

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет путей сообщения»
МГУПС (МИИТ)

На правах рукописи

Железнов Дмитрий Валерианович

Методология усиления провозной способности железных дорог России
в условиях реформы отрасли

05.22.08 – Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук

Научный консультант
доктор технических наук, профессор
Батурин Александр Павлович

Москва – 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, СВЯЗАННЫХ С НЕДОСТАТКОМ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ, В УСЛОВИЯХ РЕФОРМИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ	9
1.1. Выявление причин возникновения недостатка пропускной способности	9
1.2. Обзор научных исследований	10
1.2.1. Модернизация транспортной системы	10
1.2.2. Обзор методов прогнозирования транспортных потоков	13
1.2.3. Управление вагонными парками	18
1.2.4. Распределение порожнего подвижного состава по пунктам погрузки	35
1.2.5. Анализ провозной способности сети железных дорог в условиях работы парка частных вагонов	39
1.2.6. Пропуск поездов при проведении работ по капитальному ремонту пути	43
1.2.7. Использование на железных дорогах высоких информационных технологий	55
Выводы по первой главе	62
2. МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ	64
2.1. Основные определения и понятия	64
2.2. Анализ внешних и внутренних связей	66
2.3. Дополнение моделей развития магистральной транспортной сети	70
2.3.1. Статистическая с дискретно-непрерывными переменными	71
2.3.2. Динамические модели	73
2.4. Оценка своевременности проведения мероприятий по модернизации на основе модели расчёта нагрузки на элементы сети при прогнозировании стационарных транспортных потоков	76
2.5. Прогнозирование объёмов перевозок грузов	82
2.6. Модель выбора направления модернизации объекта региональной транспортной системы	90
Выводы по второй главе	93
3. ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОБЕЗЛИЧЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРКАМИ ПРИВАТНЫХ ВАГОНОВ	95
3.1. Определение структуры парка грузовых вагонов Российской Федерации	95
3.2. Классификация операторских компаний	99
3.2.1. Методология категорирования компаний	99
3.2.2. Итоги категорирования	104
3.3. Влияние децентрализации вагонных парков на транспортные процессы	106
3.3.1. Влияние тарифа на работу парка и темпы развития инфраструктуры	106
3.3.2. Управление вагонными парками	110
3.3.3. Избыточная нагрузка на сеть от перемещения парков	113
3.3.4. Совершенствование правовой базы	115
3.3.5. Оценка эффективности работы вагонных парков в современных условиях	116
3.3.6. Технология обезличенного управления регулируемым парком вагонов	120
3.4. Принципы организации вагонной биржи	123
3.4.1. Ценообразование в сфере грузовых перевозок	123
3.4.2. Механизм реализации биржевых процессов	125
3.5. Поструйное управление грузопотоками	126
Выводы по третьей главе	128
4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ ПО МЕСТАМ ПОГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПРИВАТНОГО ПАРКА	130
4.1. Требования, предъявляемые к методологии определения спроса в погрузочных ресурсах	130

4.2. Методология определения потребности пунктов погрузки в подвижном составе с учётом принадлежности вагонов и пригодности под погрузку	131
4.2.1. Постановка задачи	131
4.2.2. Определение спроса пунктов погрузки	133
4.3. Корректировка потребности в подвижном составе	134
4.3.1. Постановка задачи	134
4.3.2. Выбор критериев для проведения оценки пунктов погрузки	138
4.3.3. Определение приоритетов пунктов погрузки	141
4.3.4. Метод проведения корректировки спроса пунктов погрузки в погрузочных ресурсах	143
4.4. Разработка системы поддержки принятия решений о корректировке спроса пунктов погрузки в порожнем подвижном составе	144
4.4.1. Обобщенный алгоритм работы	151
4.4.2. Организация базы знаний	154
4.4.3. Работа базы знаний	156
Выводы по четвёртой главе.....	158
5. ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПАРКА ПРИВАТНЫХ ВАГОНОВ.....	161
5.1. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков	161
5.2. Оценка снижения провозной способности сети от разделения парков	162
5.2.1. Оценка влияния разделения парков между странами участниками СНГ и Балтии	162
5.2.2. Оценка влияния полного использования частного парка вагонов для обеспечения грузовых перевозок	163
5.3. Влияние размещения вагонного парка на эксплуатационную работу полигонов сети.....	171
5.3.1. Текущая оценка эксплуатационных параметров сети	171
5.3.2. Факторы, определяющие зависимость вместимости путей станций и парка вагонов	173
5.3.3. Порядок оценки возможностей отстоя частных вагонов на станциях.....	178
5.3.4. Рациональное соотношение между развитием станций и парками грузовых вагонов на перспективу.....	181
5.4. Формирование требований к уровню провозной способности ключевых сегментов сети железных дорог России.....	182
Выводы по пятой главе.....	185
6. УВЕЛИЧЕНИЕ ВМЕСТИМОСТИ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПУТЁМ СОЗДАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫХ КЛАССОВ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	187
6.1. Общие положения	187
6.2. Станции-отели	188
6.3. Развитие терминальных комплексов	195
6.3.1. Создание сети транспортно-логистических центров	195
6.3.2. Развитие сети терминалов по обслуживанию крупнотоннажных контейнеров	196
6.3.3. Обоснование реконструкции контейнерных терминалов	197
6.3.4. Создание сети терминалов для организации контейнерных перевозок	198
Выводы по шестой главе	200
7. ВЛИЯНИЕ ЛЕТНИХ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СЕТИ ПРИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПУТИ.....	201
7.1. Проблемы, возникающие в организации движения поездов в период проведения летних путевых работ и постановка задач исследования	201

7.2. Изучение характера задержек поездов в период проведения работ по капитальному ремонту пути	203
7.2.1. Задержки поездов, вызванные недостатком пропускной способности	203
7.2.2. Анализ задержек поездов в ожидании технического осмотра	211
7.2.3. Определение аналитических зависимостей задержек поездов	213
7.3. Влияние неравномерности поездопотока на величину дополнительных задержек поездов в период проведения капитального ремонта пути	232
7.3.1. Определение внутрисуточной неравномерности поездопотока и её влияние на величину дополнительных задержек поездов	233
7.3.2. Корректировка моделей задержек поездов с учётом внутрисуточной неравномерности поездопотока	242
7.3.3. Экспериментальная проверка разработанной модели суммарных задержек поездов	243
7.3.4. Определение вида зависимости коэффициентов неравномерности от продолжительности рассматриваемого периода	249
7.4. Оптимизация пропуска поездов в период капитального ремонта пути	250
7.4.1. Условие недопущения суточного съёма поездов	250
7.4.2. Организация пропуска поездов в период технологических «окон»	255
7.4.3. Определение себестоимости выполнения работ по капитальному ремонту пути в части зависящих расходов	260
7.4.4. Выбор оптимальных параметров «окна»	267
7.4.5. Анализ экономической эффективности оптимизационной модели	270
Выводы по седьмой главе	275
8. ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СЕТИ ПРИ РОСТЕ НОРМ ДЛИНЫ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ	277
8.1. Анализ соответствия длины блок-участков сети железных дорог колеи 1520 мм нормам длины грузовых поездов по условиям безопасности	277
8.2. Использование цифровых моделей железных дорог для решения задач эксплуатационной работы	278
8.2.1. Модель путевого развития	278
8.2.2. Модели динамических объектов	280
8.2.3. Принципы использования цифровых моделей для решения задач эксплуатационной работы железных дорог	283
8.3. Оценка возможности применения космической навигации для интервального регулирования движения поездов	284
8.4. Принципы построения системы интервального регулирования движения поездов с использованием космической навигации	286
Выводы по восьмой главе	295
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	296
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	302
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	325
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	331

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе реформирования железнодорожного транспорта после преодоления экономикой страны последствий кризиса возобновился рост объёмов перевозок железнодорожным транспортом.

Третий этап реформирования железнодорожного транспорта характеризовался постепенным снижением доли вагонов инвентарного парка в связи с созданием Первой и Второй грузовых компаний. После передачи им в оперативное управление вагонов инвентарного парка, они перешли в категорию «приватных». Сформирован конкурентный сегмент транспортного рынка. При этом кардинально изменилась схема взаимоотношений между грузовладельцами, публичным перевозчиком, компаниями-операторами подвижного состава.

Преимущественно сырьевой сценарий развития экономики России, её интеграция в мировую экономику кардинально изменили характер экономических связей между промышленными предприятиями различных регионов. На протяжении не одного десятилетия сеть железных дорог развивалась для обеспечения связей внутри страны. Соответственно, высокий уровень технического оснащения имеют магистральные направления в центральной части сети, а также линии, связывающие удалённые регионы с центром. Финансовый кризис и последовавшее за ним падение объёмов перевозок обозначили ещё одну проблему: недостаточную вместимость сети железных дорог для отстоя вагонов в ожидании погрузки.

Между тем, вначале распад СССР, а позднее процессы интеграции России в мировую экономику, существенно повысили требования к провозным способностям на отдельных направлениях следования экспортных грузов – прежде всего на подходах к портам и пограничным станциям. Ситуация значительно отягощается географическим фактором: утрачена преобладающая часть портовых мощностей на Балтике, Каспии и Черноморском побережье, а перерабатывающая способность российских портов на этих направлениях оказалась несопоставимой с потребностями экономики. Пропускные способности подходов к Новороссийскому порту, оказались значительно ниже требуемых, что уже в начале 90-х годов прошлого века стало вызывать серьёзные проблемы в эксплуатационной работе этого направления. Строительство новых портов на Балтике (Усть-Луга) и Каспии (Оля), развитие портовых мощностей на Черноморском побережье (Туапсе) позволило, пусть и с существенным запаздыванием решить проблему перевалки на морской

транспорт экспортных грузов. Однако, устаревшие подходы к развитию пропускных способностей на подходах к портам не позволили в полной мере решить проблему своевременности при доставке грузов к портам и отвода от них порожних вагонов.

Смещение центра тяжести мирового производства в Азиатско-Тихоокеанский регион, перенос в него производств из Западной Европы и США, бурный рост экономики Китая и её сырьевая зависимость от поставок из России, привели к смещению экспортных грузопотоков на это направление. Высокий уровень технического оснащения Транссибирской магистрали, своевременно реализованный инфраструктурный проект «Нефть на Китай», строительство нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» позволило транспортной системе в целом соответствовать требованиям растущей экономики. Однако, и на этом направлении имеются существенные инфраструктурные проблемы.

Актуальность исследуемой проблемы. Невозможность обезличенного управления парками вагонов в современных условиях требует пересмотра подходов к этой проблеме, создания новой теории управления парками частных вагонов. Последствия неэффективного управления вагонным парком проявляются в избыточной нагрузке на сеть железных дорог, росту потребной пропускной способности на ключевых направлениях транспортировки грузов, обнажают проблемы недостаточной вместимости путей общего пользования в местах массовой погрузки и выгрузки.

Развитие системы управления эксплуатационной работой на железных дорогах России в условиях реформы является одной из важнейших и актуальных задач в сфере транспорта. Необходимо дальнейшее развитие теории, обеспечивающей взаимную увязку развития сети железных дорог и её элементов с потребностями развивающейся экономики страны, её населения.

Цель диссертационного исследования – создание теории функционирования и развития системы управления эксплуатационной работой на железных дорогах России в условиях реформы в части усиления провозной способности ключевых направлений сети, а также управления парками вагонов различной принадлежности.

Для достижения цели работы необходимо последовательное решение ряда **теоретических и практических задач**:

- выполнить анализ текущего состояния вопроса в предметной области и дать оценку:

- влияния сырьевой направленности экономического развития страны на использование провозной способности сети железных дорог;
- снижения провозной способности железных дорог от разделения парков;
- зависимости использования провозной способности полигонов сети от размещения парков;
- влияния на пропускную способность полигонов сети: летних путевых работ при современных технологиях, систем тягового электроснабжения и интервального регулирования движением поездов;
- установить зависимости между возрастающим грузопотоком и уровнем технического развития отдельных фрагментов сети железных дорог;
- с позиций системного анализа выполнить увязку модернизации транспортно-логистической системы с потребностями экономики;
- с позиций логистики определить требования:
 - к модернизации транспортной системы с выделением конкретных мероприятий и оценкой их своевременности;
 - уровню провозной способности ключевых сегментов сети железных дорог;
- построить модели:
 - определения провозной способности маршрута;
 - управления парками частных вагонов;
 - корректировки потребности пунктов погрузки в порожних вагонах;
- создать методики:
 - оптимизации программ модернизации региональных транспортных систем и систему оценки её эффективности;
 - сегментирования рынка грузовых перевозок;
 - определения потребности пунктов погрузки в подвижном составе с учётом пригодности под погрузку;
 - проведения корректировки спроса пунктов погрузки в погрузочных ресурсах;
- разработать принципы:
 - эффективного управления вагонным парком;
 - организации вагонной биржи;
 - создания экспертной системы для поддержки принятия решений о корректировке спроса в порожнем подвижном составе;

Объектом исследования является система управления эксплуатационной работой на железных дорогах, включая такие области, как:

- планирование, организация и управление транспортными потоками;
- технология транспортных процессов;
- развитие транспортной сети и её фрагментов.

Предмет исследования – система управления эксплуатационной работой на железных дорогах РФ в условиях реформы транспортной отрасли, и, в частности, при переходе на использование полностью приватного 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 процессор *MS Excel*, а также компьютерные программы разработанные автором лично. При разработке схем станций использован программный продукт *AutoCAD* фирмы *Autodesk, Inc.*

Информационно-эмпирическую и нормативно-правовую базу исследования составили:

- научные источники в виде данных и сведений из книг, журнальных статей, научных докладов и отчетов, материалов научных конференций, семинаров;
- статистические источники в виде отчётов органов государственной, региональной, ведомственной статистики, материалов отечественных и зарубежных организаций, фондов, институтов;
- официальные документы в виде кодексов законов, законодательных и других нормативных актов, в том числе положений, инструкций, докладов, проектов;
- ресурсы *Internet*;
- научные работы выполненные автором лично.

1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, СВЯЗАННЫХ С НЕДОСТАТКОМ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ, В УСЛОВИЯХ РЕФОРМИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ

1.1. Выявление причин возникновения недостатка пропускной способности

Главная причина недостатка пропускной способности – несоответствие уровня развития сети федеральных железных дорог, законодательных основ организации процесса перевозок и парками вагонов, перемещающимися по сети. Обстановка отягощается отсутствием эффективной системы централизованного планирования перевозок, что приводит к ошибкам в управлении вагонными парками.

Структура исследования приведена на рисунке 1.



Рисунок 1

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. Если во времена работы Госплана железнодорожный транспорт развивался в тесной увязке с потребностями экономики страны, то

с отказом от централизованного планирования, особенно в период резкого снижения объёмов грузоперевозок в 1991-1998 гг., стратегическое планирование развития транспортной сети, и в первую очередь железных дорог, не осуществлялось. Это привело к несоответствию между потребностями экономики и реальным положением дел.

Традиционно, основным путём наращивания провозных способностей полигонов и направлений является рост массы поезда. Такой подход доказал свою эффективность – на протяжении многих лет он широко используется на практике. Такой эксплуатационный показатель как производительность локомотива традиционно является одним из главных показателей качества эксплуатационной работы. В условиях работы общего локомотивного парка его значение бесспорно. Однако, в современной практике сбои в ритмичности работы ключевых станций зачастую приводят к остановкам продвижения поездопотоков, что приводит к падению участковой скорости, производительности локомотива, при этом резко возрастает парк локомотивов и в тоже время возникает их нехватка в пунктах смены локомотивов. Переход на работу локомотивного парка на длинных кругах обращения серьёзно повышает цену ошибки в регулировке локомотивного парка. Использование технологии пропуска порожних маршрутов длиной 100 условных вагонов приводит к возникновению непарности, как следствие на Транссибе традиционно возникает избыток на восточных границах кругов обращения и наоборот недостаток на западных.

1.2. Обзор научных исследований

1.2.1. Модернизация транспортной системы

Общие принципы развития транспортной системы были сформулированы в трудах ряда отечественных учёных, таких как А.Э. Александров, В.И. Апатцев, Н.Н. Барков, А.П. Батурин, И.В. Белов, А.Ф. Бородин, В.Г. Галабурда, А.Е. Гибшман, Н.Н. Громов, С.В. Дувалян, Ю.В. Дьяков, Ю.И. Ефименко, Л.В. Канторович, А.Б. Каплан, Г.Н. Ковшов, Б.С. Козин, И.Т. Козлов, П.А. Козлов, Г.П. Кобылковский, Л.И. Колесов, В.А. Кудрявцев, А.П. Кузнецов, Ю.Д. Кузнецов, В.Н. Лившиц, Б.Ю. Левит, А.М. Макарович, В.Н. Образцов, В.А. Персианов, В.И. Петров, В.В. Повороженко, Э.И. Позамантир, С.М. Резер, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков, Г.И. Черномордик, В.А. Шаров, Б.И. Шафиркин.

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 следующих учёных: Р.Т. Вонг, В. Кристаллер, Т.Л. Маньянти, Г. Поттгофф, К.Ю. Рихтер, П.А. Стенбринк, Л. Столерю, И.Г. Тюнен, Ф. Хейт, Дж. Шапиро. В работе Т.Л. Маньянти и Р.Т. Вонга [1] рассматриваются вопросы применения оптимизационных моделей для установления оптимальных транспортно-экономических связей и развития транспортной инфраструктуры. Г. Поттгофф в своей работе [2] рассматривает основные виды транспортных потоков и методы анализа транспортных систем.

В работах многих современных экономистов говорится о необходимости разработки новой логистической модели процессов производства материальных благ и их распределения, ввиду того, что экономическая наука, её теория и теория управления продолжают «развиваться», опираясь на модель материального производства, сформировавшуюся много веков назад. Интересна логистическая модель процессов производства материальных благ и их распределения, разработанная в работе И.И. Сидорова [3], позволяющая рассматривать труд как потоковый процесс. По мнению автора, труд представляет исключительно целенаправленные и упорядоченные траты интеллектуальной и физической энергии человека. Энергетическое видение природы труда создаёт необходимые условия и предпосылки для раскрытия особенностей развития человеческой цивилизации, его материального производства, сущностного аспекта научно-технического прогресса, природы информации и инноваций и выявление на этой основе природы затрат.

Транспорт представляет собой большую и очень сложную подсистему национальной экономики. Его развитие тесно связано с протекающими экономическими процессами. Перекосы, допускаемые в размещении производительных сил, находят своё отражение в формировании транспортной инфраструктуры.

Процесс развития технического оснащения сети железных дорог – последовательное изменение во времени технической оснащённости важнейших объектов сети: линий и станций, вследствие их модернизации или реконструкции с целью внедрения на этих объектах современных технических решений и технологий перевозочного процесса для выполнения перспективного сетевого плана перевозок грузов и пассажиров, заданного на ближнюю или дальнюю перспективу [4].

Медленное освоение восточных и северных территорий, исторически обладающих низкой плотностью населения, нашло своё отражение в формировании путей сообще-

ния. Существующая сегодня региональная неравномерность развития транспортной инфраструктуры ограничивает развитие единого экономического пространства страны и не позволяет в полной мере осваивать ресурсы регионов. Наиболее существенны различия между европейской частью Российской Федерации и регионами Сибири и Дальнего Востока. Различия в транспортной обеспеченности между субъектами Российской Федерации достигают недопустимого уровня, отмечается в [5].

Транспорт относится к классу «открытых» систем [6, 7]. На системы этого класса существенное влияние оказывает внешняя среда. Именно она определяет правовые взаимоотношения между участниками транспортных процессов, создаёт новые пути сообщения и, самое главное, генерирует потоки грузов и пассажиров. Развитие транспортных систем всегда базируется на некоем прогнозном сценарии. От точности прогнозов прямо зависит экономическая эффективность инвестиций в транспортную отрасль. В работе [8] дано определение перспективных потребностей в перевозках, их объёмов и структуры, рассмотрены методы оптимизации развития магистральной и региональной транспортной сети, планирование научно-технического прогресса на транспорте, оптимизация структуры и поставок транспортных средств.

Советская школа планирования [9] ставила во главу угла минимизацию расходов на развитие транспортной инфраструктуры, исходя из необходимости достижения главной цели – полного удовлетворения потребностей экономики страны и населения в перевозках. Причём эта задача решалась во взаимной увязке со всеми отраслями народного хозяйства. Говоря иначе, государство рационально распределяло инвестиции между всеми отраслями экономики, с тем, чтобы обеспечить выполнение запланированных макропоказателей экономического развития. В современных условиях большинство моделей советских экономистов не работают в чистом виде, требуя привязки к современным реалиям. Например, в работе [6] автором приводятся детерминированные модели развития магистральной транспортной сети:

- статистическая с дискретно-непрерывными переменными;
- динамическая с дискретно-непрерывными переменными;
- динамическая с непрерывными переменными.

1.2.2. Обзор методов прогнозирования транспортных потоков

Прогнозирование транспортных потоков достаточно малоизученная область прогностики. Большинство работ специалистов транспорта не отличается глубиной проработки, как правило, они носят 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.

Ещё в начале 30-х годов прошлого века советские специалисты М.И. Загордан и Ф.П. Кравец [10] предложили аналитическую зависимость для прогнозирования пассажиропотоков, основанную на принципе пропорциональности числа пассажиров произведению численности населения двух пунктов и обратной пропорциональности квадрату расстояния между ними.

Идея подобия гравитационному взаимодействию в дальнейшем получила серьёзное развитие, например в работе Г.А. Заблоцкого [11]. Недостатки таких моделей очевидны и могут быть разделены на две группы: субъективизм при отборе учитываемых показателей, что не позволяет учитывать индивидуальные особенности объектов прогнозирования, а также сложность определения коэффициента пропорциональности для перспективных условий.

В.А. Персианов внес серьёзный вклад в развитие теории прогнозирования транспортных процессов В работе [12] им сформулированы в общем виде этапы процесса прогнозирования.

М.Н. Беленький в работе [13] справедливо указывает на неправомерность использования при планировании отчётных данных об исполненных перевозках и необходимость создания самостоятельной теории прогнозирования транспортных процессов.

В работе П.А. Дармояна и Н.Г. Кучевского [14] рассмотрены вопросы методики прогнозирования пассажирских перевозок, дана характеристика существующих методов исчисления перспективного объёма пассажирских перевозок во внегородском сообщении, обобщены экономико-математические методы прогнозирования пассажирских перевозок. Предложена адаптация многофакторной динамической модели для прогнозирования пассажирских перевозок, включая отбор и описание характеристик наиболее существенных факторов, влияющих на пассажирские перевозки. Описано прогнозирование пассажир-

ских перевозок с помощью метода экспоненциального сглаживания и определение объема пассажирских перевозок методом гармонических весов.

