова, П.Е. Волокитина // Межв. сб. научн. тр. «Промышленная и экологическая безопасность на транспорте». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2010. – С. 104-112. ISBN 978-5-98710-070-7.

44. Железнов, Д.В. Научные исследования – основа транспортной безопасности [Текст] / Д.В. Железнов, Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин // Тез. докл. техн.-экон. совета «Пути повышения уровня безопасности движения на Забайкальской железной дороге в 2010 году и на среднесрочную перспективу», 12-13 марта 2010 г. – Чита: ИПК «Забтранс» Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». – 2010. – С. 155-160.

45. Железнов, Д.В. Проект создания станции-отеля в районе пограничной перегрузочной станции [Текст] / Д.В. Железнов // Мат. III всер. научно-практ. конф. с межд. уч. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», 15-19 мая 2012 г. – Иркутск: в 2-х т. – Изд-во ИрГУПС, 2012. – С. 72-86. ISBN 978-5-98710-176-6.

46. Железнов, Д.В. Компоновка станций, специализированных для отстоя вагонов [Текст] / Д.В. Железнов // Мат. III всер. научно-практ. конф. с межд. уч. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», 15-19 мая 2012 г. – Иркутск: в 2-х т. – Изд-во ИрГУПС, 2012. – С. 91-95. ISBN 978-5-98710-176-6.

47. Железнов, Д.В. Прогнозирования размеров движения поездов на участке с применением нейронных сетей [Текст] / Д.В. Железнов // Мат. IV всер. научно-практ. конф. с межд. уч. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», 13-17 мая 2013 г. – Иркутск: в 2-х т. – Т. 1. – Изд-во ИрГУПС, 2013. – С. 30-35. ISBN 978-5-98710-223-7.

48. Железнов, Д.В. Увеличение провозных способностей железных дорог Дальневосточного региона [Текст] / Д.В. Железнов, Е.С. Сычёв // Мат. IV всер. научно-практ. конф. с межд. уч. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», 13-17 мая 2013 г. – Иркутск: в 2-х т. – Т. 1. – Изд-во ИрГУПС, 2013. – С. 159-167. ISBN 978-5-98710-223-7.

Железнов Дмитрий Валерианович

МЕТОДОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ РОССИИ В УСЛОВИЯХ РЕФОРМЫ ОТРАСЛИ

Специальность 05.22.08– Управление процессами перевозок
Автореферат диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Подписано в печать

Заказ №

Усл. печ. л. 3

Формат бумаги 60×90¹/₁₆

Тираж 100 экз.

УПЦ ГИ МИИТ 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова 9, стр.9