Л.П. Тулупов в работе [15] предложил ситуационно-эвристический метод для прогнозирования количественных показателей поездной и грузовой работы в оперативном управлении. Однако, дуализм, заложенный в основе метода, серьёзно осложняет применение его на практике.

С.С. Жабров в работе [16] применительно к краткосрочному прогнозированию потоков пассажиров в прямом и местном сообщении, используя теорию гармонического анализа, получил конкретное прогнозное уравнение. К сожалению, в статье не приведён пример расчёта по авторской модели, а в её описании допущен ряд неточностей, что делает очень сложным её использование на практике.

Обобщение работ в области прогнозирования транспортных потоков выполнено в работах Н.В. Правдина [17 и 18]. Определены основы прогнозирования грузовых и пассажирских потоков и влияние прогноза на совершенствование работы железнодорожного транспорта. Установлены требования к прогнозирующей системе. Указаны направления развития методов прогнозирования грузовых и пассажирских потоков. При описании процессов автоматизированного прогнозирования транспортных потоков авторы предсказывают перспективу применения персептрона (простейшей нейронной сети) для этой цели.

В статье А.А. Замкового, М.М. Строкова [19] предложена концепция стратегического прогнозирования объёмов грузовых железнодорожных перевозок в условиях экономической нестабильности, с помощью спектрального анализа выявлены волны Кондратьева, описывающие глобальные процессы в макроэкономике.

Пехтеревым Ф.С. [20, 21] высказана идея необходимости возврата в современных условиях к практике составления межотраслевых балансов, под которыми понимается способ детального описания материальных и финансовых потоков, их величины и направлений, а также структуры затрат и поставок в секторальном разрезе. Строятся такие балансы на основе таблиц «затраты-выпуск». Только в этом случае возможна качественная перекрёстная проверка прогнозной базы грузопотоков. К сожалению, в полной мере сегодня этот подход трудно реализуем в виду практического отсутствия аналитического учёта объёмов грузов, перевозимых автомобильным и внутренним водным транспортом.

В последние годы наблюдается рост интереса к нейронным сетям. Появляются новые пути приложения этого аналитического аппарата для решения практических задач прогнозирования.

ния в разных сферах деятельности человека. Так, учёными ИрГУПСа разработана методика краткосрочного прогнозирования с использованием факторной нейросетевой модели. Практически она апробирована для прогнозирования потребления электрической энергии на тяговых подстанциях [22].

Нейронная сеть оптимально сочетает в себе такие характеристики как быстроедействие и высокая аппроксимирующая способность. Аппарат искусственных нейронных сетей позволяет оценивать влияние качественных и количественных факторов в динамике. Реализация факторного нейросетевого прогнозирования осуществляется посредством использования модели, представленной на рисунке 2. Здесь $Y(t)$ и $X_i(t)$ – соответственно выходной (прогнозируемый) и входные (критериальные) параметры.

Модель факторного нейросетевого прогноза

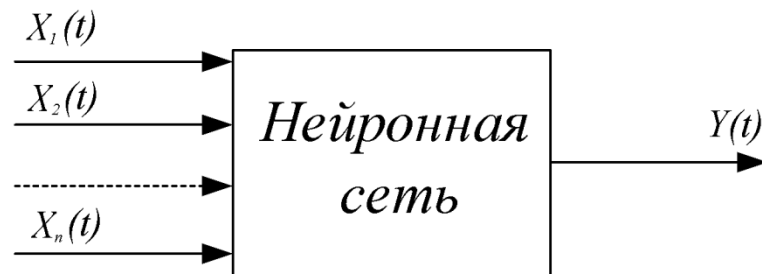


Рисунок 2

Представленная модель является простейшей и ориентирована на прогнозную оценку одного параметра. Эффективность в обучении нейронной сети достигается за счет изменения числа слоев, а также количества нейронов в них и других операций. Модель практически реализована для решения задачи прогноза электропотребления активной энергии тяговыми подстанциями Забайкальской железной дороги в целом и по ее отделениям [23, 24].

В работах А.Б. Барского [25, 26] рассмотрено применение нейросетевых технологий для прогнозирования транспортных процессов. В работе А.П. Кузнецова [27], на базе понятия динамической транспортной карты (ДТК), предложен единый методологический аппарат описания процессов грузовых перевозок в рамках транспортной сети региона, что позволило автору использовать его как теоретическую основу для применения методов прогнозирования грузовых перевозок. Адекватная модель грузовых перевозок на транспортной сети региона для выбранной категории груза, сводится к регрессионной модели объёма перевозок в случае, если на интервале прогнозирования ДТК обладает свойствами топологической и структурной устойчивости. В случае же её структурной неустойчивости находится такое разбиение транспортной сети на участки, что ДТК для каждого участка будет обладать структурной устойчивостью. Такой подход позволил автору построить методы прогнозирования перераспределения грузопоток для транс-

портной сети региона. В случае экономической стабильности и неэластичности функции спроса на транспортные услуги для построения модели прогноза грузовых перевозок рекомендуется использовать методы анализа и прогнозирования временного ряда, описывающего изменения интегральных по транспортной сети объёмных показателей, основанных на корреляционном анализе и разложении его по главным компонентам.

При наличии структурной неустойчивости прогнозирование перевозок дополняется процедурой прогнозирования перераспределения грузопотоков на транспортной сети, которое достигается за счет применения методов разбиения сети на транспортные участки, обладающие структурной устойчивостью. Автором разработана система исходных данных, адекватно описывающая основные характеристики процесса грузовых перевозок и внешнеэкономических факторов. В качестве основных показателей, характеризующих внешние условия, были выбраны: тарифные цены на перевозку, индекс инфляции, внутренний (РТР) и внешний (Доу-Джонса) индексы деловой активности и средние биржевые цены груза, как товара. Математическая модель спроса на транспортные услуги принята в форме линейной функции регрессии на главные компоненты от ценовых и внешнеэкономических факторов.

Существует значительное число методов прогнозирования. Большинство из них вполне применимо для прогнозирования грузопотоков [28]. Общеизвестны методы прогнозирования временных рядов [29]:

- эконометрические;
- регрессионные;
- методы Бокса-Дженкинса (*ARIMA*, *ARMA*).

Известны достоинства и недостатки этих методов, но даже наиболее сложные из них опираются на один фактор – временной. Системный анализ внешних связей транспортных систем показывает, что на формирование грузопотоков оказывают влияние значительное количество факторов, а время лишь удобная для восприятия ось, на которую удобно проецируются влияния. Отказаться в полной мере от такого подхода нельзя, ведь именно временная ось связывает прошлое, через настоящее, с будущим, но, однако, следует признать такой подход излишне механистическим.

В настоящее время самым перспективным количественным методом прогнозирования является использование нейронных сетей [29]. В общем случае нейронная сеть (*neural network*) представляет собой машину, моделирующую способ обработки мозгом

конкретной задачи. Эта сеть обычно реализуется с помощью электронных компонентов или моделируется программой, выполняемой на цифровом компьютере [30]. Можно назвать много преимуществ нейронных сетей над остальными алгоритмами, два основных алгоритма которых:

- использование многослойных персептронов;
- использование нейронных сетей с общей регрессией (*GRNN*), в т.ч. и с применением генетических алгоритмов (*GRNN-GA*).

При использовании нейронных сетей легко исследовать зависимость прогнозируемой величины от независимых переменных. Возможно построение системы на нейронных сетях, которая бы учитывала зависимость (30) естественным образом и строила краткосрочные прогнозы.

В такой постановке задачи большая часть классических методов прогнозирования будет просто несостоятельной. Можно попробовать построить систему на основе нелинейной множественной регрессии, или вариации сезонного алгоритма *ARIMA*, позволяющей учитывать внешние параметры, но это будут модели, скорее всего малоэффективные (за счет субъективного выбора модели), и крайне негибкие. Используя же даже самую простую нейросетевую архитектуру (персептрон с одним скрытым слоем) и базу данных (о фактически исполненных перевозках и значениями всех параметров) легко получить работающую систему прогнозирования. Причем учёт системой внешних параметров будет определяться включением, или исключением соответствующего входа в нейронную сеть.

Ещё одно серьезное преимущество нейронных сетей состоит в том, что эксперт не является заложником выбора математической модели поведения временного ряда [25, 26, 31]. Построение такой модели происходит адаптивно во время обучения, без участия эксперта. При этом сети предъявляются примеры из базы данных и она сама подстраивает механизмы логических выводов с их учётом. База данных может динамически изменяться, т.е. поступающая новая информация используется для коррекции вычислительных алгоритмов, которые составляют динамическую базу знаний.

Недостатком нейронных сетей является их недетерминированность. Имеется в виду то, что после обучения имеется «черный ящик», который каким-то образом работает, но логика принятия решений нейросетью совершенно скрыта от эксперта. В принципе, существуют алгоритмы «извлечения знаний из нейронной сети», которые формализуют

обученную нейронную сеть до списка логических правил, тем самым создавая на основе сети экспертную систему. К сожалению, эти алгоритмы не встраиваются в нейросетевые пакеты, к тому же наборы правил, которые генерируются такими алгоритмами достаточно объёмные. Тем не менее, в практических задачах непрозрачность нейронных сетей не является сколь-нибудь серьёзным недостатком.

Использование нейронных сетей для прогнозирования потоковых процессов открывает большие возможности в оперативной работе железных дорог, ведь их применение позволяет 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.

Из работ зарубежных учёных в области прогностики для настоящего исследования представляют работы таких учёных как: Р. Акофф, Р. Беллман, Дж. ван Гиг, А. Гарсиа-Диас, С. Дрейфус, Л. Заде, В. Кинг, Д. Клиланд, Дж. Клир, Дж.Мартино, О. Оре, Г. Поттгофф, Д. Филлипс, С. Хайкин, Г. Хакен, Р.Шеннон, Э.Янч.

Г. Хакен развил и углубил Шенноновский подход к информации. Очень важна для настоящей работы его концепция больших (открытых) систем [32], а также предложенный автором макроскопический подход к синергетике.

В работе Дж. Martino [33] дана трактовка методики прогнозирования технического развития, освещены принципы организации и применения на практике результатов прогнозирования.

Г. Поттгофф [2] автор теории, в которой транспортные процессы представлены изменяющимися во времени. Предложено применение методов гармонического анализа для построения прогнозных моделей, описывающих работу транспортных систем.

1.2.3. Управление вагонными парками

Проблемы в управлении парками порожних вагонов возникали на разных этапах развития железных дорог, при этом всегда учёные-транспортники видели серьёзный резерв снижения транспортных издержек для грузовладельцев и эксплуатационных расходов для железных дорог в сокращении порожнего пробега. Этим задачам отведено большое место в исследованиях таких учёных, как А.П. Абрамов, А.А. Аветикян, А.В. Архангельский, В.И. Балч, В.И. Бодюл, В.К. Буянова, В.И. Васильев, Е.А. Ветухов, А.С.

Гершвальд, Б.А. Гершкович, В.Ф. Гречанюк, Г.М. Грошев, П.С. Грунтов, М.Л. Дыканюк, И.Г. Казовский, В.А. Кудрявцев, П.В. Куренков, Х.М. Лазарев, Е.И. Мокршицкий, С.Ф. Начученко, А.Т. Осьминин, В.В. Повороженко, Т.И. Рыбакова, Е.С. Сергеев, А.И. Сметанин, А.А. Смехов, Л.А. Степанов, Г.В. Тарунин, С.Г. Тихомиров, Л.П. Тулупов, А.К. Угрюмов, Ф.И. Хусаинов, И.Н. Шапкин, М.И. Шмелевич, Е.П. Юшкевич и др.

Обобщение первого опыта работы вагонного парка железных дорог России и СССР выполнена в работе Е.И. Мокршицкого [34]. Уже в 50-е годы прошлого века вопрос повышения качества работы вагонного парка стоял достаточно остро, поиск путей его решения на протяжении четверти века наглядно иллюстрируют работы [35, 36, 37, 38]. В издании [39] Е.С. Сергеев изложил базовые принципы разработки технического плана работы железных дорог, включая расчёт норм рабочего парка вагонов с распределением на порожние, транзит и с местным грузом. Регулирующее задание в увязке с размерами передачи вагонов по стыкам позволяло рационально использовать пропускные способности направлений сети.

В работе [40] рассмотрены основные направления интенсификации использования грузовых вагонов. Показана взаимосвязь между сокращением времени оборота и качеством работы локомотивного парка. Дана комплексная оценка влияния на качество работы парка вагонов обеспечивающих подсистем (вагонного и путевого хозяйств, грузовых фронтов). Выполнена экономическая оценка эффекта от сокращения порожнего пробега.

Возможности, открывающиеся при развитии АСУ, для решения задач повышения эффективности управления вагонным парком впервые реализованы на алгоритмическом уровне в работе М.И. Шмелевича [41].

Влияние эффективных форм организации взаимодействия со смежными видами транспорта, оптимизация работы железнодорожного транспорта за счёт применения вычислительной техники на уровне станций и грузовых фронтов промышленных предприятий, практика применения прогрессивных технологических разработок на сети отражены в работе [42].

Регулирование вагонных парков, техническое нормирование погрузки и выгрузки железных дорог, способы устранения породового размена, использование вагонов резерва МПС, разработка схем внутридорожной передачи порожних вагонов, меры оперативного регулирования перевозок рассмотрены в [43].

Теория регулирования грузовых перевозок обобщена в работе [44], там же предложена математическая модель продвижения вагонопотоков, рассмотрены вопросы прогнозирования погрузочных ресурсов.

Особняком в этом ряду стоит работа П.С. Грунтова [45], в которой впервые в системном виде показана взаимосвязь эксплуатационной надёжности станций различного назначения, графика движения поездов работы вагонного и локомотивного парков. Изложены методы и примеры расчёта путевого развития, прогнозирования показателей надёжности и простоя вагонов на станциях.

Комплексные методы сокращения простоя вагонов, рекомендации по их внедрению на практике приведены в работе [46].

С развитием автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом для повышения качества регулировки парками вагонов стала использоваться достоверная информация о техническом состоянии вагонов, претерпели изменения алгоритмы решения задачи распределения порожних вагонов под погрузку [47, 48, 49, 50].

В работе [51] изложены структура и современное состояние системы организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. Даны основные задачи, критерии и методы оптимизации расчетов планов формирования грузовых поездов. Большое внимание уделено маршрутизации перевозок с мест погрузки и календарному планированию погрузки грузов, не охваченных отправительской маршрутизацией. Приведены расчётные нормативы и характеристики распределения сортировочной работы на сети железных дорог, основные требования к развитию сортировочных станций. Определены пути совершенствования и автоматизации системы организации вагонопотоков.

В работах [52, 53, 54, 55] предложено учитывать пригодность под погрузку вагонов при решении задач регулировки парков, разработаны нормативы для суточного планирования погрузки по критерию затрат на подготовку вагонов при оперативном распределении порожних вагонов под погрузку.

Вопросам оперативного регулирования парка порожних вагонов построения математической модели эксплуатационной работы железных дорог для расчёта потоков порожних вагонов и потребных парков и создания на их основе системы автоматизированного расчёта планов передачи порожних вагонов по междорожным стыковым пунктам посвящены работы [56, 57 и 58].

Вопросам оптимизации обеспечения намечаемой погрузки погрузочными ресурсами и автоматизации планирования резерва вагонов в местах погрузки посвящены работы [59, 60 и 61].

В значительной мере обобщение практики советских железных дорог в части регулирования перевозок выполнено В.А. Кудрявцевым в [62].

В работах [63, 64] анонсируется автоматизированная система регулирования порожних вагонов на сетевом и дорожном уровнях разработанная специалистами ВНИИЖТа.

Вопросам централизованного распределения вагонов в оперативном режиме между станциями отстоя и обеспечения заявок на погрузку в современных условиях посвящены работы [65, 66 и 67].

Дальнейшее развития теория управления вагонными парками получила после его разделения между странами СНГ и Балтии. Новые подходы нашли отражения в трудах [68, 69].

Создание системы «Грузовой экспресс», её внедрение на практике позволило повысить качество работы вагонных парков, прежде всего при перевозках внешнеторговых грузов, что нашло отражение в трудах [70, 71]. В работе [72] рассмотрены вопросы улучшения взаимодействия транспортников и грузовладельцев в логистических системах с целью повышения показателей работы вагонов. В работе [73] разработаны и обоснованы новые методы анализа и управления качеством работы вагонного парка средствами автоматизированной системы пономерного учёта, контроля дислокации, анализа использования и регулирования вагонного парка на российских железных дорогах с учётом проведения рациональной инвестиционной политики по достижению основных качественных показателей работы транспортной системы. Обоснование применения показателя «коэффициент полезного использования грузовых вагонов» на дорожном и отделенческом уровнях предложен в [74].

С новой силой проблема качественного управления вагонными парками, снижения нагрузки на сеть железных дорог от перемещений избыточного парка встала после появления на рынке операторских услуг независимых компаний. Вопросам совершенствования методологии организации перевозочного процесса транспортными компаниями в конкурентной среде посвящена работа [75]. В работе [76] предложена методика экономической оценки управления вагонными парками компаний-операторов. Оценке эффек-

тивности использования грузовых вагонов транспортной компании посвящена работа [77]. Вопросу выбора форм организации потоков порожних частных и арендованных цистерн в поезда на входных сортировочных станциях дороги посвящена работа [78].

Методика расчёта и алгоритм оценки эффективности отношений между компаниями-собственниками подвижного состава и ОАО «РЖД» приведён в [79]. Вопросам обоснования системы экономических взаимоотношений между железными дорогами и владельцами собственных грузовых вагонов посвящена работа [80].

Экономическое обоснование системы расчётов за пользования грузовыми вагонами в международном сообщении сделано в [81]. В [82, 83] рассмотрено развитие системы операторских компаний в условиях монополизации железных дорог. Вопросам перспективного планирования потребности в парке грузовых вагонов железнодорожных компаний посвящена работа [84]. Методика оптимизации величины и структуры вагонного парка предложена в [85].

Подводя итоги анализа научных исследований в данной предметной области, следует отметить высокое напряжение научной полемики в этом вопросе, что подтверждает актуальность направления исследования. 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.

С начала существования российских железных дорог (1840-60 гг.), вагоны обращались только в пределах своей дороги. На стыковых пунктах производилась перевалка грузов из вагонов сдающей дороги в вагоны принимающей дороги. Такая система обеспечивала для каждой дороги постоянство парка вагонов, которые были ее собственностью. Прямые перевозки осуществлялись на основе соглашений о размерах подвода груженых вагонов к стыковым пунктам. Регулировочные меры носили внутридорожный характер. Регулирование парка основывалось на очередности приёма грузов к перевозке [34, 86].

С развитием перевозок в прямом сообщении все сильнее проявлялись недостатки существующей системы: большие задержки вагонов и затраты на перегрузку грузов по стыковым пунктам дорог, а также порожние пробеги по подаче и уборке порожних вагонов. Поэтому в 1868 г. было принято первое соглашение между некоторыми дорогами об установлении прямого сообщения. В 1887 г. было принято Соглашение о прямом

бесперегрузочном сообщении. Инициаторами стали сами дороги. Переход вагонов между дорогами стал производиться по принципу срочного возврата. Ликвидация перегрузки грузов на стыковых пунктах положительно сказалась на деятельности дорог, и число таких соглашений стало расти. Каждое содержало свои штрафные обязательства по возврату вагонов, что усложняло взаимоотношения между дорогами. Кроме того, срочный возврат вагонов после выгрузки на дорогу-владелицу не давал возможности в полной мере улучшить использование вагонов, так как они, как правило, возвращались в порожнем состоянии. Штрафные санкции были таковы, что дороги стремились «чужие» вагоны отправить в порожнем состоянии, а имеющийся в том же направлении груз загружать в свои вагоны. Это приводило к излишнему пробегу порожних вагонов.

В 1889 г. было принято «Общее соглашение о взаимном пользовании товарными вагонами», по которому для всех дорог устанавливали обезличенное использование вагонов и единые штрафные санкции, регламентирующие использование «чужих» вагонов. Срочный возврат сохранялся при этом лишь для специальных вагонов, переход остальных вагонов осуществлялся по принципу равночисленного обмена их по роду с разрешением замены отдельных типов вагонов другими. Передаваемые вагоны учитывались по номерам и осматривались в техническом и коммерческом отношении [87].

Все мероприятия по оптимизации управления вагонопотоками носили в тот период относительно добровольный характер и были результатом соглашения между различными компаниями, а не результатом единой централизованной государственной политики.

В 1916 г. «Временными правилами о распределении вагонного парка между дорогами» устанавливается порядок распределения подвижного состава между дорогами в зависимости от заданных объёмов работы и вводится принцип принудительной взаимопомощи вагонами.

В 1917 г. стали усиливаться тенденции к дальнейшей централизации и регулированию на основе единого плана перевозок. Эти предложения не только не находили поддержки, но зачастую встречали прямое противодействие со стороны грузоотправителей.

После прихода к власти правительства большевиков в 1917 г. мнение грузоотправителей стало игнорироваться, поэтому популярность идей централизованного регулирования вагонного парка в масштабах сети возрастала. Одним из аргументов в пользу централизации управления вагонопотоками заключался в том, что она позволит перево-

зять большой объём груза при менее развитой инфраструктуре. И действительно: для условий, когда нет никакого частного рынка, когда ни сервис, ни качество транспортного обслуживания, ни скорость доставки не важны, а важна лишь грузонапряжённость и необходимо освоение большого грузооборота тяжёлой промышленности периода индустриализации, централизация представлялась оптимальным решением. Идею объективной необходимости скоординированного ведения народного хозяйства в масштабах всей страны обосновал Г.М. Кржижановский, заложивший в план ГОЭЛРО принцип планомерной организации общественного производства [88].

Впервые в мире были применены такие регулировочные меры, как обезличенное использование вагонов при равночисленном обмене между дорогами, принудительное перераспределение парка вагонов между дорогами, конвенционные запрещения погрузки и пропуска вагонов по направлениям [86]. С 1943 г. стал разрабатываться регулировочный план передачи порожних вагонов по родам подвижного состава по всем стыковым пунктам дорог. Дальнейшее развитие методов регулирования вагонных парков привело к созданию комплексного регулирования парков порожних и гружёных вагонов, которая применялась на сети российских железных дорог с 1957 г. вплоть до полной ликвидации инвентарного парка.

Организационная схема взаимосвязи работников всех уровней управления, ответственных за распределение порожнего подвижного состава (ПС), действовавшая в таком виде фактически до реформирования железных дорог приведена на рисунке 3.

Постепенное увеличение доли приватного подвижного состава в ходе проведения реформы железнодорожного транспорта привело к тому, что система регулирования парков охватывала всё меньшую его долю, и в связи с полным исключением категории «инвентарный вагон», в ходе проведения реформы железнодорожного транспорта, фактически прекратила своё существование.

Железнодорожный транспорт Европы находится на стадии глубоких перемен, которые затрагивают и управление инфраструктурой, и организацию перевозочного процесса. Реструктурируются транспортные компании, изменяются взаимоотношения между железными дорогами и грузовладельцами. В условиях конкуренции с другими видами транспорта вырабатываются чёткие стратегии рыночного поведения на основе сценариев вероятного развития ситуации в среднесрочной перспективе.

Организационная схема взаимосвязи лиц, ответственных за распределение порожнего подвижного состава, действовавшая в СССР

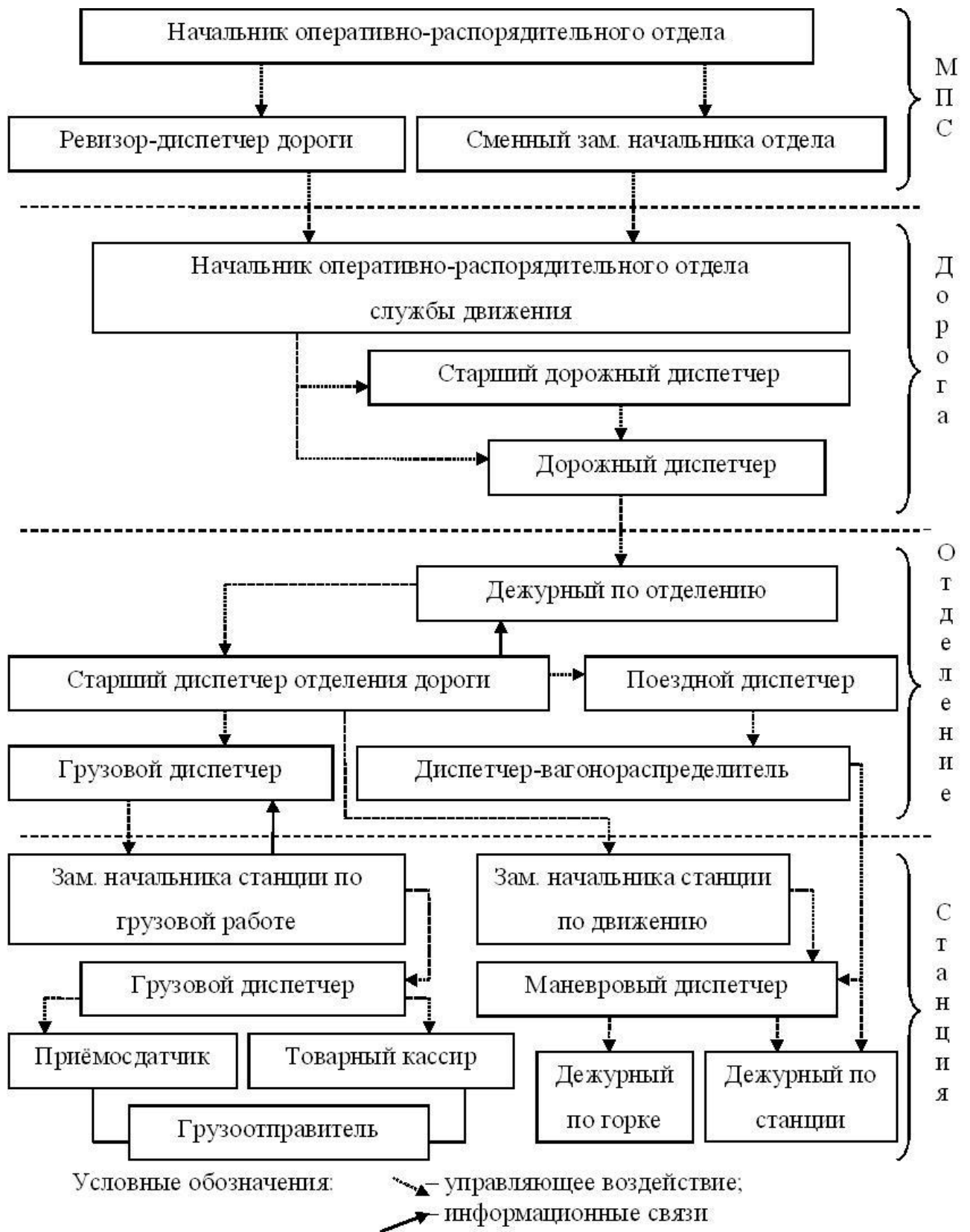


Рисунок 3

Фактическая революция на железных дорогах мира происходит в основном на уровне компаний-операторов и экспедиторов, и этот процесс находится в стадии перво-

начального развития. В Европе имеют место разные сценарии преобразований – в некоторых странах приняты к исполнению только основные общеевропейские правила, другие пошли гораздо дальше.

В конце 1996 г. Европейская комиссия выступила с инициативой создания сети трансъевропейских грузовых железнодорожных магистралей (*TERFF*), приведенной на рисунке 4. Эта инициатива совпала с рассчитанными на долгосрочную перспективу планами МСЖД по оживлению грузовых железнодорожных перевозок [89]. В октябре 1997 г. опубликован проект развития грузовых железнодорожных перевозок в Европе. Основной целью создания сети является привлечение на железные дороги дополнительных грузопотоков.

К пользованию грузовыми железнодорожными магистралями допускаются перевозчики на основе свободной конкуренции, которая позволит повысить качество обслуживания грузовладельцев, в частности путем сокращения сроков доставки грузов.

Схема сети *TERFF* первой очереди

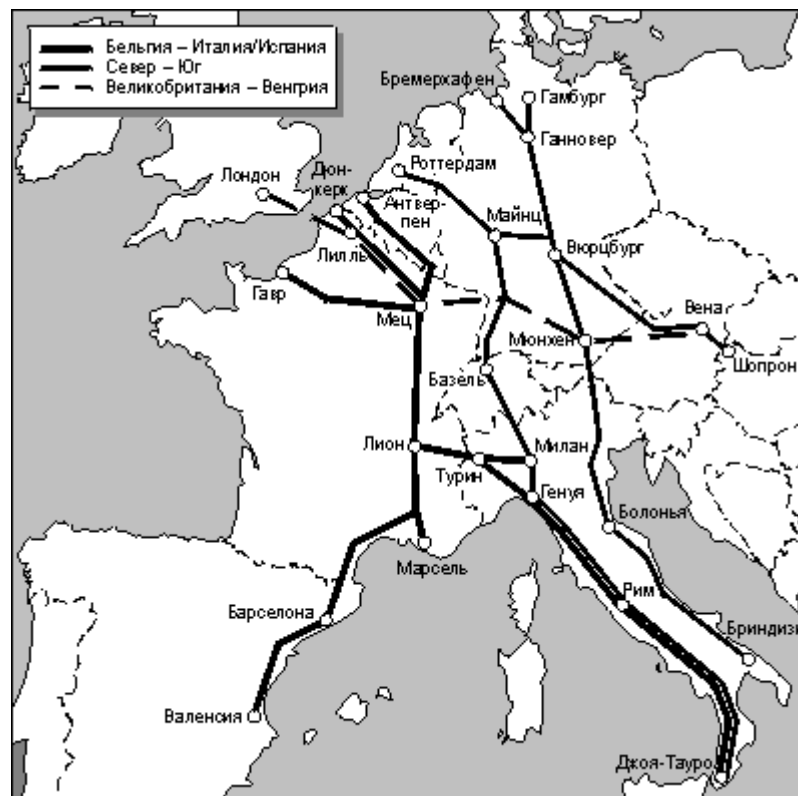


Рисунок 4

Либерализация железнодорожных перевозок ликвидировала государственную монополию, позволив независимым перевозчикам получить доступ европейскую сеть же-

лезных дорог (в грузовых сообщениях на сети *TERFF* – с мая 2003 г.). Условие допуска – наличие лицензии на эксплуатационную деятельность и сертификата безопасности [90]. Результатом этих изменений явилось существенное увеличение числа компаний-операторов на железных дорогах Европы. Этот процесс в разных странах приобретал различные формы, а принятые при этом стратегии существенно варьировались. При британском варианте дерегулирование дошло до такой степени, что правительство было вынуждено пересмотреть первоначальные принципы организации владения и управления инфраструктурой. Во французском – единственный оператор присутствовал на рынке вплоть до начала 2004 г. Кроме того, следует отметить ряд совместных предприятий, созданных с участием иностранного капитала, как это было в Швейцарии, Италии, Нидерландах и Германии.

После полной либерализации грузовых перевозок в Европе структура рынка радикально меняется. Формируется общеевропейский рынок. У государственных органов остаются отдельные контрольные функции, за ними сохраняются некоторые права и обязанности, особенно в области инвестирования в инфраструктуру и оказания помощи в финансировании общественно значимых проектов.

В настоящее время наблюдается постепенное возникновение конкуренции в секторе грузовых перевозок и появление новых компаний-операторов, число которых отличается в разных странах. Имеет место тенденция к объединению относительно небольших компаний для совместной деятельности с целью упрочения позиций на транспортном рынке.

На сети железных дорог Германии в настоящее время обращается около 47 тыс. грузовых вагонов, принадлежащих частным компаниям. Число компаний собственников подвижного состава приближается к ста. В основном это вагоны, имеющие строгую специализацию, предназначенные для перевозки какого-либо специфического вида груза и загружаемые с помощью специального оборудования [91].

В Германии, наряду с отделением грузовых перевозок *DBAG* – компанией *Railion*, на которую приходится до 80% внутреннего рынка, существует порядка 280 других компаний, которые осваивают остальные 20% объема грузовых перевозок. В число таких компаний входят, в частности:

- *Railchem*, созданная совместно промышленными компаниями *BASF*, *Bertschi*, *Hoyer*, *VTG* и владеющая собственным парком подвижного состава, включая локомотивы;
- *Connex*, дочерняя французской частной группы *Veolia*;
- *RAG*, перевозящая грузы по собственным линиям в горнопромышленном районе Рура;
- *SRE*, образованная компаниями *Hupack* и *FS Cargo* и занимающаяся в основном международными смешанными перевозками.

В 2003 г. немецкие компании-операторы грузовых перевозок создали объединенную структуру *Network Private Railways*. Эта группа увеличила осваиваемый грузооборот до 1,2 млрд. т-км в год и вошла в соглашение с 28 другими новыми компаниями-операторами, что позволило ей за счет синергетического эффекта укрепить позиции на европейском транспортном рынке [92].

Новая производственная концепция коренным образом изменила политику железнодорожной администрации Германии в отношении вагонов, принадлежащих частным фирмам. Любые типы вагонов, в том числе те, которые ранее заказывались только железной дорогой, могут быть переданы в собственность частным компаниям. Предпочтение отдаётся вагонам, предназначенным для обращения только в пределах национальной сети железных дорог, в первую очередь, работающих на кольцевых маршрутах. Использование одновременно грузовых вагонов как железных дорог, так и принадлежащих частным компаниям, признано неэффективным, вследствие возрастания эксплуатационных расходов, связанных с увеличением их порожних пробегов. В дальнейшем предполагается все специализированные вагоны, предназначенные для перевозки только одного вида грузов, передать в собственность частным компаниям.

На железных дорогах Германии вводится новая система компенсации, которая учитывает индивидуальные условия. При существующей системе владелец вагона получает определенный процент перевозочной платы в возмещение его капиталовложений и эксплуатационных расходов. Конструкция вагона должна отвечать всем требованиям железных дорог, а любой сконструированный не на железных дорогах Германии подвижной состав подлежит экспертизе и испытаниям.

Дифференцированная система компенсации предусматривает полное возмещение расходов владельца вагона. Если же вагоны по своей конструкции унифицированы с ва-

гонами, принадлежащими железным дорогам, их техническое содержание может взять на себя железнодорожная администрация, что учитывается при расчёте компенсационных выплат владельцу. Он получает только амортизационные и процентные отчисления.

Для сокращения порожних пробегов, размер компенсации поставлен в зависимость от протяженности гружёного пробега за год. Если этот показатель превышает норматив, то владелец вагона получает дополнительные компенсации сверх амортизационных и процентных отчислений. В противном случае, расходы владельца возмещаются не полностью. Система экономического регулирования позволяет учитывать индивидуальные условия клиентов. В случае, когда они принимают на себя техническое обслуживание вагонов тех же типов, которые имеются в собственности железных дорог Германии, сумма компенсации эксплуатационных расходов соответственно увеличивается. При этом клиент несёт ответственность за соблюдение всех действующих технических условий, регламентов и инструкций, принятых службой вагонного хозяйства.

Практика показывает, что договорные отношения между железными дорогами и владельцами собственного подвижного состава создают условия для регулирования производственно-экономических связей между железными дорогами, отправителями и получателями.

В Германии грузовые поезда обращаются как по «чёрной», так и по «красной» сети. В первом случае, это поезда, следующие обычной скоростью, во втором – по специальному расписанию. Доля поездов «красной» сети неуклонно возрастает [46]. При этом значительные усилия прилагаются для роста уровня маршрутизации, в т.ч. и для порожних вагонов. Сокращение числа дирекций Государственных железных дорог ФРГ с 16 до 10 в 80-е годы прошлого века привело к улучшению распределения порожних вагонов и сокращению времени оборота.

Проблемы аналогичные российским испытывает и «Укрзализныця», что подтверждается требованиями операторов подвижного состава активизировать совместную работу по обеспечению подвижным составом базовых отраслей экономики Украины. Эффективность использования парка грузовых вагонов невысока, наблюдается дефицит подвижного состава в условиях роста перевозок железнодорожным транспортом страны.

Пик погрузки железных дорог Украины традиционно приходится на август-октябрь, что объясняется ростом объёмов перевозки зерновых, урожая сахарной свеклы, строительных материалов. В это же время осуществляется накопление зимнего запаса

угля на электростанциях. Вопрос обеспечения подвижным составом, прежде всего полувагонами, в этот период стоит наиболее остро.

Испытывается дефицит вагонов для перевозки угля на тепловые станции. «Укрзализныця» делает все от нее зависящее, для того, чтобы перевезти все грузы. В частности, осуществлены максимальные объёмы плановых видов ремонта дефицитного подвижного состава, в первую очередь цистерн и полувагонов. Для последних, на четыре месяца увеличены сроки межремонтных пробегов. Принимаются меры по ускорению оборота гружёного вагона. Однако, на сегодня возникла острая необходимость создания единой системы управления вагонным парком, которая бы работала как с вагонами «Укрзализныци», так и частных операторов.

Концепция единой системы управления и использования парка грузовых вагонов различных форм собственности и Соглашение о единой системе управления и использования парка грузовых вагонов вынесены на рассмотрение комиссии по реформированию железнодорожного транспорта стран СНГ и Балтии [93].

За семь месяцев 2010 года грузовой парк «Укрзализныци» пополнился лишь на 291 вагон, хотя, согласно плану компании, в 2010 году за счёт собственных и привлеченных средств должна была приобрести более чем 2 200 грузовых вагонов. Для национальной транспортной компании проще и дешевле использовать вагонный парк частных операторов, чем пополнять собственный парк.

Железные дороги США, при сопоставимом с железными дорогами России грузообороте, имеют эксплуатационную длину (протяжённость) в 2,7 раза превосходящую аналогичный параметр российских железных дорог. Эксплуатационная длина Российских железных дорог составляет 85,2 тыс. км, а железных дорог США – 231,2 тыс. км, в т.ч. 159,9 тыс. км дорог первого класса. Коэффициент порожнего пробега на железных дорогах США традиционно составляет около 50 %, а на российских железных дорогах: в 2007 и 2008 гг. – 39 %; в 2009 г. – 41 % [83]. На железных дорогах СССР коэффициент порожнего пробега для универсального подвижного состава был наименьшим в мире – от 24 % до 28 %. Подобное отличие коэффициентов порожнего пробега связано ещё и с различной структурой парков грузовых вагонов в США и России. В США традиционно ниже доля универсального подвижного состава и выше доля специализированного. Например, полувагоны в США составляют 15 % всего парка, а в России – более 35%, тогда

как, хопперы различных типов (включая зерновозы, минераловозы, цементовозы) в США составляют около 40% парка, а в России только 11 %.

Железные дороги США, уступая железным дорогам СССР почти по всем эксплуатационным показателям, существенно превосходили отечественные железные дороги по таким показателям как скорость и срок доставки. Надёжность, т.е. доля отправок, прибывших с невыполнением срока доставки, на железных дорогах США не превышает 1-2 %, в СССР в разные годы от 12 до 35 %, на современных российских железных дорогах – в 2007 г. – 11,2 %, в 2008 г. – 14,1 %, в 2009 г. – 11,5 %.

При уровне использования пропускной способности свыше 75% начинают возникать проблемы в эксплуатационной работе. Причём закон их роста экспоненциальный. В США нерегулируемое развитие операторского бизнеса привело к тому, что количество подвижного состава выросло в два раза, притом, что объёмы перевозок увеличивались довольно низкими темпами. Устойчивый рост числа грузовых вагонов, принадлежащих различным нежелезнодорожным компаниям, начавшийся ещё в 70-е годы прошлого века, отражает определенные экономические преимущества использования грузоотправителями собственного подвижного состава. Уже в 80-х годах свыше ста нежелезнодорожных компаний США являлись владельцами вагонных парков, каждый из которых насчитывает более пятисот единиц, а доля их суммарного парка составляла свыше 40% от общего парка вагонов страны.

Частные предприятия, владеющие железнодорожным подвижным составом, получают от железнодорожных администраций соответствующее разрешение на право пользования инфраструктурой. Компании-владельцы вагонов несут расходы по их техническому обслуживанию и ремонту, компенсируя это получаемой платой за пользование вагонами. Железные дороги предпочитают заниматься преимущественно перевозочной работой и в меньшей степени техническим обслуживанием вагонного парка, в особенности, специализированных вагонов, имеющих довольно сложное оборудование, текущее содержание и ремонт которого может быть качественнее и быстрее выполнен на предприятиях грузовладельцев.

Из выпускаемых новых вагонов большая часть приобретается частными предприятиями, которые стремятся использовать более совершенные типы, имеющие спрос на рынке грузовых перевозок. Таким образом, парк частных компаний «омолаживается» быстрее.

Частная компания *TTX* владеет парком из 140 тыс. вагонов для смешанных перевозок, курсирующих по всей сети железных дорог США, в том числе 60 тыс. специализированных вагонов для перевозки контейнеров и 50 тыс. универсальных. Ежегодно компания приобретает 10 тыс. вагонов на общую сумму 400 млн. долл. [94].

Десять железных дорог, являющихся крупнейшими владельцами вагонных парков, составляют 86 % от общего числа железных дорог, владеющих вагонами. Первая же десятка частных владельцев вагонов составляет 67 % от владельцев этой категории. Среди железных дорог США наиболее крупные вагонные парки имеют:

- *Union Pacific* – 146 013 ед.;
- *CSXT* – 108 007 ед.;
- *Norfolk Southern* – 91 287 ед. (собственные + лизинг);
- *Burlington Northern Santa Fe* – 90 000 ед.;
- *Conrail* – 53 000 ед.;
- *Southern Pacific* – 43 840 ед. [95].

Из частных владельцев, не имеющих отношения к железным дорогам, наиболее крупными вагонными парками обладают компании, главным образом, производящие подвижной состав [94].

Взаимоотношения железных дорог, грузовых компаний-владельцев подвижного состава, отправителей и получателей по перевозкам, включая их планирование, определение условий перевозки, обслуживание подъездных путей, подачу вагонов, их техническое обслуживание, формировались и совершенствовались на протяжении длительного периода времени. Они оговариваются специальными соглашениями, регламентируются транспортным законодательством, определяются необходимостью поддержания высокого уровня качества обслуживания и низкой стоимости сервиса в конкурентной борьбе за потребителя транспортных услуг. Строятся на коммерческой основе, путем заключения обязательных для исполнения контрактов на перевозку грузов на основе гибкой тарифной политики с целью повышения взаимной ответственности железных дорог и грузовладельцев и привлечения грузов на железнодорожный транспорт. Одним из путей совершенствования взаимоотношений с потребителями транспортных услуг является создание системы комплексного транспортного обслуживания с использованием принципов логистики.

В настоящее время в США более 50 % перевозок угля, до 40 % перевозок зерна и около 30 % повагонных отправок выполняются на контрактной основе. В последние годы в США и Канаде получили распространение так называемые конфиденциальные контракты между железными дорогами и грузоотправителями. По конфиденциальным контрактам ежегодно осуществляется более 35 % от всех перевозок (без учета зерновых), причем около 60 % грузов, перечисленных в контрактах, составляла продукция химической, пищевой, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и угольной промышленности. Такого типа контракты выгодны различным предприятиям, поскольку они гарантируют более низкие тарифы на перевозку, конфиденциальность и гарантию стабильности тарифов [94].

Маршрутизация перевозок массовых грузов осуществляется в США и Канаде на основе долгосрочных договорных соглашений на трехсторонней основе: отправитель-железная дорога-получатель, с передачей контрольных функций за выполнение взаимных обязательств по финансированию одному из банков. Подавляющая часть маршрутов является тяжеловесной.

Существует система конкретных как премиальных поощрений, так и штрафных санкций. Поскольку штрафные санкции или лишение скидок с провозной платы серьезно влияют на финансовое положение грузовладельцев, последние стремятся не допускать отказов от заявок, а железные дороги содержат резерв грузовых вагонов для сглаживания неравномерности или возникших трудностей, а также недопущения отказов в подаче вагонов по заявкам клиентуры.

На некоторых железных дорогах США бесплатный простой вагона предусмотрен при его нахождении в распоряжении клиентуры в течение 24 часов. Сверх этого срока предусмотрены штрафы за простой по прогрессивной шкале от 10 до 50 долл. за вагон в сутки. Однако, несмотря на такую систему штрафов, грузовладельцы используют зачастую вагоны как склады на колесах. В этом случае по согласованию с Комиссией междугородных сообщений предусмотрены штрафы, значительно превышающие общие штрафы, установленные за простой. При этом в общее время включены все операции до момента отправления вагонов.

В настоящее время почти весь парк грузовых вагонов США оборудован системой автоматической идентификации на основе технологии радиочастотной идентификации –

Radio Frequency IDentification (RFID), позволяющей обеспечивать контроль дислокации подвижного состава в реальном масштабе времени.

Рост парка грузовых вагонов, не принадлежащих железнодорожным компаниям, создал условия для более динамичного развития вагонного парка США в целом и сделал возможной тесную взаимосвязь между грузовым вагонным парком и промышленностью. Именно рост парков частных вагонов позволил широко использовать специализированные вагоны, так как грузоотправители вынуждены были компенсировать недостаток этого подвижного состава за счет приобретения собственных вагонов.

Ввиду особенностей экономики и транспортной системы США эксплуатируемый парк вагонов-цистерн отличается большим разнообразием типов, что также является следствием очень широкого ассортимента перевозимых наливных грузов. Например, одна из частных компаний в США владеет парком из 42 тыс. цистерн, предназначенных для перевозки более 500 наименований различных наливных грузов. Для производства промывочно-пропарочных операций и текущего ремонта в разных местах страны компания имеет 23 депо. Поскольку в США транспортировка сырой нефти и основных массовых нефтепродуктов передана на нефтепроводы, в железнодорожных цистернах перевозят многочисленный ассортимент наливных грузов при наличии сравнительно небольших количеств каждого такого груза в отдельности. В общем объеме перевозок этой же компании на долю нефтепродуктов приходится – 46,2 %, пищевых продуктов – 24 % и химических грузов – 29,8 % [94].

Среди форм эксплуатации грузовых вагонов, в том числе цистерн, на железных дорогах США широко используется аренда и лизинг вагонов. Обычно договор аренды заключается на определенный срок (от 1 до 20 лет). Поддержание вагона в исправном состоянии в течение этого срока, включая ремонт, осуществляется владельцем вагона. Для вагонов, эксплуатируемых в дальних маршрутах, разрабатываются специальные графики технического обслуживания в вагонном депо, к которому они приписаны. В случае аренды всегда оговариваются сроки возврата вагонов в плановые ремонты. С целью наращивания своего вагонного парка, сдаваемого в аренду, некоторые лизинговые компании приобретают старые вагоны, после реконструкции и капитального ремонта вновь пускают их в длительную эксплуатацию.

Для железнодорожного транспорта стран Западной Европы и США характерно то, что железным дорогам принадлежит лишь часть общего парка вагонов, а основная масса

специализированного подвижного состава является собственностью различных нефтяных, химических и других компаний, а также фирм-изготовителей этого типа подвижного состава. Плата за пользование частными вагонами осуществляется по твердым почасовым и покилометровым ставкам. Однако, наблюдаются тенденции к переходу на систему оплаты по свободным рыночным ценам. Расчеты за пользование вагонами автоматизированы.

1.2.4. Распределение порожнего подвижного состава по пунктам погрузки

В простейшем виде задача распределения порожнего подвижного состава по грузовым пунктам поставлена в [96]. Основной целью составления оптимального плана является поиск варианта с минимальным количеством единиц порожнего подвижного состава. При такой постановке задачи не учитываются затраты на подачу вагонов, а также допускается, что на каждом пункте погрузки имеется только один тип груза.

Задача распределения порожнего подвижного состава решается за три шага:

- определение спроса пунктов погрузки по каждому типу;
- определение ресурсов порожнего подвижного состава по каждому типу;
- распределение по пунктам погрузки.

В работе [97] предлагается задачи распределения порожних вагонов по грузовым пунктам разделить на две группы, в зависимости от того, по какому из критериев оценивается оптимальный вариант:

- наилучшее использование грузоподъемности вагонов, причём затраты, связанные с перемещением порожних вагонов между грузовыми пунктами, не учитываются;
- суммарные эксплуатационные расходы, связанные с перемещением порожних вагонов между грузовыми пунктами и с перевозкой грузов по железной дороге.

В той же работе рассмотрена и задача с более общей постановкой, – когда на каждом грузовом пункте имеется в наличии несколько родов груза, которые можно перевозить в одном вагоне (без учёта и с учётом затрат, связанных с перемещением порожних вагонов).

Наиболее общая постановка задачи, с учётом эксплуатационных затрат, связанных с перемещением порожних вагонов между грузовыми пунктами, перевозками грузов по железной дороге при заданной стоимости перевозки одной тонны грузов в вагоне типа i

и стоимости подачи одного порожнего вагона из пункта k в грузовой пункт r , приведена для случая перевозки в одном вагоне грузов нескольких родов. При перевозке грузов повагонными отправками в вагон грузят только один какой-либо груз, поэтому размер задачи существенно сокращается.

Модифицированная схема классификации моделей распределения порожнего подвижного состава (рисунок 5) была разработана на основании предложенной в работе [98]. В ней выделен случай, когда в качестве критерия оптимальности используется максимальная прибыль от деятельности перевозчика.

Классификация моделей распределения порожних вагонов



Рисунок 5

Согласно [96], при суточном оперативном планировании, в соответствии с заданием, составляют сводный план-наряд на погрузку, в котором указывают грузовые фронты, отправителей, род груза и число заявленных вагонов. Заместитель начальника станции по грузовой работе на основании данных о наличии порожних и находящихся под выгрузкой вагонов принимает решение о том, какие вагоны и в каком количестве необходимо подать в каждый пункт погрузки.

При составлении плана-наряда исходят из двух условий:

- статическая нагрузка должна быть максимальной, а затраты на продвижение порожних вагонов к грузовым пунктам минимальными;
- вагоны с низким качеством использования грузоподъёмности отправляются на небольшие расстояния, с максимальной – на более дальние.

Для составления суточного плана грузовой работы станции основными исходными данными являются:

- месячный план погрузки и план маршрутизации;
- заявки грузоотправителей на погрузку, в т.ч. маршрутами;
- данные о наличии, предстоящем прибытии порожних под погрузку и освобождающихся после выгрузки вагонов;
- технологические нормы времени на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, подачу и уборку вагонов;
- специальные задания по сдаче порожних вагонов [99].

В работе [55] описана экспертная система для поддержки принятия оперативных решений по рациональному распределению порожних вагонов под погрузку на станции, которая предназначена для использования грузовым диспетчером в рамках автоматизированной системы управления работой грузовой станции (АСУ ГС). Показателями оптимальности являются:

- повышение статической нагрузки погруженных вагонов;
- снижение расходов на подготовку и ремонт вагонов;
- сокращение случаев возврата непригодных вагонов с мест погрузки;
- уменьшение непроизводительных простоев.

В работе [47] разработан метод регулирования вагонных парков с целью выполнения плана перевозок и технических норм эксплуатационной работы с минимальными затратами, обеспечения ритмичности работы всех подразделений сети. Регулированием погрузки автор считает распределение порожних и гружёных маршрутов во времени по назначениям и направлениям в зависимости от конкретно складывающейся оперативной обстановки. Там же приведена нелинейная постановка задачи регулирования вагонных парков при помощи управления погрузкой и продвижением маршрутов, и динамический (учитывающий временной фактор) алгоритм её решения.

В качестве целевой функции автором приняты суммарные эксплуатационные (или временные) затраты за планируемый период на переработку всех поездов во всех эле-

ментах сети, включая затраты на погрузку, выгрузку в пути следования связанные с недостатком погрузочных ресурсов. Алгоритм ориентирован на диалог между ЭВМ и лицом, принимающим решения, и учитывает временной характер заданий и эксплуатационных показателей работы подразделений сети, а также критерий равномерности отправления грузов получателям.

В работе [48] предложен алгоритм оперативного распределения порожних вагонов по станциям и участку. Целью оперативного режима является обеспечение заявок на погрузку в каждые плановые сутки с минимальными затратами, которая достигается путем рационального подбора вагонов по каждому грузу с учётом типа и категории годности.

Основное внимание в рассматриваемых методиках уделялось собственно решению задачи распределения. Современные информационные технологии позволяют повысить достоверность исходных данных для выполнения расчётов. Основой являются информационные сообщения, поступающие со станций погрузки.

Особенностью рассматриваемой задачи является то, что от момента принятия решения о распределении ресурса до его потребления, проходит достаточно продолжительный момент времени. Его величина определяется с учётом вероятности периода следования порожнего вагона от пункта дислокации вагона в момент принятия решения о направлении его под погрузку до пункта его назначения. Следовательно, эффективность использования ресурса отличается от ожидаемой и определяется той ситуацией, которая складывается в пункте погрузки в момент поступления порожнего вагона [100].

Кроме того, эффективность распределения зависит от степени удовлетворения спроса на порожний подвижной состав. Возникают потери как при превышении спроса, так и при недостаточном его удовлетворении. В случае неудовлетворения спроса не выполняется план погрузки, выплачиваются штрафы за невыполнение плана подачи вагонов под погрузку. При избыточном удовлетворении спроса увеличивается время простоя подвижного состава в ожидании погрузки, снижаются показатели эффективности работы вагона, растёт нагрузка на инфраструктуру.

В современных условиях грузоотправитель может требовать от перевозчика обеспечения своих потребностей вагонами конкретного оператора. Поэтому задача распределения серьёзно усложняется: необходимо корректировать спрос на погрузочные ресурсы с учётом приоритетов отправителя.

Таким образом, оптимальным решением задачи распределения порожнего подвижного состава будет то, что обеспечивает минимум потерь для всех уровней системы, на основе откорректированного спроса пунктов погрузки.

1.2.5. Анализ провозной способности сети железных дорог в условиях работы парка частных вагонов

Большое внимание решению проблемы повышения провозной способности в современных условиях уделено в работах таких транспортных учёных, как А.А. Абрамов, В.И. Апатцев, А.П. Батурин, А.Ф. Бородин, С.А. Виноградов, 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.

Бородиным А.Ф. и Сотниковым Е.А. в работе [101] опубликованы результаты исследования маневренности полигонов железнодорожной сети. Авторами предложены методики оценки взаимосвязей между вместимостью путевого развития полигонов, вагонным парком, пропускной способностью и качественными показателями эксплуатационной работы и определения технологических нормативов рационального соотношения вагонных парков и вместимости путей сортировочных, участковых и грузовых станций с учетом увеличения доли частных вагонов.

В работе [102] Бородиным А.Ф. предложены технологические нормативы рационального соотношения вагонных парков и вместимости путевого развития полигонов сети железных дорог для условий текущей эксплуатации позволяют выполнять оценку технологической возможности осуществления перевозки и доступа к железнодорожной инфраструктуре общего пользования и отстоя частных вагонов на станциях и узлах полигонов сети. Созданная система технологических нормативов призвана обеспечить маневренность полигонов железнодорожной сети за счет рационального соотношения вагонных парков и вместимости путевого развития станций в существующих и перспективных условиях эксплуатации. Результаты работ предназначены для применения в ряде важных производственных задач:

- выбора станций для размещения вагонов, не участвующих в перевозочном процессе;

- включения в состав критериев технологической возможности осуществления перевозки и доступа к железнодорожной инфраструктуре общего пользования показателей размещения вагонных парков различных категорий в нормативно-справочную информацию и насыщения полигонов сети вагонным парком;
- обоснования инвестиций в путевое развитие станций и узлов по конкретным полигонам сети ОАО «РЖД».

Дальнейшее развитие подходов осуществлено при разработке алгоритма планирования перевозок в условиях обеспечения работоспособности инфраструктуры [103]. В настоящее время в ОАО «НИИАС» разрабатывается автоматизированная система прогнозирования ресурсов сети (АС Прогресс). Целью создания системы является моделирование работы вагонных и локомотивных парков и оценка загрузки элементов инфраструктуры. Такой подход по замыслу авторов позволит своевременно выявлять дефицитные состояния пропускной и перерабатывающих способностей участков и станций, путевых ёмкостей, а на основе оценок уровня маневренности своевременно вносить необходимые изменения технологии, привлечения дополнительного подвижного состава или фиксировать отсутствие технологической возможности выполнения той или иной перевозки. В АС Прогресс вычисления ведутся как на статических, так и на динамических моделях. На первых выявляются «узкие места» в осуществлении перевозочного процесса, а на вторых выполняется оценка последствий при нагрузке плановых потоков.

Общая протяженность «узких мест» на сети железных дорог оценивается в 6,1 тыс. км [104], и, как правило, расположены они на самых грузонапряжённых участках, которые являются частью основных маршрутов перевозки массовых грузов (рисунок 6). Около 90 процентов узких мест приходится на направления, выполняющие до 80 процентов грузооборота. При сохранении текущей динамики роста рынка грузовых перевозок, темпов строительства и реконструкции железных дорог к 2015 году количество лимитирующих участков возрастёт примерно 8 на тыс. км железных дорог, т.е. до половины протяженности основных направлений.

С.А. Виноградовым в [105] отмечается, что ключевой особенностью при оценке влияния технических и технологических параметров, связанных с пропуском поездопотоков на резерв пропускной способности участков сети является уровень её заполнения. При высоком увеличивается количество и продолжительность остановок поездов для разъездов и обгонов, уменьшается участковая скорость и ухудшаются основные качест-

венные показатели. Опыт эксплуатации наиболее загруженных участков железных дорог и итоги имитационного моделирования показывают, что при превышении уровня загрузки 0,7-0,8 для любых участков, участковая скорость существенно снижается, а при полном её использовании снижается до 0,5-0,6 от первоначальной. Следует отметить достаточно оптимистичную оценку автора: на Забайкальской железной дороге, на подходе к станции Карымская, отмечены достаточно продолжительные периоды времени, когда значение участковой скорости достигало значений 13-15 км/ч, т.е 28-32% от норматива. Существенное расхождение плановых и реальных показателей подтверждает необходимость разработки технологии и программных средств для выработки новых, более объективных методов определения пропускных способностей участков железных дорог.

В работе Ф.С. Пехтерева [106] дана оценка уровня грузопотоков в период кризиса. Отмечается перспектива роста грузопотоков при развитии «Пространства 1520» до Вены (Австрия). Прогнозируется рост объёмов перевозок на центральноазиатском направлении как следствие исследования перспектив зарождения грузопотоков в Синцзян-Уйгурском Автономном районе Китая и оценки вероятностных направлений их следования. Доказана необходимость развития Центральноазиатского направления.

Общая протяжённость «узких мест» на сети железных дорог России



Рисунок 6

Традиционно, наиболее проблемными на сети считались выходы из Кузбасса на запад, из Восточной Сибири на восток, подходы к Уралу с запада и востока, сегодня же к ним добавились «бутылочные горлышки» на подходах к портам. Растущий спрос на минеральные ресурсы в Азии позволяет увеличивать объёмы отгрузки через дальневосточные морские терминалы, но экспортный потенциал промышленности уже упирается в ограниченные пропускные способности железнодорожных подходов. Отсутствие прогнозов темпов развития азиатских рынков привело к тому, что железные дороги оказались не готовы к увеличению объёмов перевозок в этом направлении. Из-за дефицита транспортной инфраструктуры наблюдаются длительные простои вагонов в станционных парках в припортовых районах, задержки поездов на подходах.

Инфраструктура станций оказалась не способна обеспечить растущий спрос на железнодорожные 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 2012 году на припортовых железных дорогах ежедневно простаивало в ожидании выгрузки более 30 тыс. вагонов с экспортными грузами. Количество поездов, оставленных без движения, возросло в два раза по сравнению с прошлым годом.

Практически исчерпаны пропускные способности инфраструктуры в дальневосточном направлении. По некоторым оценкам, железнодорожные подходы к портам Ванино и Советская Гавань через несколько лет будут в два-три раза ниже пропускной способности интенсивно развивающихся морских портов. В пиковые периоды предъявления груза к перевозке, либо при неблагоприятных погодных условиях на подходах к дальневосточным портам образуются «заторы». Пропускная способность портов Юга России, Мурманска и железнодорожных подходов к ним тоже ограничена.

Переход на работу с приватным вагонным парком также негативно отразился на эффективности всей системы управления перевозками. Отсутствие на инфраструктуре 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.

1.2.6. Пропуск поездов при проведении работ по капитальному ремонту пути

Все научные исследования по организации проведения работ по капитальному ремонту пути можно условно разделить на три основных направления:

1. Исследование дополнительных задержек поездов.
2. Повышение пропускной способности перегона при проведении капитального ремонта пути.
3. Определение оптимальной продолжительности «окна».

«Окна», предоставляемые для выполнения работ по капитальному ремонту пути, вызывают дополнительные задержки поездов. Первое направление научных исследований связано с определением их характера. Этой задаче 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.

Аналитические зависимости потерь поездо- и локомотиво-часов, вызванных предоставлением «окна», от его продолжительности и других факторов приводятся в исследованиях В.Г. Альбрехта [107], Ю.В. Дьякова [108], А.Л. Мельника [109], М.Ф. Климова [110] и др. Но, установленные в данных исследованиях зависимости, носят однофакторный характер, в то время как, дополнительные задержки поездов могут возникать вследствие воздействия значительного их количества. Кроме того, в основном, в работах представлены зависимости в графическом виде.

Методика определения себестоимости выполнения работ по капитальному ремонту пути в части зависимых от продолжительности «окна» расходов работы впервые представлена в работах профессора Чудова А.С. [111].

Методика расчёта потерь, связанных с задержками поездов и локомотивов из-за «окна», предложены А.И. Богачёвым в работе [112] как при одностороннем, так и при двустороннем пропуске поездов по временно однопутному перегону, исходя из условий работы локомотивов на длинных тяговых плечах. Автор указывает, что эффективность перехода на двухстороннее движение появляется при величине «окна» 2,5 часа и более.

Профессором В.Г. Альбрехтом в работе [107] выведены формулы для определения продолжительности перерывов в движении для ремонтов пути и задержек поездов при

выделении «окна» в условиях использования временно однопутного перегона для двухстороннего движения поездов.

В кандидатской диссертации А.Л. Мельник [109], в установленной аналитической зависимости задержек поездов при выделении «окна», учёл дополнительные простои локомотивов в пунктах оборота. Автором было доказано, что в зависимости от схемы прокладки поездов по действующему пути пропускная способность участка изменяется в широких границах. Она зависит от периода графика, количества поездов в пакете, интервалов между ними и от пропускной способности участка в целом. Определены сферы эффективности двухстороннего пакетного и одностороннего движения поездов. По мнению автора, применение одностороннего и двухстороннего непакетного графика ограничено и возможно лишь на участках с небольшим резервом пропускной способности, кроме того, одностороннее движение повышает неравномерность подвода поездов к станции. При двустороннем движении поездов по неремонтируемому пути рекомендуется формула для расчёта количества поездов в пакете, которое определяется из условия обеспечения максимальной пропускной способности. Автором исследовано влияние способа организации движения на перегоне на количество путей, необходимых для накопления поездов, ожидающих пропуска по перегону производства работ.

В докторской диссертации Ю.В. Дьякова [108] с помощью имитационной модели установлены потери поездо-часов на участке в зависимости от продолжительности «окна» (4 ч, 6 ч, 8 ч), количества поездов в пакете 1-6, времени хода (7 мин, 12 мин, 15 мин). Автором построены графики данных зависимостей, рассмотрена одновременная работа на одном участке одной-трёх ПМС.

В монографии [113] рассмотрены проблемы оптимизации продолжительности производства путевых ремонтных работ и определения задержек поездов при различных перерывах в движении поездов. Разработаны аналитические зависимости затрат, связанных с задержками поездов от времени «окна». Предложена скорректированная проектная система отнесения текущих расходов на измерители, обоснован алгоритм определения расходов по задержкам поездов с применением модифицированной методики расчёта затрат на единицы эксплуатационной работы. Типизированы технологические процессы капитального ремонта пути с разной продолжительностью «окна». Разработана методика, позволяющая выбрать наиболее эффективную с экономической точки зрения, обеспечивающую минимальные суммарные расходы по задержкам поездов и ремонту

пути, а также способ регулировки поездопотока в период производства капитального ремонта пути.

Эффективность «окон» большой продолжительности в ряде случаев сомнительна. На целом ряде дорог сети находят применение случаи закрытия перегона продолжительностью измеряемой не часами, а сутками. Однако эффективность такого опыта не бесспорна [114].

Дополнительные простои поездов, как правило, связаны с недостатком пропускной способности перегонов. Второе направление – исследования в области повышения пропускной способности перегонов и участков. Большой вклад в данное направление внесли А.П. Батурин, 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. Макарович, В.М. Максимович, А.Л. Мельник, И.Г. Тихомиров, В. Хофманн, В.А. Шаров, В.П. Ярошевич и др.

А.Л. Мельник в [115] детально исследовал резервы пропускной способности линии и дал рекомендации по их использованию в период выполнения работ по капитальному ремонту пути.

В работе [116] В.Е. Козлов указывает, что при диспетчерской централизации на линиях, имеющих на перегонах съезды между главными путями, в отдельных случаях могут быть уменьшены затраты, связанные с задержками поездов и локомотивов при выделении «окон» для ремонтных работ за счёт пропуска поездов по неправильному пути. Пропускная способность грузонапряжённых участков, по мнению автора, может быть значительно увеличена за счёт оборудования их диспетчерской централизацией в сочетании с укладкой вставок для безостановочного пропуска по ним обгоняемых грузовых поездов соответствующего направления. В результате исследования автором делаются выводы о том, что при 20 парах пассажирских поездов на графике движения и осуществлении безостановочного обгона на вставках размеры грузового движения могут быть увеличены до 33-46 пар поездов в сутки. Одновременно с увеличением размеров грузового движения может быть увеличена участковая скорость и сохранена высокая пропускная способность участка в период выполнения путевых работ с предоставлением «окон».

М.Ф. Климовым в [110] на основе опыта организации ремонта пути на Барабинском отделении Западно-Сибирской железной дороги проводится исследование зависимости пропускной способности временно однопутного перегона от продолжительности

«окна», периода непакетного графика, размеров движения и методов организации движения на грузонапряжённых участках двухпутных линий. В этой работе достаточно подробно рассматривается влияние перерывов в движении поездов из-за «окна» на работу участковых станций. Автором рекомендуются формулы для определения:

- пропускной способности для всех видов вариантов пропуска поездов (односторонний пропуск, двусторонний непакетный, пакетный график);
- количества пакетов и поездов в каждом из них при двустороннем пропуске поездов во время «окна»;
- оптимальной величины пакета.

В этой работе М.Ф. Климова исследованы:

- зависимость продолжительности «окна» для различных методов пропуска поездов от постоянных для конкретного перегона величин: периода непакетного графика, размеров движения и пропускной способности участка;
- характер изменения возможных задержек поездов в «окно» при различных методах пропуска поездов в зависимости от размеров движения, периода графика и продолжительности «окна»;
- условие взаимодействия в работе участковых станций и участка.

Существенным недостатком работы Климова М.Ф. является то, что он при определении наиболее целесообразной продолжительности «окна» учитывает только потери, связанные с задержками поездов и локомотивов и не учитывает ремонтно-путевые затраты.

Перерывам в движении много места отведено в работах А.И. Богачёва [112, 117, 118, 119, 120]. В работе [117] освещаются способы создания «окон» на двухпутных участках и временные мероприятия по усилению пропускной способности. В [118] обращается внимание на то, что в дни предоставления «окон» значительный эффект повышения пропускной способности даёт организация безобгонного пропуска поездов, скоростной обработки составов на станциях, уменьшение интервала между поездами, формирование тяжеловесных составов, соединение поездов.

Проблемам развития пропускной способности железнодорожных линий достаточно большое место уделено в своих исследованиях А.М. Макаровичным [121]. Автор, анализируя проблемы развития пропускной способности, пришёл к выводу, что наука и

практика в исследовании проблем эксплуатации железных дорог шли по двум основным направлениям её решения:

1. Поиск уровня экономически оправданной загрузки линии при существующем их оснащении и установление сфер выгоды отдельных способов овладения перевозками.
2. Создание методологии овладения перевозками и этапного наращивания мощности железных дорог.

Первый способ по сравнению со вторым, по мнению автора, имеет существенный недостаток, так как уровень рациональной загрузки линий изолирован от экономически оправданного развития пропускной способности до искомого уровня.

Вопросы сокращения интервалов между поездами отражены в работах [122, 123]. В [122] Т.В. Костромой предлагается пакетное движение поездов, скорость и интервал между которыми регулируются радиолокационными устройствами. Отмечается, что система целесообразна при частых остановках поездов на участке.

Влияние «окон» на работу станций исследовалось В. Хофманном в работе [124].

Существенный вклад в исследование способов повышения пропускной способности в период производства капитального ремонта пути внёс Ю.В. Дьяков в работах [108, 125, 126].

Третье направление научно-исследовательской деятельности, связанной с пропуском поездов в период капитального ремонта пути, направлено на определение оптимальной продолжительности «окна». Существенный вклад в это направление 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, Л.В. Феоктистов, В.Я. Шульга и др.

В работе [109] А.Л. Мельником определяется возможная продолжительность «окна» исходя из равенства пропускной способности двухпутного участка в период выполнения путевых работ на одном из двух перегонов и потребных размеров движения в данном направлении.

Продолжительность «окна» по экономически выгодным соотношениям потерь на поездную работу и затрат ПМС определяется Ю.А. Антоновым и Д.А. Печугиным в [127].

В работе [108] Ю.В. Дьяковым отмечается, что предоставление длительных «окон» позволяет более производительно использовать путевые механизмы и выполнять заданные объёмы работ за более короткие сроки. Но с другой стороны, продолжительные «окна» вызывают резкое увеличение расходов, связанных с задержками поездов на перегоне и возмущениями, возникающими на сортировочных станциях. Автор указывает, что выделение длительных «окон» в графике движения требует тщательной разработки способа производства путевых работ, так чтобы длина приёмо-отправочных путей на станциях ограничивающих ремонтируемый перегон, т.е. место концентрации технических и материальных ресурсов, не ограничивали фронта работ или почти не снижали часовой производительности ведущей машины за «окно».

М. Вуйтовичем в [128] рассмотрена задача комплексного выбора технико-технологических параметров и способов пропуска поездов при выделении «окон» в графике движения. Для этого исследуется влияние на пропускную способность железнодорожного направления продолжительности «окна» и способов пропуска поездов по времени однопутному перегону с учётом условий польских железных дорог. Рассматривается пропуск поездов с остановками и без остановки перед ограничивающим перегонем и изменение коэффициента пакетности во времени при различной интенсивности подхода поездов к ремонтируемому участку. Автором установлено влияние продолжительности «окна» и длины приёмоотправочных путей на станциях, ограничивающих перегон, на технологический процесс по капитальному ремонту пути. Разработан график движения рабочих поездов для случая, когда необходимая длина путеразборочного, путеукладочного поездов или хоппер-дозаторной вертушки больше длины приёмоотправочных путей. Показано, что выработку путевой машинной станции в «окно» продолжительностью шесть часов, можно увеличить на 10-12% при применении челночного способа работы путеукладочного, путеразборочного поездов и хоппер-дозаторной вертушки. Указывается, что в продолжительные «окна» наряду с челночным способом работы рабочих поездов необходимо увеличивать путевое развитие станций, ограничивающих ремонтируемый перегон, для расстановки на ней путевой техники. Число укладываемых дополнительных путей зависит от продолжительности «окна», длины приёмоотправочных путей, типа разбираемых и укладываемых звеньев и составляют от одного до четырёх путей. Утверждается, что в период «окна» рационально организовывать пропуск поездов без остановки перед ограничивающим перегонем с изменяющимся во времени

числом поездов в пакетах. Потери пропускной способности по сравнению с пропуском их с остановкой перед ограничивающим перегонем уменьшаются в зависимости от продолжительности «окна» и интенсивности подхода поездов. При этом уменьшаются задержки поездов и число остановок.

Проблема повышения эффективности эксплуатационной работы в условиях технологии производства работ, связанной с глубокой очисткой, исследована В.В. Яхимовичем в [129]. Автором рассмотрены «окна» большой продолжительности при различных размерах движения поездов и определена сфера их применения. Исследования позволили сделать вывод, что при размерах движения 60 пар поездов в сутки применение больших «окон» является нерациональной мерой. При размерах движения до 40 пар поездов в сутки увеличение продолжительности «окон» не вызывает роста суммарных задержек грузовых поездов. Определена экономия от укладки временных диспетчерских съездов за счёт сокращения задержек поездов. В работе предложена формула определения суммарных затрат, связанных с задержками грузовых поездов, вызванных выполнением работ по капитальному ремонту пути:

$$E = (T_o + t_{\epsilon}) * N_{\text{зад}}^{\text{max}} * e_{n-\text{ч}} + \frac{2 * (T_o + t_{\epsilon}) * e_{\text{пз}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где T_o – продолжительность «окна», ч;

t_{ϵ} – продолжительность восстановления нормального движения после окончания «окна», ч;

$N_{\text{зад}}^{\text{max}}$ – максимальное число задержанных поездов;

$e_{n-\text{ч}}$ – стоимость одного поезд-часа простоя поездов;

$I_{\text{ср}}$ – средний интервал между поездами, ч;

$e_{\text{пз}}$ – энергетические расходы на разгон и замедление.

На практике значительные затруднения в пропуске поездов возникают не только в период «окна», но и в течение некоторого периода после его окончания – период восстановления нормального движения. Однако в работе В.В. Яхимовича не показан механизм определения величины периода восстановления нормального движения после окончания «окна», без которого пользоваться формулой (1) в практических целях не представляется возможным.

Е.Ю. Корженевской в статье [130] предложена методика определения периода восстановления нормального движения после окончания «окна» на однопутном перегоне в зависимости от степени двухпутности линии.

Проблемы в эксплуатационной работе дорог, вызываемые капитальным ремонтом пути, интересовали большой круг учёных исследователей в 60-80-х годах прошлого столетия, но с началом перестройки, в связи с резким спадом объёмов перевозок, актуальность проблем исчезла. Поэтому начиная с середины 80-х годов практически нет научно-исследовательских работ, затрагивающих затруднения в эксплуатационной работе при проведении работ по капитальному ремонту пути.

Систематизация проблем, возникающих при производстве капитального ремонта пути, и факторный анализ причин, оказывающих влияние на величину дополнительных задержек поездов, возникающих при производстве капитального ремонта пути приведены в [131]. Авторами установлены зависимости дополнительных задержек поездов от недостатков пропускной способности. Изучена внутрисуточная неравномерность поездопотока. Предложено учитывать её при определении дополнительных задержек поездов. Исследован характер изменения потребной и наличной пропускных способностей при производстве капитального ремонта пути и определено условие необходимости повышения наличной пропускной способности перегона. На основе действующей типовой технологии производства усиленного капитального ремонта пути с использованием сетевого планирования установлен характер зависимости длины фронта работ и себестоимости выполнения капитального ремонта пути от продолжительности «окна». В работе [132] разработана методика, позволяющая выбрать наиболее эффективную с экономической точки зрения продолжительность «окна», а также:

- способ организации пропуска поездов в период производства капитального ремонта пути;
- мероприятия по усилению пропускной способности перегона;
- продолжительность «окна», позволяющие пропустить все плановые поездопотоки.

Повышение интенсивности движения, рост массы поездов приводят к ускорению процессов износа пути и, как следствие, к сокращению межремонтных сроков. Улучшение качества пути способно повлиять на эксплуатационные затраты дороги за счёт увеличения скоростей движения поездов, уменьшения объёма ручного труда на последую-

щих путевых работах, кроме того, оно оказывает большое влияние на безопасность движения поездов. Поэтому, в период роста объёмов грузовых перевозок, важными задачами становятся, как пропуск плановых поездопотоков, так и выполнение работ по капитальному ремонту пути в запланированных объёмах с минимальными эксплуатационными расходами.

Ежегодно в балластную призму в среднем попадает до 15 т засорителей на один километр пути [133]. Они ухудшают свойства балласта и приводят к развитию интенсивных деформаций балластной призмы, кроме того, при засорении она теряет способность упруго воспринимать нагрузки, что сокращает ресурс верхнего строения пути. До недавнего времени, для восстановления дренирующих и упругих свойств балластной призмы использовалась очистка на глубину 0,12-0,2 м, после чего содержание засорителей достигало 10-12 %. В настоящее время, при проведении усиленного капитального ремонта пути выполняется глубокая очистка балласта, что позволяет снизить затраты на текущее содержание пути после ремонта и т.д. При выполнении капитального ремонта пути без глубокой очистки после каждого ремонта повышается уровень головки рельса, и после нескольких капитальных ремонтов может возникнуть необходимость изменения параметров контактной сети. Поэтому усиленный капитальный ремонт пути производится с очисткой на глубину 0,4 м и более. Это позволяет решить две задачи: понизить уровень головки рельса и сократить содержание засорителей в балласте до 5%. Но, в то же время, глубокая очистка значительно замедляет темп выполнения работ по капитальному ремонту пути и сокращает объём выработки в «окно», что в свою очередь требует увеличения продолжительности «окон» или их количества. При проведении усиленного капитального ремонта пути используется большое количество путевых машин, что вызывает необходимость выполнять работы в несколько этапов.

При планировании летних путевых работ необходимо установить наиболее целесообразную продолжительность «окон» для капитального ремонта пути, позволяющую выполнить капитальный ремонт верхнего строения пути в запланированных объёмах и пропустить плановые поездопотоки с минимальными эксплуатационными расходами.

На сети железных дорог накоплен большой опыт по организации и проведению капитального ремонта пути. Так, на Московской железной дороге в период летних путевых работ используются круглые маршруты (в обход ремонтируемого перегона), что даёт возможность закрывать перегон на весь срок его ремонта. Например, летом 2003 г.

предоставлялись «окна» продолжительностью 7,5 суток [134]. Сравнительный анализ одного такого «окна» с 32 «окнами» продолжительностью 8 ч показал целесообразность длинных «окон».

Приднепровская дорога применяет опыт предоставления «окон» продолжительностью четверо суток [135]. Это, по мнению производителей, позволяет эффективно использовать путевую технику, добиваться высокой выработки.

В период спада объёмов перевозок на Забайкальской железной дороге также применялись «окна» продолжительностью до 8,5 суток [136]. На Восточно-Сибирской железной дороге известны случаи закрытия перегона на 15 и более суток. Но, уже с 2003 г. возросший поездопоток не позволил предоставлять «окна» продолжительностью более 12 ч. На дорогах Восточного региона нет возможности обойти ремонтируемый перегон, а при интенсивности поездопотока свыше 55 пар поездов в сутки невозможно было пропустить все поезда при предоставлении более длительных «окон».

На железных дорогах Восточного полигона проходит апробацию система планирования летних путевых работ с применением технологии совмещения «окон» [137]. Расстановка «окон» рассматривается с учётом обеспечения комплексности по видам ремонта и возможности пропуска поездопотока на объединённых полигонах. В целях усиления контроля выполнения директивного плана-графика вводится в постоянную эксплуатацию автоматизированного мониторинга их предоставления и использования.

В сезоне 2013 г. на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) силами Восточно-Сибирской дирекции ремонта пути планируется отремонтировать 629,6 км пути. При этом 188 км будут отремонтированы с использованием технологии закрытых перегонов, из них около 80 на Транссибе. Новая технология позволяет комплексно ремонтировать один из путей двухпутного перегона на срок не менее одной недели для круглосуточного производства работ. При этом оздоровлению подлежат и другие элементы инфраструктуры перегона: контактная сеть, устройства СЦБ, искусственные сооружения. В 2011 г. по этой технологии был отремонтирован грузонапряжённый перегон Мегет-Иркутск-Сортировочный. В 2012 г. на ВСЖД по этой технологии отремонтировано 62,1 км, в т.ч. грузонапряжённые перегоны: Китой-Ангарск, Черемхово-Гришево-Касьяновка. При этом, по второму пути перегона пропускаются поезда со скоростями: 80 км/ч для грузовых, 120 км/ч для пассажирских. Инициатором новой технологии является Западно-Сибирская дорога.

Опыт повышения эффективности использования машин в «окна» по капитальному ремонту пути отражён в ряде зарубежных статей. В статье [138] представлен анализ эффективности использования путевых машин на железных дорогах Великобритании. В результате анализа установлено, что 30% продолжительности предоставляемых «окон» использовалось непроизводительно. Потери времени обусловлены следующими причинами:

- неисправностью путевой техники;
- простоями в ожидании начала «окна»;
- затратами времени на передвижение машин к месту работ.

Средняя продолжительность «окна» составляет 6 ч. В статье предложены мероприятия по повышению эффективности использования путевых машин. Этому способствует детальное планирование работ: тщательный расчёт продолжительности работ на каждом отрезке участка в соответствии с производительностью машин и оптимальная их расстановка вдоль фронта работ. Помимо анализа использования «окон» выявлена реальная производительность каждой. Лимитирующей является шпалоподбивочная машина с производительностью 440 м/ч. Именно ее производительность определяет протяжённость участка пути, ремонтируемого в «окно».

По мнению специалистов путевого хозяйства США, как отмечается в [139], одной из основных проблем в настоящее время является обеспечение работ по ремонту пути со строгим соблюдением временных рамок предоставляемых для этого «окон», поскольку занятость пути имеет весьма высокую цену. Поскольку выделение времени для путевых работ зачастую затруднено, большое значение имеют правильная организация труда и оптимальная загрузка путевой техники. В настоящее время на железных дорогах США появились новые высокопроизводительные машины, применение которых позволяет эффективно использовать предоставляемые «окна». Проблема улучшения использования «окон» решается, применением компактных и лёгких путевых машин на комбинированном железнодорожно-автомобильном ходу. Считается, что администрации железных дорог должны относиться к предоставлению «окон» для путевых работ не менее внимательно, чем к прокладке графиковых ниток для поездов регулярного обращения. Лишь при чётком планировании и координации деятельности всех причастных служб железных дорог можно добиться использования «окна» с максимальной эффективностью.

В статье [140] представлен опыт железных дорог США по проведению ускоренного капитального ремонта пути. Так, в штате Арканзас на отделении *Thayer* железной дороги *Burlington Northern and Santa Fe (BNSF)* за две недели отремонтирован участок протяжённостью 32 км. Автор утверждает, что данная технология позволяет снизить расходы на материалы и технологические издержки, однако при этом возникают дополнительные затраты, связанные с переключением поездов на параллельные направления и привлечением дополнительной рабочей силы и путевой техники с других отделений железной дороги. Результирующий положительный эффект достигается за счёт выполнения большого объёма путевых работ за короткий срок, а также благодаря возможности эксплуатации отремонтированного пути на большом протяжении и в течение длительного времени без ограничения скорости движения поездов.

Для решения задачи определения оптимальной продолжительности «окна» необходимо комплексно рассматривать расходы на выполнение работ по капитальному ремонту пути в «окна» различной продолжительности и дополнительные потери в эксплуатационной работе, возникающие из-за задержек поездов. Эти расходы зависят не только от продолжительности «окна», но от используемой технологии и применяемой техники. Поэтому для определения данных расходов необходимо рассмотреть технологию, применяемую на сети дорог при капитальном ремонте пути.

На Забайкальской железной дороге применяется следующие варианты технологии [141]:

1. Весь цикл работ выполняется последовательно.
2. Для сокращения доли времени на развёртывание и свёртывание работ за счёт уменьшения количества используемых машин в каждом цикле, работы по капитальному ремонту пути выполняются в два этапа.
3. Для снижения общей потребности в «окнах» для выполнения ремонта на всём перегоне, работы первого и второго этапов выполняются в одно «окно», но на разных участках перегона.

Анализ опыта дорог показал, что в качестве основного мероприятия повышения пропускной способности перегона на период его капитального ремонта используется укладка временных съездов. Использование таких схем составляет около 20%, в 70% случаев закрывался весь перегон, остальное приходится на другие схемы (устройство

временного раздельного пункта с возможностью скрещения поездов, закрытие двух смежных перегонов и т.д.) [142].

1.2.7. Использование на железных дорогах высоких информационных технологий

Одним из приоритетных направлений научно-технической политики в наземном транспорте является внедрение высоких информационных технологий, которые принципиально меняют качество и сущность управления, реализуя объективные инструментальные методы контроля и управления на наземном транспорте.

Такие технологии контроля и управления создаются на основе интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем, использующих высокоточные спутниковые радионавигационные системы (СРНС) ГЛОНАСС/*GPS* в сочетании со средствами цифровой радиосвязи на транспортных средствах и комплексной компьютеризацией информационных процессов. В ряде стран начаты работы по применению спутниковых навигационных технологий на железнодорожном транспорте [143]. Планы создания национальной дифференциальной подсистемы *GPS* (*NDGPS*) стали частью закона США о развитии транспорта в 1998 г. [144].

Экспериментальные работы по спутниковой навигации начали проводиться на Красноярской железной дороге в 1995-1997 гг. В течение 1997 г. на опытном полигоне Красноярской железной дороги проводились эксперименты по комплексированию аппаратуры потребителя (АП) СРНС с другими устройствами [145].

АП СРНС, устанавливаемая на транспортных средствах, длительное время не отвечала всем требованиям безопасности и надежности. Вследствие этого мало изучена область построения систем управления процессами перевозок на основе возможностей СРНС. Ключевым моментом по практической применимости стало создание концепции виртуальных железных дорог на основе цифровых моделей путевого развития.

Большой вклад в процесс создания цифровых моделей путевого развития 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. Розен-

берг, 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, Н.К. Сологуб, О.Н. Числов, В.Г. Шубко и др.).

Огромное значение имеет и проведённая работа на сети по созданию базы данных технико-распорядительных актов станций. Разработка и внедрение ДЦ «Тракт», «Сетунь», «Дон» и др., систем автоматического ведения графика исполненного движения позволяют значительно упростить алгоритм ведения поезда. Если на первых этапах создания СРНС задача системы заключалась в распознавании изображения, полученного со спутника, идентификации поездов, их привязки к географическим координатам, выдаче информации о поездной ситуации диспетчеру соответствующего уровня, то в современных условиях достаточно простой схемы с использованием цифровой модели. Метки транспордеров идентифицируются спутником, и с заданным интервалом информация об их движении передаётся в принимающее устройство автоматизированной системы управления движением поездов. В свою очередь эта система накладывает динамическую информацию на цифровую модель путевого развития. Таким образом, метка транспордера позволяет однозначно установить номер локомотива, а тот, в свою очередь позволяет установить номер поезда, открывая доступ к информации о составе поезда. Не имеет смысла описывать дальнейшие возможности по доступу к информационным массивам АСОУП. Подробности можно рассмотреть используя [146, 147].

Внедрение систем автоматической идентификации подвижного состава (САИПС) на базе ГЛОНАСС/*GPS*, позволяет рассматривать проблему организации перевозочного процесса на основе твёрдого графика движения поездов [148].

С 2007 года в рамках подпрограммы «Внедрение и использование спутниковых навигационных систем в интересах транспорта» ФЦП «Глобальная навигационная система» были разработаны:

- концепция внедрения глобальных навигационных спутниковых систем (ГЛОНАСС, *GPS*, *GALILEO*) на железнодорожном транспорте;
- технико-экономическое обоснование применения систем ГЛОНАСС/*GPS* на железнодорожном транспорте;

- проект технического регламента «О безопасности технических средств, взаимодействующих с глобальными навигационными спутниковыми системами ГЛОНАСС/GPS/GALILEO, устанавливаемых на подвижном составе и объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта РФ»;
- опытная помехоустойчивая система безопасности, мониторинга и диспетчерского управления движением поездов на скоростном железнодорожном направлении Санкт-Петербург-Москва с использованием систем ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, их функциональных дополнений и наземных радионавигационных устройств.

Проект технического регламента «О безопасности технических средств, взаимодействующих с глобальными навигационными спутниковыми системами ГЛОНАСС/GPS/GALILEO, устанавливаемых на подвижном составе и объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта РФ» проходит процедуру утверждения [149].

Объектами регулирования в проекте регламента являются технические средства и их составные части, которые разрабатываются или модернизируются, изготавливаются и устанавливаются на подвижной состав и объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта РФ. Его действие распространяется и на ввозимые из-за рубежа для обращения на железнодорожных путях общего и необщего пользования на территории России. Под техническими средствами понимаются такие, которые на основании данных о местоположении пути (в какой-либо системе координат) и принятых радионавигационных сигналов от систем ГЛОНАСС, GPS, GALILEO обеспечивают железнодорожный транспорт следующей информацией:

- номер пути следования оборудованного техническими средствами железнодорожного подвижного состава согласно схеме путевого развития, отображенной в паспорте пути или технико-распорядительном акте;
- местоположение данного подвижного состава на пути следования;
- скорость и направление его движения;
- привязка событий на подвижном составе и объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта к московскому времени;
- время и координаты (в какой-либо общеземной системе) местоположения вагонов с грузами.

В целом технические средства, устанавливаемые на подвижной состав и объекты инфраструктуры, делятся на две группы. К первой относятся средства, обеспечивающие выполнение технических и технологических процессов на железнодорожном транспорте. Ко второй – средства, обеспечивающие получение информации о местоположении и состоянии грузов при перевозках железнодорожным транспортом.

Система «Красная стрела» внедряется на полигоне Красноярского транспортного узла на участке промышленного железнодорожного транспорта ОАО «ВостСибПромТранс» [149]. Результаты предварительных испытаний подтвердили:

- точность математического описания путевого развития станций и путей перегонов опытного полигона по результатам инженерно-геодезических работ – построение цифровых моделей путевого развития (ЦМПР) со средней квадратической ошибкой (СКО) 30 см;
- точность определения местоположения локомотива ТЭМ2 на ЦМПР с предельной ошибкой 1 м;
- точность определения скорости движения локомотива с СКО 0,05 м/с;
- частота передачи данных в смежные системы управления не ниже 1 Гц.

Система позволяет обеспечивать любые системы информацией о местоположении, скорости, направлении движения оборудованных подвижных железнодорожных объектов как в четырехмерном пространстве-времени, так и на ЦМПР.

Информация о перемещениях локомотивов (выезд локомотива из депо, заезды/выезды на пути станций, отправление на другую станцию или подъездной путь, прибытие с другой станции или подъездного пути, начало простоя локомотива с указанием причины, окончание простоя) необходима для ведения динамической модели полигона управления, включая дислокацию вагонов на путях.

Система «Красная стрела» позволяет передавать навигационную информацию о местоположении локомотива, направлении и скорости его движения, получаемой с помощью системы ГЛОНАСС, а также информацию от дополнительных датчиков в базу данных станционных информационно-управляющих систем. В перспективе это позволит значительно (до 60%) сократить объем информации, вводимой вручную, повысить оперативность (до режима реального времени) передачи информации о перемещениях локомотивов, а вместе с ними и вагонов. За счет автоматического получения указанной информации появляется возможность улучшить качество оперативного планирования

подачи вагонов на фронты погрузки/выгрузки и уборки вагонов после выполнения грузовых операций, оптимизировать работу локомотивов и повысить эффективность их использования, а также снизить эксплуатационные расходы. На основе этой же информации появляется возможность вести расчет количественных и качественных показателей использования вагонов и локомотивов. За счет ведения достоверной оперативной вагонной модели перевозочного процесса создаются условия для отмены штатных процессов физического списывания парка вагонов на станции, а также для отмены ручного ведения настольных журналов дежурного по станции, книги движения поездов, балансового журнала, графика исполненной работы станции.

С учётом полученных результатов можно утверждать, что ГЛОНАСС может стать основой для построения информационно-управляющих систем с передачей данных в информационно-управляющие системы оперативного управления дорожного уровня, а также предприятий промышленного железнодорожного транспорта.

Кроме решения задач управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте системе можно найти следующее применение:

- контроль местоположения самостоятельных подвижных единиц и работающих на путях бригад на станциях и перегонах;
- контроль свободности станционных путей и перегонов на основе определения длины состава на пунктах контроля полносоставности;
- построение систем оповещения о приближении поездов к переездам;
- построение системы единого времени для устройств железнодорожной автоматики и связи;
- определение взаимных расстояний между поездами (система интервального регулирования);
- геодезическое обеспечение решения задач службы пути и искусственных сооружений;
- использование в системах автоматического определения местоположения и идентификации подвижного состава для целей сопровождения грузов;
- автоматизация процесса заполнения маршрутов машинистов и передача этих данных в систему интегрированной обработки данных;
- построение систем автоматического ведения поездов;

- построение автоматизированных систем контроля дислокации локомотивов и оперативного персонала, работающего на пути;
- построение автоматизированных систем обработки данных для повышения надежности технических средств железнодорожного транспорта;
- создание обучающих ситуационных тренажеров для различных служб железнодорожного транспорта.

Имеется опыт применения систем автоматического слежения для решения задач эксплуатации и на железных дорогах других стран. Одна из самых больших и загруженных в мире транспортных систем – Индийские железнодорожные дороги, перевозящие более шестнадцати миллионов пассажиров и миллиона тонн грузов за сутки, приступила к реализации проекта *RFID. Radio Frequency Identification* (англ.) – радиочастотная идентификация) [150]. Это метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах или *RFID*-метках. Любая *RFID*-система состоит из считывающего устройства (сканер, ридер или интеррогатор) и транспондера (он же *RFID*-метка, иногда также применяется термин *RFID*-тер).

ID-теги устанавливаются на каждом транспортном средстве, поезде или вагоне, а считыватели *TagMaster* устанавливаются по пути следования состава. Считыватель может распознавать метки на скоростях свыше 300 км/ч. То есть диспетчеры индийских железных дорог могут определять дислокацию не только каждого поезда или вагона, но и получать вспомогательную информацию для решения эксплуатационных задач. Например, выявлять порожние вагоны или контролировать динамику передвижения отдельных поездов по железнодорожной сети.

Система *on-line* мониторинга перевозок на железнодорожной сети Индии длиной в 62 тысячи километров помогает осуществить контроль передвижения всех поездов. На линии Талчэр-Парадип-Вишакхапатнам (*Talcher-Paradeep-Vishakhapatnam*) Восточного побережья около пятисот вагонов будут оснащены *RFID*.

RFID технологии позволяют измерять основные диагностические параметры, необходимые для обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте, а также анализировать данные, полученные от измеряемых объектов в режиме реального времени, которые непосредственно связаны с точным местоположением каждого вагона. *RFID* системы применяются в метрополитене, для отслеживания точности движения по-

ездов, а также на крупных промышленных предприятиях для контроля собственного железнодорожного подвижного состава.

Первая демонстрация современных *RFID*-чипов была проведена в Исследовательской лаборатории Лос-Аламоса в 1973 году. В США бесконтактная идентификация вагонов на железной дороге применяется уже в течение 20 лет [150].

Ведущий разработчик *RFID* решений для железнодорожных компаний, компания *TagMaster*, получила в январе 2010 года заказ от итальянского партнера *Generale Sistemi*. Сумма контракта составила более \$421 000. Оборудование поставляется в подразделение заказчика, располагающееся в итальянском городе Прато [150]. Оборудование *RFID* будет использоваться для автоматической идентификации вагонов и систем мониторинга их состояния.

Немецкая компания *Hochbahn*, ежедневно обслуживающая около 500 000 пассажиров в настоящее время оснащается ридерами *GEN4HD*. Автор проекта – немецкий системный интегратор *Funkwerk Information Technologies*. По данным, предоставленным *TagMaster*, сумма заказа составила один миллион шведских крон (132 000 \$) [150]. Ридеры *2.45 GHz RFID*, интегрируемые в уже существующую систему, устанавливаются на шпалах в узловых пунктах, а две полупассивные метки *MarkTag HDS S1456* размещаются в нижней части каждого вагона. Когда метка оказывается над ридером, он считывает и передает ее уникальный идентификационный номер. Полученная информация затем используется для уведомления операторов главного информационно-вычислительного центра о том, какие поезда проезжают над тем или иным ридером в какое время, а также направление движения. *Hochbahn* начала использовать технологию *RFID TagMaster* еще в 2004 году на двух железнодорожных линиях. Метки и ридеры поставлялись *Funkwerk IT*, которая разрабатывала и устанавливала интегрированную систему управления и контроля операций для *Hochbahn*.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о достаточности уровня развития технических средств, применяемых для определения дислокации подвижных транспортных объектов для создания и внедрения на практике новых систем интервального регулирования движением поездов.

Выводы по первой главе

1. Выполнен анализ научных исследований в области развития транспортных систем, в результате которого установлено, что применяемые ранее модели и принятые парадигмы не работают в полной мере в новых экономических условиях, вызванных проводимой реформой железнодорожного транспорта.

2. Выполненный анализ прогнозных моделей позволил предложить модель прогнозирования грузопотоков.

3. Проведённый анализ управления парками вагонов в нашей стране и за рубежом на протяжении длительных исторических отрезков позволил выявить системные недостатки и проблемы эксплуатации вагонов различной принадлежности.

4. Главной проблемой существующей системы управления парками вагонов является низкая эффективность их использования, что приводит к росту потребности в погрузочных ресурсах, вследствие замедления оборота вагона.

5. На основании проведенного анализа научных исследований сформированы требования к методике определения потребности пунктов погрузки в погрузочных ресурсах, обеспечивающая удовлетворение потребностей всех категорий грузоотправителей, линейных предприятий транспорта и отрасли в целом.

6. В качестве оперативных мероприятий, позволяющих снять избыточную нагрузку с сети железных дорог, предложено введение обезличенного управления вагонными парками различных собственников.

7. Необходимо рассмотреть 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.

8. Проблемы, возникающие при производстве капитального ремонта пути, имеют различную природу, что определяет достаточно широкий круг методов, применяемых при решении отдельных задач.

9. 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.

10. Оценивая влияние интенсивности поездопотока на величину дополнительных задержек поездов, возникающих при производстве капитального ремонта пути, необходимо учитывать внутрисуточную неравномерность.

11. Успехи в развитии геоинформационных систем создали к настоящему моменту времени предпосылки для создания и реализации на практике принципиально нового класса систем интервального регулирования движением на основе координатного позиционирования поездов и использования цифровых моделей.

12. Уровень развития информационных систем железнодорожного транспорта позволяет создать цифровую модель путевого развития для использования для практических задач оперативного управления движением поездов.

2. МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

2.1. Основные определения и понятия

С позиций системного анализа [151] *система* определяется как «организационное или составное целое, набор или комбинация элементов или частей, образующих единый комплекс или единое целое». Схожее определение приводится и в общей теории систем [152], где она определена как «комплекс избирательно вовлечённых элементов, находящихся во взаимодействии, упорядоченное определенным образом множество элементов, взаимосвязанных между собой и образующих некоторое целостное единство, целенаправленно функционирующая конструкция, обеспечивающие выполнение».

В случае транспортной системы глобальной функцией является обеспечение текущих потребностей национальной и мировой экономик и населения в транспортных услугах, с учётом перспективы их роста. Реализация этой функции обеспечивает территориальную целостность, экономическую и геополитическую безопасность страны, а также открывает возможности для интеграции в мировую экономику. До недавнего времени считалось, что *транспортная система* – комплекс объектов (одного или нескольких видов транспорта), находящихся во взаимной зависимости и взаимодействии и предназначенных для выполнения перевозок [6]. При этом в качестве компонентов выделялись: транспортная сеть, подвижной состав, система управления и трудовые ресурсы.

С позиций государственного управления *современная транспортная система* понимается как важнейшая часть производственной и социальной инфраструктуры, обеспечивающая потребности национальной экономики и населения в транспортных услугах, с учётом перспективы их роста, территориальную целостность, экономическую и геополитическую безопасность страны.

Региональная транспортная система (РТС) — целевая или объективно существующая транспортно-территориальная система, состоящая из топоморфологической, технической, социально-экономической составляющих, обладающая рядом отличительных свойств [153]: целостностью элементов; набором неповторимых элементов (сетей и узлов разного уровня и т. д.); иерархичностью (от макрорегионального уровня, до отдельного населённого пункта); сочетанием функций притяжения и отторжения отдельных элементов сети транспортной системы; эмерджентностью (свойства всей транс-

портной системы не сводятся к набору свойств ее элементов – синергетический эффект); сочетанием синхронности и аритмичности развития отдельных компонентов; динамичностью, а также сезонной ритмичностью функционирования; сочетанием управляемости и самоорганизации для разных ее элементов; непосредственным влиянием на формы и методы хозяйствования, качество жизни в регионе; специализацией в территориальном разделении труда; взаимной конкуренцией и соподчинением элементов системы.

Транспортно-логистическая система – интеграция промышленного и магистрального транспорта всех видов, а также производства, распределения и потребления материальных потоков всех видов.

Изучение транспортно-логистических систем, по сути, более широкий взгляд на транспортную систему, вытекающий из реализации принципов логистики. Постановка во главу угла потоковых процессов, протекающих внутри таких систем, позволяет тщательно рассмотреть проблемы, неизбежно возникающие в местах стыка подсистем, пересечения сфер интересов предприятий и компаний разных форм собственности. В конечном счёте, такой подход позволяет повысить экономическую эффективность деятельности каждого из участников процесса производства, распределения и потребления материальных благ.

Модернизация – изменение, усовершенствование, отвечающее современным требованиям, вкусам, направлениям. В работе [154] под термином *модернизация сортировочных станций* понимается увеличение их пропускной и перерабатывающей способности, а также эффективности производства на основе достижений научно-технического прогресса, методов организации станционных процессов путём осуществления реконструктивных и организационно-технических мероприятий. Существо *модернизации транспортной системы на принципах логистики* заключается в постановке потоковых процессов на первое место в иерархии подцелей. Для понимания сущности процессов развития и модернизации транспорта необходимо внести ясность и разграничить эти термины. Итак, *развитие* – процесс закономерного изменения, перехода из одного состояния в другое, более совершенное; переход от старого качественного состояния к новому, от простого к сложному, от низшего к высшему [155]. *Развитие* – есть целенаправленное изменение состояния системы во времени, поддерживаемое деятельностью человека в соответствии с изменениями внешней среды [153, 156]. Другими словами, *развитие*

транспортной системы – это эволюционный процесс роста, реализуемый на основе этапов модернизации.

2.2. Анализ внешних и внутренних связей

Один из принципов системного анализа состоит в рассмотрении объектов по принципу «от общего к частному, от абстрактного к конкретному». Применительно к транспортным системам это означает, что прежде чем приступить к изучению внутренних, необходимо рассмотреть внешние связи.

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.).

По сути связи первого блока формируют инфраструктуру и устанавливают «правила игры» на транспортном рынке. Второй и третий блоки определяются реализацией главной функции – оказанием материальных услуг по транспортировке. И, наконец, последний блок характеризуется обеспечением транспортного процесса, т.е. транспортная система представляется как массовый потребитель продукции и услуг других отраслей.

Как любая другая крупная система, многие из своих потребностей система удовлетворяет за счёт внутренних ресурсов. Например, в холдинг ОАО «РЖД» входят компании «Трансмашхолдинг», ВНИИЖТ и многие другие, которые выступают в качестве поставщиков продукции и услуг. Первая удовлетворяет в значительной мере потребность в подвижном составе, вторая оказывает научно-исследовательские услуги. Отношения такого рода должны быть отнесены к внутренним связям.

Существование любой транспортной системы невозможно без тесного взаимодействия с процессами, протекающими в экономике. Потребности промышленности и населения в перевозках инициируют процесс развития транспортной системы. Государство может также выступать в роли фактора ускорения процессов развития транспортных

систем, используя бюджетные источники для формирования и реализации целевых программ, например [5]. Целями Программы являются:

- развитие современной и эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение товародвижения и снижение транспортных издержек в экономике;
- повышение доступности услуг транспортного комплекса для населения;
- повышение конкурентоспособности транспортной системы России и реализация транзитного потенциала страны;
- повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы;
- улучшение инвестиционного климата и развитие рыночных отношений на транспорте.

Для реализации этих целей необходимо решение следующих задач:

- развитие путей сообщения (автомобильные дороги общего пользования, железнодорожные линии, внутренние водные пути);
- строительство скоростных автомобильных дорог и железнодорожных линий для организации скоростного пассажирского движения;
- формирование единой дорожной сети круглогодичной доступности для населения;
- развитие аэропортовой сети (аэропорты-хабы, внутрироссийские узловые и местные аэропорты);
- увеличение пропускной способности российских морских портов;
- комплексное развитие транспортных узлов, включая терминально-логистические центры;
- повышение конкурентоспособности международных транспортных коридоров;
- обновление парков транспортных средств, состава морского и речного флота;
- обеспечение транспортной безопасности;
- развитие интегрированной системы контроля безопасности на транспорте;
- формирование и отработка механизмов проектного управления инвестициями.

Государство в современных реалиях не может выступать в роли единственного инвестора процессов модернизации и развития транспортной системы. Большая, в идеале преобладающая, роль отводится частным инвесторам. Возможны различные формы участия негосударственного капитала: активы коммерческих банков; крупных корпораций,

паевых инвестиционных фондов, иных коммерческих структур и даже населения (портфельное инвестирование).

К внутренним связям транспортных систем 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. Остаются в структуре главного участника железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» дирекции по управлению движением.

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 компания со стопроцентным участием государства, не может произвольно определять стоимость своих услуг, которые находятся под тарифным регулированием. Поэтому, зачастую, компании выгодно сократить прибыль, путём роста расходной части бюджета. Ведь это даёт основания требования увеличения уровня тарифов, обосновывая их низкой рентабельностью своей работы. Как видно, из сказанного вытекает необходимость завершения реформы – устранение монопольного сегмента транспортного рынка. Что, с одной стороны, уравнивает всех участников транспортного процесса в правах, а, с другой стороны, вынудит транспортные компании добиваться роста рентабельности путём снижения издержек.

Основные фонды транспортной системы распределены между значительным числом субъектов различных форм собственности. Например, сеть железнодорожных путей общего пользования остаётся в собственности государства, находясь в оперативном

управлении у ОАО «РЖД». Вагонный парк в полном составе находится у операторских компаний. Цели участников транспортного процесса зачастую противоречивы. Отсутствует орган, который бы мог обеспечить эффективное управление в части оптимизации использования ресурсов.

Качество работы транспорта принято оценивать с помощью системы качественных показателей. Полный их перечень приведён в учебной и учебно-методической литературе, например в [157]. В современных реалиях заметно ниже качество использования подвижного состава. Значительно выше доля порожнего пробега вагонов, больше время оборота вагонов [158]. Существенно возрос простой вагона в ожидании погрузки. Всё это – следствие отказа от централизованного обезличенного управления парками вагонов.

При разработке методологии модернизации транспортной системы проведен причинно-следственный анализ, результаты которого приведены на рисунке 7.

Диаграмма Исикавы для оценки факторов, влияющих на формирование методологии модернизации транспортной системы

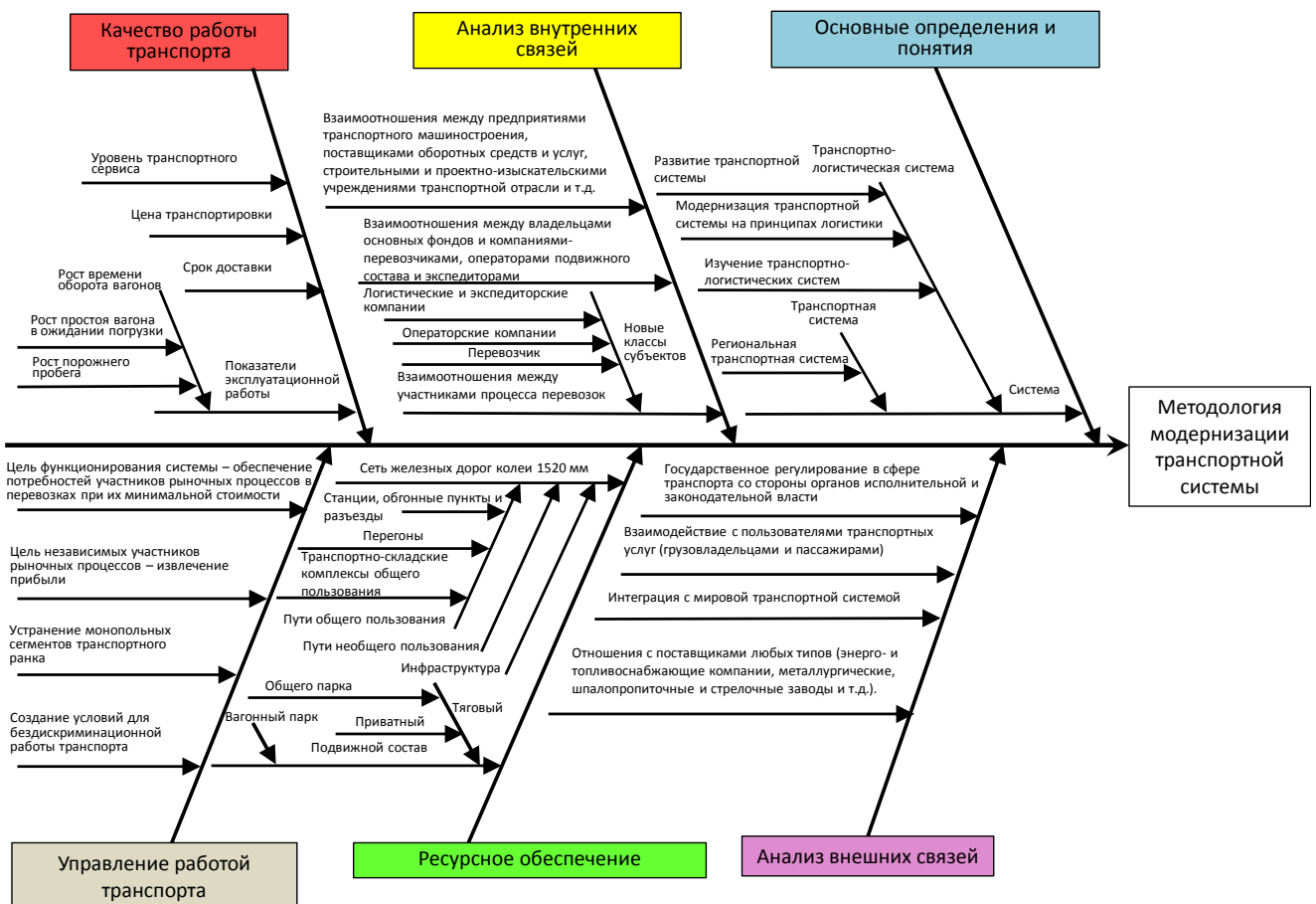


Рисунок 7

Неэффективное использование вагонов увеличивает потребность в их парке, что благоприятно для транспортного машиностроения, но малоуправляемый рост вагонного парка создаёт избыточную нагрузку на транспортную инфраструктуру. Причём в наибольшей степени страдают самые уязвимые (нагруженные) участки сети – на подходах к местам выгрузки и в районах массовой погрузки. В современных условиях вряд ли возможно кардинально изменить ситуацию с управлением вагонными парками, поэтому следует изменить подходы к развитию транспортной инфраструктуры. Принципы и темпы её развития должны быть иными.

2.3. Дополнение моделей развития магистральной транспортной сети

Для принятия правильных стратегических решений по развитию магистральной транспортной сети в практике советского периода широко применялись детерминированные модели развития магистральной транспортной сети. Их можно разделить на три класса [6]: статистические с дискретно-непрерывными переменными; динамические с дискретно-непрерывными и непрерывными переменными.

В каждой из них присутствует обобщённая матрица инцидентий:

$$S_p = \|S_{ijl}\|, \quad (2)$$

при построении которой используется троичная функция вида:

$$S_{ijl} = \begin{cases} +1, & \text{если по дуге из } i \text{ в } j \text{ следует груз типа } l; \\ -1, & \text{если по дуге из } j \text{ в } i \text{ следует груз типа } l; \\ 0, & \text{при отсутствии грузопотока типа } l \text{ по дуге,} \end{cases} \quad (3)$$

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 с одной стороны к дополнительной на-

грузке на транспортную сеть, с другой стороны в отдельных точках возникает дефицит (недостаток), в других профицит (избыток) грузов категории l . В местах избытка потребительских товаров отдельных видов возникают бифуркации, что инициирует рыночные процессы, заставляя участников рыночных процессов 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.

Рассмотренная модель вполне применима и в современных реалиях при внесении незначительных уточнений. Так, при формировании матрицы инцидентий (2) 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:

$$S_{ijl} = \begin{cases} 1, & \text{если по дуге следует груз типа } l; \\ 0, & \text{при отсутствии грузопотока типа } l. \end{cases} \quad (4)$$

2.3.1. Статистическая с дискретно-непрерывными переменными

С учётом изложенного выше, статистическую модель с дискретно-непрерывными переменными можно представить в виде:

$$\min_{X, \eta} F(X, \eta) = \min_{X, \eta} \sum_u \sum_k f_{uk}(X, X_n) \eta_{uk}, \quad (5)$$

при ограничениях:

$$S_p X = b; \quad (6)$$

$$X \geq 0; \quad (7)$$

$$\eta_{uk} = \begin{cases} 0, & \forall u, k; \\ 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\sum_k \eta_{uk} = \begin{cases} 0, & \forall u; \\ 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$X_u \left(1 - \sum_k \eta_{uk} \right) = 0; \quad (10)$$

$$\sum_u \sum_k r_{juk} \eta_{uk} \leq R_j, \forall j, \quad (11)$$

где f_{uk} – функция приведённых затрат на элементе сети u при уровне k его развития, включающая затраты на его развитие;

X – искомый вектор загрузки сети потоками всех родов грузов;

X_n – заданный вектор загрузки сети пассажирскими перевозками;

b – вектор объёмов отправления и прибытия в вершинах сети;

X_u – вектор загрузки элемента сети u ;

η_{uk} – двоичная функция, показывающая k -е состояние на u -м элементе сети (1 – есть развитие, 0 – не предусматривается развитие);

$\eta = \{\eta_{uk}\}$ – искомый вектор развития технического оснащения элементов сети;

r_{juk} – расход j -го ресурса на u -м элементе сети для приведения его из исходного в k -е состояние;

R_j – суммарная допустимая величина расхода j -го ресурса;

S_p – обобщённая матрица инцидентов вида (2), соответствующая перевозке неоднородных потоков грузов.

Целевая функция (5) минимизирует суммарные приведённые затраты при трёх типах ограничений:

- технологического характера: ограничения (6) и (7) – условие выполнения всех перевозок;
- на процессы реконструкции и развития: ограничения (8) и (9) – каждый может находиться только в одном состоянии, а если он не создан, то и работа им выполняемая равна 0 – ограничение (10);
- ресурсного характера: ограничение (11) – каждый вид ресурса не может быть потреблён более установленного лимитом.

Размер матрицы инцидентий (2), построенной в соответствие с (4) при условии $i \neq j$, значительно превышает описанную в [6], – двукратно: по ширине и высоте. Однако, при современном уровне развития информационных систем, это не является существенным ограничением. Более того, такой подход позволяет алгоритмически агрегировать грузопотоки по любым узлам сети, как входящие, так и выходящие. Можно алгоритмически определять загрузку на любом маршруте, состоящем из последовательности ребер сети.

Правильное использование параметра l позволяет алгоритмически обрабатывать грузопотоки, например, объединяя их по номенклатурным группам, или использовать эту информацию для решения задач планирования работы вагонного парка.

Статичность модели делает её весьма удобной при перспективном планировании, например составлении программ модернизации технического оснащения решающих фрагментов сети, распределении инвестиций, или определения их требуемого объёма.

2.3.2. Динамические модели

При динамической постановке задачи с помощью вектора b^t задаются изменения во времени объёмов отправления и прибытия грузов, а также интенсивность загрузки сети грузовыми X^t и пассажирскими потоками X_n^t . Функция приведенных затрат записывается в виде $f_{uk}^t(X^t, X_n^t)$. Предполагается, что уровень развития любого элемента сети со временем не снижается, а величина эксплуатационных расходов на перевозки по любому элементу сети определяется на год, и не меняется в этот период.

Динамическая модель с дискретно-непрерывными переменными, являющаяся, по сути, обобщением модели (5)-(11), принимает вид:

$$\min_{X^t, \eta^t} F(T, X^t, \eta^t) = \min_{X^t, \eta^t} \sum_{t=1}^T \sum_{u,k} f_{uk}^t(X^t, X_n^t, \eta^t) \eta_{uk}^t (1+E)^{-t}, \quad (12)$$

при ограничениях:

$$S_p^t X^t = b^t; \quad (13)$$

$$X^t \geq 0; \quad (14)$$

$$\eta_{uk}^t = \begin{cases} 0, & \forall u, k, t; \\ 1 \end{cases} \quad (15)$$

$$\sum_k \eta_{uk}^t = \begin{cases} 0, & \forall u, t; \\ 1 & \end{cases} \quad (16)$$

$$X_u^t \left(1 - \sum_k \eta_{uk}^t \right) = 0, \forall u, t; \quad (17)$$

$$\sum_{t=\theta_1}^{t=\theta_2} \sum_{u,k} r_{juk}^t \eta_{uk}^t \leq R_j^{\theta_1 \theta_2}, \forall j; \quad (18)$$

$$\left(\sum_k k \eta_{uk}^t - \sum_k k \eta_{uk}^\tau \right) (t - \tau) \geq 0, \forall u, k, t, \tau, \quad (19)$$

где: t, τ – индекс текущего года;

T – продолжительность расчётного периода;

$R_j^{\theta_1 \theta_2}$ – ограничение на суммарное значение расхода j -го ресурса в период от года θ_1 до года θ_2 включительно.

Переменные θ_1 и θ_2 определяют нижнюю и верхнюю границы периода планирования. t и τ задают год окончания и начала планового отрезка.

Условие (18) означает, что сумма инвестиций на все мероприятия по развитию всех элементов сети на всех этапах развития не может превышать установленных лимитов. Смысл остальных ограничений идентичен статической модели (6)-(10).

Неравенство в условии (19) показывает при $t > \tau$ наличие на элементе u мероприятий по развитию в период времени $[t, \tau]$, соответственно, равенство – их отсутствие.

Решение задачи (12)-(19) позволяет установить, в какой год и какие элементы сети будут реконструированы или вновь созданы, и до какого состояния. Время в модели принято дискретным – переменные τ, t, θ_1 и θ_2 изменяются с шагом равным одному году.

Если в модели, описываемой уравнениями (12)-(19) принять время непрерывным, как впервые предложено Э.И. Позамантиром [159], и исключить дискретные переменные из динамической модели, то возможно построение динамической модели с непрерывными переменными. При этом ресурсные ограничения опускаются для упрощения.

Пусть в вершинах графа, описывающего сеть путей сообщения, определены функции времени (интенсивность производства и потребления нескольких невзаимозаменяемых родов груза), которые сбалансированы в масштабах сети по каждому виду грузов. В

случае дефицита спроса, либо предложения, вводятся фиктивные потребители, либо производства.

Рёбрам графа соответствуют участки сети, каждый из которых находится в одном из состояний уровня технического развития, пронумерованных индексами $k = \overline{1, n}$. В результате реконструкции участков сети значения k для каждого из рёбер могут изменяться во времени, так что состояние участка, соответствующее u -му ребру, описывается функцией $k_u(t)$, принимающей целочисленные значения. Точки разрыва этой функции обозначены θ_{uz} , где $z = \overline{1, n_u}$. Функция непрерывна слева для каждой из точек разрыва. Для упрощения предполагается, что в моменты θ_{uz} осуществляются инвестиции в размере $K_u(k_u(\theta_{uz}), k_u(\theta_{uz} + 0))$, где $K_u(k, k')$ – заданная функция двух целочисленных аргументов, определённых для всех возможных пар.

Перевозки между пунктами производства и потребления порождают меняющиеся во времени потоки на дугах графа, мгновенная интенсивность которых в момент времени t обозначается как $X(t) = \{X_u(t)\}$, где $X_u(t)$ – вектор перевозок всех родов грузов на u -м звене. Реализация перевозок вызывает текущие издержки, которые зависят от технического состояния участка и интенсивности выполняемых на нём перевозок. Их величина определяется функцией $f_u(k_u, X)$.

Задача оптимизации развития транспортной сети в плановом периоде $[0, T]$ в простейшем случае имеет вид:

$$\min_{X, \theta} \left\{ \sum_u \sum_{z=1}^{z=n_u} K_u(k_u(\theta_{uz}), k_u(\theta_{uz} + 0)) (1+E)^{-\theta_{uz}} + \int_0^T f_u(k_u(t), X(t)) (1+E)^{-t} dt \right\}, \quad (20)$$

при условиях:

$$S_p(t) X(t) = b(t), \forall t \in [0, T]; \quad (21)$$

$$X(t) \geq 0, \quad (22)$$

где: $X(t)$ – искомая вектор-функция интенсивности перевозок;

$b(t)$ – заданная вектор-функция интенсивности производства-потребления всех грузов в вершинах сети.

В описанной модели искомые переменные X и θ изменяются непрерывно. Применение модели осуществляется в два этапа. Вначале фиксируются состояния сети и оптимизируются потоки, а затем оптимизируются состояния.

2.4. Оценка своевременности проведения мероприятий по модернизации на основе модели расчёта нагрузки на элементы сети при прогнозировании стационарных транспортных потоков

На основе прогноза транспортных потоков можно определить загрузку элементов сети железных дорог будущем в разной степени отдаления. С этой целью формализуется модель расчёта нагрузки на элементы сети. Пусть i и j , соответственно, грузовые терминалы, осуществляющие погрузку и выгрузку. Причём $i, j \in \{N\}$, где N – множество всех терминалов сети. Тогда приняв за k индекс номенклатурной группы груза можно описать многопродуктовую модель стационарных транспортных потоков в форме трёхмерного массива:

По завершении этапа прогнозирования транспортных потоков можно приступить к определению загрузки элементов сети. С этой целью предлагается модель формализации расчёта нагрузки на элементы сети [160]. Пусть i и j , соответственно, грузовые терминалы, осуществляющие погрузку и выгрузку. Причём $i, j \in \{N\}$, где N – множество всех терминалов сети. Тогда приняв за k индекс номенклатурной группы груза можно описать многопродуктовую модель стационарных транспортных потоков в форме трёхмерного массива:

$$S_{ijk} = \|s_{ijk}\|, \text{ где } i \neq j; i, j \in \{\overline{1, n}\}, k \in \{\overline{1, m}\}. \quad (23)$$

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

$$S_{ij} = \|s_{ij}\|, \text{ где } i \neq j; i, j \in \{\overline{1, n}\}. \quad (24)$$

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:

$$s_{ij} = \sum_{k=1}^m s_{ijk}, \text{ где } i \neq j; i, j \in \{\overline{1, n}\}. \quad (25)$$

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, перевозимый за одну перевозку, определяет пульсацию потока. Чем крупнее единовременно перевозимая партия, тем она сильнее. Кроме того, перевозка последовательно задействует вершины и рёбра сети по которым она проходит. При прохождении через элемент сети перевозка сначала его загружает, а затем освобождаёт.

При прогнозировании грузопотоков следует принять допущения:

- отсутствует пульсация, т.е. поток равномерно изливается 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:

$$s_{ijk} = \frac{Q_{ijk}}{T}, \quad (26)$$

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:

$$L_{ij} = \min \|l_{ij}\|, \text{ где } i \neq j. \quad (27)$$

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} :

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при включении ребра в маршрут;} \\ 0, & \text{при исключении из маршрута.} \end{cases} \quad (28)$$

Тогда каждому маршруту L_{ij} будет соответствовать:

$$L_{ij} = \|d_{ij} * b_{ij}\|, \quad (29)$$

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

На рисунке 8 приведён фрагмент сети, состоящий из трёх вершин $\{1; 2; 3\}$ и двух рёбер $\{d_{12}; d_{23}\}$. Из фрагмента видно, что не для каждой комбинации i и j ; существует ребро их связывающее, например, отсутствует ребро d_{13} .

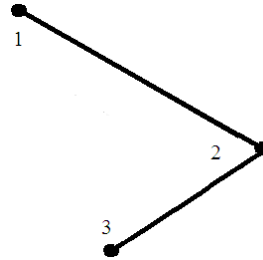


Рисунок 8

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, грузы только одной номенклатурной группы. Это удобно при анализе для установления тенденций.

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 иллюстрации предложенного метода определения требуемой пропускной способности рёбер и вершин предлагается экспериментальный полигон (рисунок 9) из девяти вершин, соединённых двенадцатью рёбрами, над которыми указана их длина в километрах.

Заданы корреспонденции перевозок Q_{ij} в тыс. т (таблица 1) между станциями полигона из девяти вершин, соединённых двенадцатью рёбрами.

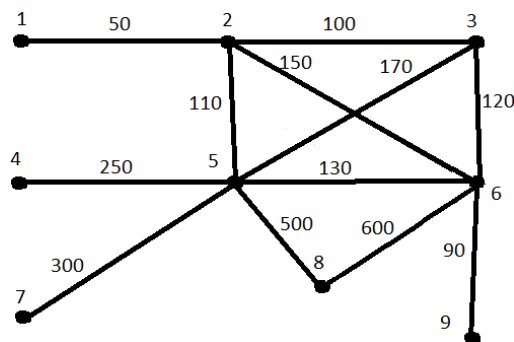


Рисунок 9

Матрица корреспонденций грузопотоков Q_{ij}

Из	На									Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1		100	80	40	35	25	15	85	75	455
2	20		30	50	40	35	15	10	90	290
3	60	15		75	90	65	15	15	80	415
4	45	35	90		60	70	80	30	20	430
5	15	45	90	90		80	75	65	35	495
6	10	75	100	50	40		30	20	15	340
7	90	60	75	65	55	45		25	95	510
8	80	30	40	50	60	70	80		90	500
9	60	10	15	25	65	55	45	35		310
Итого	380	370	520	445	445	445	355	285	500	3 745

Экспериментальный полигон (рисунок 9) на языке модели с помощью булевых переменных b_{ij} описан в таблице 2.

Таблица 2

Матрица действительных рёбер

Из	На								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		1	0	0	0	0	0	0	0
2	1		1	0	1	1	0	0	0
3	0	1		0	1	1	0	0	0
4	0	0	0		1	0	0	0	0
5	0	1	1	1		1	1	1	0
6	0	1	1	0	1		0	1	1
7	0	0	0	0	1	0		0	0
8	0	0	0	0	1	1	0		0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	

Матрица действительных рёбер легко преобразуется в матрицу расстояний, которая приведена в таблице 3.

Таблица 3

Матрица расстояний для действительных рёбер d_{ij}

Из	На								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		50							
2	50		100		110	150			
3		100			170	120			
4					250				

Из	На								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5		110	170	250		130	300	500	
6		150	120		130			600	90
7					300				
8					500	600			
9						90			

Построив матрицу оптимальных маршрутов (таблица 4) вида (29) с участием действительных рёбер d_{ij} несложно рассчитать нагрузку на каждое из рёбер (таблица 5) и вершин (таблица 6) полигона. В матрице оптимальных маршрутов приведены только маршруты L_{ij} для $i < j$, принимается что $|L_{ji}| = |L_{ij}|$.

Таблица 4

Матрица оптимальных маршрутов L_{ij}

Маршрут			Длина, км
Наименование		Схема	
Из	В		
1	2	l_{12}	50
	3	$l_{12} + l_{23}$	150
	4	$l_{12} + l_{25} + l_{54}$	410
	5	$l_{12} + l_{25}$	160
	6	$l_{12} + l_{26}$	200
	7	$l_{12} + l_{25} + l_{57}$	460
	8	$l_{12} + l_{25} + l_{58}$	660
	9	$l_{12} + l_{26} + l_{69}$	290
2	3	l_{23}	100
	4	$l_{25} + l_{54}$	360
	5	l_{25}	110
	6	l_{26}	150
	7	$l_{25} + l_{57}$	410
	8	$l_{25} + l_{58}$	610
	9	$l_{26} + l_{69}$	240
3	4	$l_{35} + l_{54}$	420
	5	l_{35}	170
	6	l_{36}	120
	7	$l_{35} + l_{57}$	470
	8	$l_{36} + l_{68}$	620
	9	$l_{36} + l_{69}$	210

Маршрут			Длина, км
Наименование		Схема	
Из	В		
4	5	l_{45}	250
	6	$l_{45} + l_{56}$	380
	7	$l_{45} + l_{57}$	550
	8	$l_{45} + l_{58}$	750
	9	$l_{45} + l_{56} + l_{69}$	470
5	6	l_{56}	130
	7	l_{57}	300
	8	l_{58}	500
	9	$l_{56} + l_{69}$	220
6	7	$l_{65} + l_{57}$	430
	8	l_{68}	600
	9	$l_{56} + l_{69}$	220
7	8	$l_{75} + l_{58}$	800
	9	$l_{75} + l_{56} + l_{69}$	520
8	9	$l_{86} + l_{69}$	690

Таблица 5

Нагрузка на рёбра d_{ij}

Из	На								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		455							
2	380		110		290	225			
3		75			195	145			
4					430				
5		400	295	445		345	355	230	
6		155	115		255			55	500
7					510				
8					340	160			
9						310			

Таблица 6

Загрузка вершин полигона

Вершина	Грузопоток			Загрузка
	Исходящий	Входящий	Транзитный	
1	455	380	0	835
2	1 005	1 085	715	2 090
3	415	520	0	935
4	430	445	0	875

Вершина	Грузопоток			Загрузка
	Исходящий	Входящий	Транзитный	
5	2 070	2 020	1 575	4 090
6	1 080	1 185	740	2 265
7	510	355	0	865
8	500	285	0	785
9	310	500	0	810

Не составляет труда выявить рёбра и вершины сети, испытывающую предельную загрузку. Если соотнести требуемую пропускную способность с наличной, то можно через коэффициент использования резерва перерабатывающей (пропускной) способности судить о срочности проведения мероприятий по её усилению.

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. Например, рассматривая транспортный коридор, можно составить программу мероприятий по его развитию с оптимизацией инвестиций.

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, грузы только одной номенклатурной группы. Это удобно при анализе для установления тенденций.

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.

2.5. Прогнозирование объёмов перевозок грузов

Прогнозирование объёмов перевозок грузов предлагается осуществлять с использованием методов теории оптимального управления [161] 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. В работах [17, 18] рекомендуется с целью снижения ошибки прогноза описывать зависимость потоков меньшим числом факторов.

При проведении группирования 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:

$$Q = f(T, P, S, L, B, K), \quad (30)$$

С точки зрения теории оптимального управления [8] существует система управления перевозками. Она также может быть отнесена к классу больших систем. Целенаправленное функционирование такого рода систем 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. Так, проведенный в работе [162] анализ, позволяет сделать предположение, что 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:

$$Q = f(t), \quad (31)$$

где t – временной интервал, годы.

Функция $f(t)$ – динамический временной ряд, может быть определена путём определения коэффициентов регрессии a_0 и a_1 уравнения вида:

$$f(t) = a_0 + a_1 * t. \quad (32)$$

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. Результаты проверки динамических рядов, приведенных в [163], дали по всей

генеральной совокупности в среднем по импорту $k_{корр}=0,97$, а по экспорту $k_{корр}=0,96$.

При оценке на временных интервалах, имеющих схожее сочетание значений по всем группам факторов, значение коэффициентов корреляции составило:

- по импорту $k_{корр}=0,97$;
- по экспорту $k_{корр}=0,99$.

Это подтверждает гипотезу о том, что при стабильной экономической и политической ситуации в странах-партнерах, объёмы внешнеторговых перевозок имеют тенденцию к росту. Для расчётов по периодам времени, имеющим различные внешнеполитические и внутриэкономические характеристики, зависимость имеет нелинейный характер и требует для описания иных подходов. Хорошо описывала процесс роста грузопотоков в сообщении между Россией и Китаем в докризисный период корреляционная модель со следующими параметрами:

- по импорту:

$$Q_{имп} = -196\,361,44 + 98,36 * t, \quad (33)$$

- по экспорту:

$$Q_{эксп} = -3\,032\,825,36 + 1519,04 * t. \quad (34)$$

Для использования модели достаточно подставить в формулы вместо параметра t номер года в григорианском исчислении. Например, для расчета прогнозного импортного и экспортного грузопотока на 2008 год, передаваемого по стыку Забайкальск-Маньчжурия (КНР):

$$Q_{имп} = -196\,361,44 + 98,36 * 2008 = 1145,44 \text{ (тыс. т);}$$

$$Q_{эксп} = -3\,032\,825,36 + 1519,04 * 2008 = 17\,406,96 \text{ (тыс. т).}$$

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. Т.е. их абсолютное влияние не очень велико. В качестве иллюстрации можно привести такой пример, осенью 2004 г. состоялись переговоры между главами государств РФ и КНР. Позднее [164], главы железнодорожных ведомств согласовывают объёмы перевозок, которые значительно превышают прогнозные. И, тем не менее, группа факторов T , не позволяет скач-

кообразно возрасти объемам перевозок, поэтому характер роста носит экспоненциальный характер (период интенсивного возрастания объёмов).

Тем не менее, применимость моделей вида (32) 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 (33) и (34). 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 . Природа независимых переменных различна. Главное 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, назначение которых включение и исключение действия обременённых факторов. Таким образом, модель теряет «примитивизм», но становится менее удобной в работе.

Отмеченная в первой главе перспективность применения нейронных сетей для прогнозирования потоковых процессов позволяет выдвинуть рабочую гипотезу о их применимости для прогнозирования размеров движения поездов по поездоучасткам, перегонам или станциям.

Нейронная сеть оптимально сочетает в себе такие характеристики как быстроедействие и высокая аппроксимирующая способность, позволяя оценивать влияние качественных и количественных факторов в динамике.

До начала построения прогнозной модели необходимо определить число факторов, значение которых будет восприниматься нейронной сетью как входные (критериальные) параметры. При значительном увеличении их числа, исчезает очевидность принимаемых решений, осложняется их интерпретация: учителем на этапе обучения нейронной сети; лицом, принимающим решения, на этапе применения. В соответствии с общепринятыми подходами их число должно быть сокращено, путём удаления из модели функционально связанных друг с другом факторов. На результаты отбора существенное влияние будет оказывать глубина периода прогнозирования. Например, при рассмотре-

нии четырёхчасовых периодов, очевидно, что в разное время суток будет серьёзно различаться влияние местной работы, или от «окон» для проведения ремонтов. При прогнозировании суточных размеров движения существенна корреляция между днём недели, так как в зарождении грузопотоков участвуют предприятия с недельным циклом, причём необязательно снижение размеров движения приходится на выходные и праздничные дни – для транзитных дорог оно может приходиться какие-либо из рабочих дней.

Механизм формирования неравномерности движения поездов хорошо изучен и широко освещён в научной литературе [165]. Оказывают влияние и день месяца, и месяц года. Причём характер влияния от этих параметров существенно разнится в разных регионах. Например, в феврале каждого года приостанавливается экономическая жизнь в КНР, что связано с новогодними каникулами и открытием нового планового периода в стране. Это оказывает существенное влияние на объёмы работы Забайкальской железной дороги, через которую осуществляется более 60% товарооборота между РФ и КНР. По мере удаления от границы с КНР значимость этого фактора будет снижаться. В целом мало внимания уделяется тому факту, что режим работы железнодорожного транспорта сам по себе очень мощно влияет на выравнивание поездопотока. Идеальные условия для этого вида транспорта – ритмичность и равномерность. Поэтому каждая из подсистем перевозочного процесса оказывает сглаживающее воздействие на колебание размеров движения, выступая своего рода фильтром.

При рассмотрении суточного периода из множества факторов, влияющих на размеры движения, требуется сократить их количество для упрощения модели. Следует отметить, что число входов никак не ограничивается в нейросетевых моделях [30]. Стремление к упрощению основано на традиционных представлениях о модели, как простой и доступной для понимания. На рынке программного обеспечения представлено значительное количество адаптаций нейросетевого метода. При проведении исследований использовался пакет *STATISTICA Neural Networks* [166]. К достоинствам пакета следует отнести реализацию мощного аналитического метода – генетического алгоритма отбора входных данных, что позволяет сформировать оптимальный набор входных переменных и даёт возможность выбрать наиболее значимые для последующего анализа с помощью традиционных моделей.

В теории корреляции [167] говорится о необходимости тщательного анализа коррелирующих факторов. Зачастую исследователь не может увидеть функциональную связь между фактором и результатом, хотя видит корреляцию от каких-то других факторов, которые на самом деле находятся в функциональной связи с иницирующим фактором. С позиций системного анализа это объясняется индуктивным направлением исследования. Возникает необходимость отбора наиболее сильно коррелирующих факторов. По сути, выбираются «факторы-посредники», корреляционная связь результата с их влиянием понятна подготовленному исследователю интуитивно.

Количественные связи проявляются в функциональной и корреляционных формах. Корреляционная связь: каждому значению одного признака соответствует несколько значений другого признака. Коэффициент корреляции дает представление о направлении (прямая +, обратная –) и силе связи (от 0 до 1): 0 – связь отсутствует; 0-0,3 – связь слабая; 0,3-0,7 – связь средняя; 0,7-1,0 – связь сильная [168].

Расчет коэффициента корреляции k_{xy} между любыми парами признаков выполняется по формуле [169]:

$$k_{xy} = \frac{\sum d_x d_y}{\sqrt{\sum d_x^2 \sum d_y^2}}, \quad (35)$$

где d_x , d_y – отклонения исследуемых признаков от средних значений.

Мультиколлинеарная зависимость между факторами присутствует, если коэффициент парной корреляции находится в диапазоне 0,70-0,80. При превышении верхнего предела этого значения с большой долей вероятности можно говорить о наличии функциональной связи между этими факторами, и, следовательно, в модель следует включать только один из них. Мультиколлинеарность означает, что в значительной мере оба фактора принимают свои значения под влиянием какого-то воздействия, имеют общую причину, при этом их значения зависят и от иных причин. Степень влияния последних на сравниваемые факторы, не всегда одинакова. Учитывая сказанное, при выборе факторов, влияющих на результативный признак, можно сразу отбросить факторы, степень влияния которых незначительна. Рассматривая сильно коррелирующие с результативным признаком факторы, следует проверить предварительно отобранные 3-4 из их числа на мультиколлинеарность с помощью коэффициента парной корреляции. Используя правило Парето, отбор факторов можно завершить при выполнении условия:

$$\sum_i k_{x,y} \geq 0,8. \quad (36)$$

Если коэффициент парной корреляции какого-то фактора превышает значение 0,8 это означает наличие однофакторной корреляционной зависимости.

По своей сути размеры движения поездов на конкретном перегоне – следствие огромного числа детерминированных процессов. Однако, определить набор событий, оказывающих влияние на рассматриваемый объект управления, дать их количественную оценку вряд ли возможно аналитическими методами. Размещение исследуемого перегона или поездного участка в пространстве детерминировано и не меняется с течением времени. Поточковые процессы достаточно точно описываются аналитически с помощью моделей, имеющих периодическую составляющую. При внимательном рассмотрении её можно разложить на ряд гармоник. Первая задаётся периодом суток (утро, день, вечер, ночь). Вторая днём недели, и отражает внутринедельную неравномерность. Третья порядковым номером суток внутри месяца. Четвёртая – месяцем года. Пятая сезоном (весна, лето, осень, зима). Применив принцип декомпозиции можно для конкретного прогнозного периода определить конкретные значения пяти входных параметров.

Для обучения нейронной сети требуется выборка фактических размеров движения за период, предшествующий плановому. Как известно из теории корреляции, для точности прогноза $p=0,95$, требуется не менее 75 наблюдений, при $p=0,97$, требуется не менее 750 [170]. Для первого случая необходима история трёхмесячного наблюдения. В этом случае 15 значений должны резервироваться для контрольной выборки. Статистика наблюдений очень проста: точная дата – ей в соответствие размеры движения поездов с разбивкой по категориям.

На следующем этапе конкретная дата (D) раскладывается по четырём факторам: день недели (x_1), порядковый номер суток внутри месяца (x_2), месяц года (x_3), сезон (x_4). Удалённость наблюдения от прогнозируемой даты оценивается с помощью весового коэффициента. Чем старше данные, тем меньшее значение они имеют для модели.

Непараметрическая зависимость $N = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ смоделирована на нейронной сети, в которой в качестве входных параметров принимаются факторы $x_1 - x_4$, а выходного – суточные размеры движения. Таким образом, структура нейронной сети при прогнозе размеров движения на поездном участке принимает вид, представленный на рисунке 10.

Структура нейронной сети при прогнозе размеров движения на поездном участке

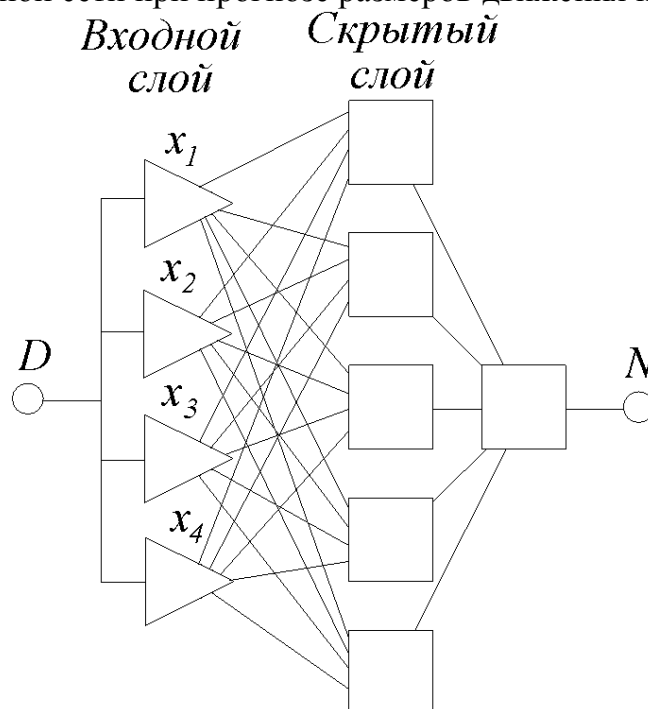


Рисунок 10

Путем предоставления каждой модели значений факторов (подавались на входы нейронной сети и подставлялись в уравнения регрессии) были получены прогнозные оценки размеров движения на каждый день месяца для трех участков дороги. При этом ошибки прогнозирования находятся в интервале: $[-0,045; 0,05]$.

Применяемые до сегодняшнего момента вероятностно-статистические методы прогнозирования в качестве исходных статистических данных на входе модели имеют точечные значения. В некоторых случаях по разным причинам информация о размерах движения и о влияющих факторах может быть недостаточной, иметь нечёткий характер. Такие случаи затрудняют применение традиционных методов оценки и прогнозирования ввиду возможности появления произвольных неконтролируемых ошибок в результатах прогнозирования при некорректных исходных данных.

Наиболее перспективными для оперативного и краткосрочного прогнозирования размеров движения поездов в условиях неопределённости являются интервальные методы, в которых прогнозирование происходит с указанием границ прогнозируемой величины, т.е. границ доверительного интервала, построенного для исследуемого параметра на рассматриваемом шаге прогноза. В частности к таким методам относится интервальная регрессия.

Предлагаемый подход реализован при прогнозировании размеров движения поездов на перегонах Забайкальской и Восточно-Сибирской железных дорог для выбора оптимальных сроков проведения капитального ремонта пути [171].

2.6. Модель выбора направления модернизации объекта региональной транспортной системы

России необходимо выходить не только из экономического кризиса, но и обеспечивать безопасность государства, используя системообразующий потенциал транспорта при ускоренном транспортном освоении Сибири и Дальнего Востока. Долгосрочная транспортная стратегия должна предусматривать формирование транспортной инфраструктуры, состоящей из сухопутных магистралей, внутренних водных путей, морских и воздушных трасс, территориальных центров переработки грузов и обслуживания пассажиров.

Благоприятное геостратегическое положение Транссиба с выходом на Байкало-Амурскую магистраль и Международный транспортный коридор №2 «Запад-Восток», а также, имеющего выходы через Монголию и Забайкальск, к транспортным коммуникациям Центрального Китая и далее к международным морским портам, обеспечивает реализацию геоэкономических интересов России в зоне Азиатско-Тихоокеанского региона и развития Евразийского экономического сотрудничества.

Перспективы развития Восточной Сибири как стратегически значимого региона для РФ связаны с решением следующих стратегических задач [172]:

- разработка значительного природно-ресурсного потенциала;
- транспортное освоение территории и снижение пространственных дисбалансов;
- внедрение инновационных технологий и создание интегрированных производственно-транспортных комплексов (ИПТК) и особых экономических зон (ОЭЗ);
- развитие логистической инфраструктуры и формирование региональной транспортно-логистической системы (РТЛС);
- реализация экспортно-импортного, транзитного и рекреационно-туристского потенциала;
- развитие государственно-частного партнерства и привлечение инвестиций крупных российских и иностранных компаний'

- расширение сотрудничества с регионами СФО и ДФО, а также с соседними государствами – Монголией и Китаем.

На основе системного анализа проблем развития экономики Монголии и его транспортной подсистемы научно обоснован выбор стратегии развития железнодорожного транспорта этого государства, реализация которой позволит в кратчайшие сроки и с наивысшей общественной эффективностью интегрироваться в мировую транспортную систему [173].

Говоря о транзитном потенциале страны и интеграции в международную транспортную сеть можно отметить, что геополитическое положение России и Монголии, а также единая техническая база железных дорог позволяют претендовать на важную роль в мировой экономической системе в качестве транспортного моста между основными макроэкономическими полюсами – странами Европейского союза и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Использование Транссибирской магистрали позволит в дополнение к возможному маршруту транспортировки монгольского сырья на экспорт в Китай обеспечить его экспорт в Японию, Южную Корею и другие страны через российские порты Дальнего Востока, а также в перспективе через развивающийся северокорейский порт Раджин. Тем самым монгольские грузы получают надёжный выход к морским портам, а железные дороги Монголии стабильный прирост грузовой базы.

Стратегические перспективы развития железнодорожной инфраструктуры Монголии в значительной степени обуславливаются наличием экспортной грузовой базы, в частности, развитием горнодобывающей отрасли страны. Это не только расширение, реконструкция, модернизация действующих инфраструктурных комплексов, но и реализация крупномасштабных проектов, обеспечивающих добычу и разработку новых месторождений полезных ископаемых Монголии с дальнейшим вывозом продукции. И здесь обязательным условием видится создание предпосылок для многовариантной корреспонденции сбыта монгольской продукции на мировые рынки. Именно с этой целью требуется как развитие существующей инфраструктуры Улан-Баторской железной дороги, так и строительство новых линий, к ней примыкающих. Создание развернутой сети железных дорог Монголии для обеспечения максимально широкого охвата территории страны, а также доступа к перспективным месторождениям полезных ископаемых. Принципиально важно правильно решить задачу выбора оптимального варианта экспор-

та монгольских минеральных ресурсов на мировой рынок. Самый перспективный для ОАО «РЖД» – транспортировка в порты Дальнего Востока, соответственно, Ванино и Находка, через Соловьёвск (Россия). В этом случае Монголия имеет самое длинное плечо транспортировки по своей территории, что является стратегически самым верным решением. В реализации такого сценария в наибольшей степени заинтересована и российская сторона. Причиной является тот факт, что продвижение грузопотоков будет происходить по тем сегментам сети Российских железных дорог, которые испытывают серьёзные проблемы с загрузкой. Например, на участке от Соловьёвска до Борзи работы практически нет, железная дорога выполняет только социальную функцию, хотя техническое состояние участка вполне удовлетворительное (в 2008 г. участок капитально отремонтирован). От Борзи до Карымской рассматриваемый поток вливается в струи с преобладанием порожних вагонопотоков. Станция Карымская, самая перегруженная на Транссибе, остаётся западнее. Переход на электрическую будет осуществлён по станции Борзя. Размен локомотивов разных кругов обращения может быть осуществлён непосредственно по станции Тарская. Участок от станции Тарская до станции Бамовская имеет значительные резервы пропускной способности. Смена вида тяги происходит непосредственно по Бамовской, что позволяет обойти станцию Сковородино. После смены тяги поток продвигается на станцию Тында, от которой направляется на Комсомольск и далее на Ванино. Продвижение в сторону Находки тоже достаточно просто, после сокращения объёмов налива сырой нефти на ст. Сковородино имеется достаточный резерв пропускной способности.

Сравнивая схемы транспортировки через Наушки (Россия) и Соловьёвск, очевидно, что существует ряд проблем, связанных с дефицитом пропускных способностей по отдельным участкам Транссиба. Линия Наушки-Заудинский вряд ли будет электрифицирована в ближайшие годы, возникает вопрос о соответствии её пропускной способности прогнозируемым объёмам перевозок. Если продвигать грузопотоки через Наушки, то следует держать в уме поток в объёме до 100 млн. т, в который вливаются струи монгольских грузов на плече от Заудинского до Тарской. А на выходе ещё и станция Карымская, испытывающая серьёзные затруднения в работе, вызванные дефицитом перерабатывающей способности, связанным с целым комплексом эксплуатационных проблем. ОАО «РЖД» просто не сможет согласовать серьёзных объёмов для Монголии.

Модель выбора направления модернизации объекта региональной транспортной системы [174] должна определять эффективность инвестиций в реализацию проекта по каждой из допустимых инженерных альтернатив, а после определения численных оценок – отыскать оптимальный вариант. Необходимо, чтобы алгоритм включал в себя следующие блоки:

- техническое (инженерное) проектирование (расчет параметров и подготовка технической документации), а также определение технической, технологической, экологической и прочей реализуемости;
- организационно-экономическое проектирование и оценка финансовой реализуемости.

Алгоритм реализован на примере региональной транспортной системы Забайкальского края [175].

Выводы по второй главе

1. Даны определения базовым терминам предметной области с позиций системного анализа.

2. Изменившийся уклад мировой и национальной экономики требует переосмысления роли 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.

3. Появление в транспортном сообществе значительного количества компаний, осуществляющих оперирование подвижным составом, экспедирование перевозок грузов, оказывающих логистические услуги различного рода, оказывает существенное влияние на качество эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте.

4. 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.

5. При разработке программных мероприятий по модернизации транспортной системы не учитываются произошедшие изменения, что приводит к нарастанию отставания роста наличных пропускных и провозных способностей на решающих направлениях железнодорожных перевозок.

6. В основу программных мероприятий по развитию пропускных способностей сети должен ложиться качественный прогноз размеров, направлений и номенклатурный спектр грузопотоков. Наиболее перспективным направлением развития методов прогнозирования грузопотоков является применение искусственных нейронных сетей.

3. ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОБЕЗЛИЧЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРКАМИ ПРИВАТНЫХ ВАГОНОВ

3.1. Определение структуры парка грузовых вагонов Российской Федерации

В процессе структурных реформ, проводимых на российских железных дорогах, созданы дочерние и зависимые общества (далее – ДЗО) ОАО «РЖД». На рынке железнодорожных грузовых перевозок уже в 2009 году действовало более 80 операторских компаний, в собственности которых находился парк в количестве, превышающем 416 тыс. вагонов (таблица 7).

Таблица 7

Парк грузовых вагонов принадлежности Российской Федерации по состоянию на 1 января 2010 г.

Тип вагона	Всего	Холдинг «РЖД»:				Приватный (не-зависимых частных компаний)
		Общий парк	В том числе:			
			ОАО «РЖД»	ДЗО ОАО «РЖД»	ОАО «ПГК»	
Полувагоны	368 224	258 734	203 136		55 598	109 490
Цистерны	240 001	73 259	396		72 863	166 742
Платформы	65 729	48 451	33 631		14 820	17 278
Крытые	75 082	57 640	42 551	102	14 987	17 442
Прочие	235 432	129 849	58 253	36 707	34 889	105 583
Итого	984 468	567 933	337 967	36 809	193 157	416 535

Мониторинг состояния рынка железнодорожных грузовых перевозок позволяет заметить, что доля ОАО «РЖД» на рынке услуг по предоставлению вагонов постоянно сокращалась по причине высокой инвестиционной активности компаний-операторов, что обеспечило устойчивое развитие российского вагоностроения. В этих условиях заметно возрос уровень конкуренции, в сферах, как предоставления грузовых вагонов под перевозку, так и их ремонта. В целом, в период 2004-2009 гг. доля перевозок грузов в вагонах инвентарного парка ОАО «РЖД» уменьшилась в два раза: с 63,3% в 2004 г. до 31,1% в 2009 г. При этом доля перевозок грузов в вагонах независимых частных компаний за тот же период возросла с 22,8% до 41,7% (рисунок 11). На 1 января 2010 г. российский инвентарный парк грузовых вагонов уменьшился на 2% относительно аналогичного показателя на начало 2009 г. и составил более 984,4 тыс. вагонов. При этом ин-

вентарный парк ОАО «РЖД» сократился на 16,4%, а парки ДЗО ОАО «РЖД» и независимых частных компаний увеличились соответственно на 9,9% и 6,6% (рисунок 12).

Изменение структуры перевозок грузов по принадлежности вагонов в 2004-2009 гг., в %

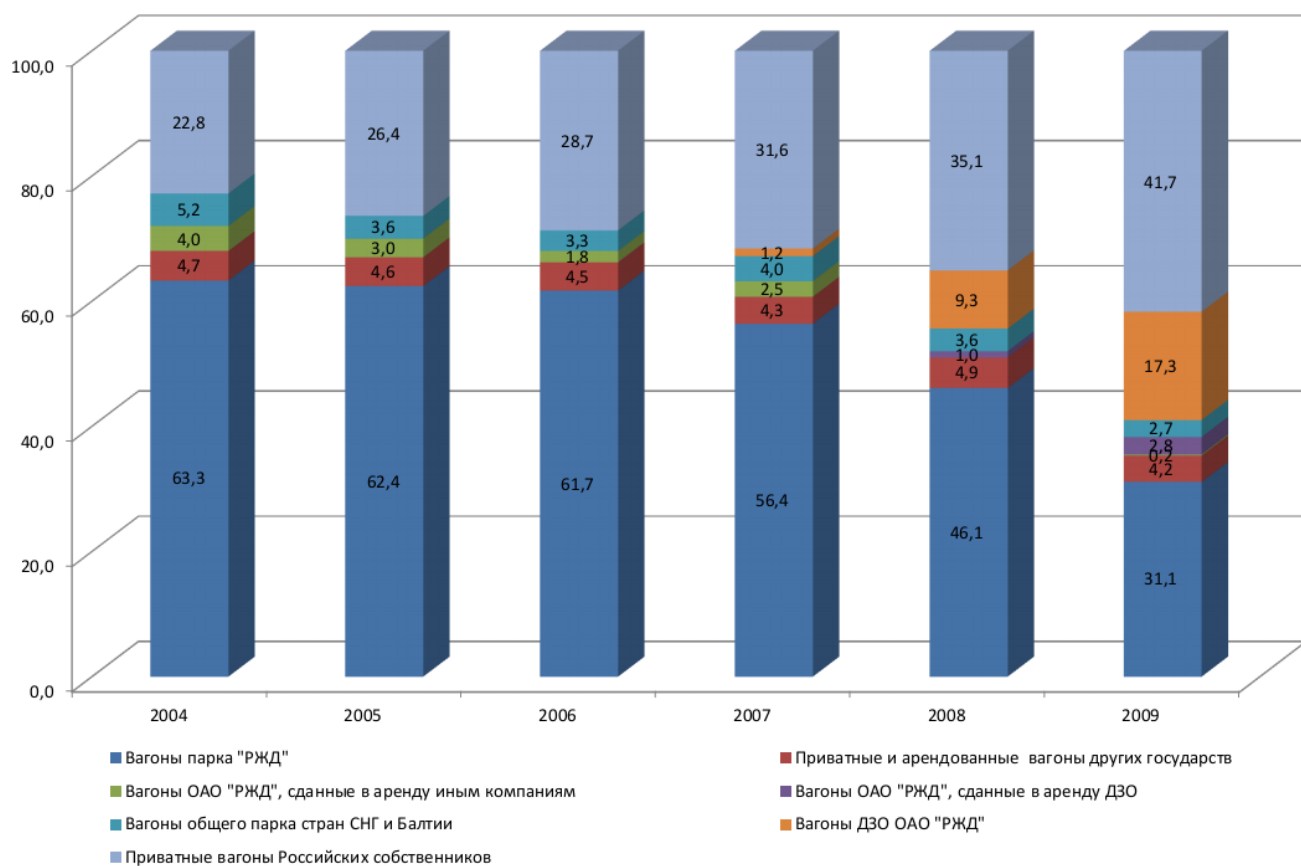


Рисунок 11

Структура парка вагонов российской принадлежности на 01.01.2010 г.

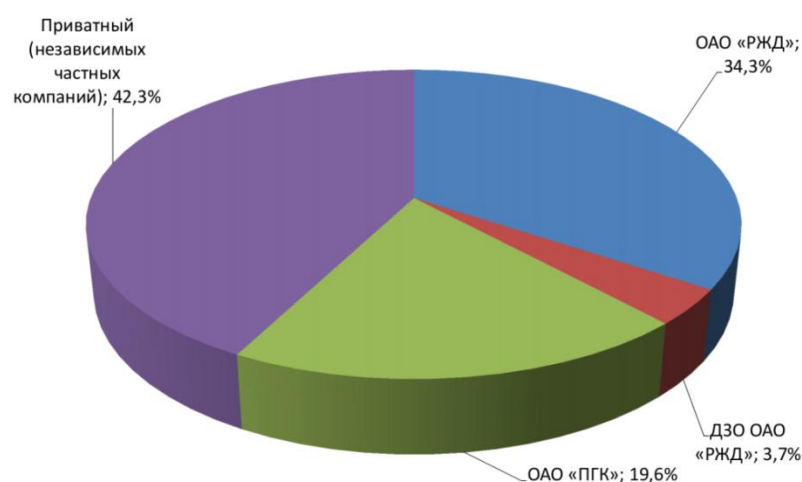


Рисунок 12

По состоянию на июль 2010 года общий парк вагонов, курсирующих по сети РЖД, составлял 995 тыс. единиц, из которых 67% приходилось на частный подвижной со-

став (включая вагоны ДЗО РЖД) и всего 33% – на инвентарный. Притом, что количество собственников подвижного состава остается немалым, для выполнения одной единицы работы транспортной системы становится необходимо все большее количество вагонов.

После завершения очередного этапа реформы фактически исчез из употребления термин инвентарный вагон. Сегодня он используется крайне редко, для выделения вагонов любых собственников, используемых предприятиями холдинга ОАО «РЖД» для технологических нужд. Динамика распределения парка грузовых вагонов российской принадлежности отражена на рисунке 13.

Динамика распределения парка грузовых вагонов российской принадлежности

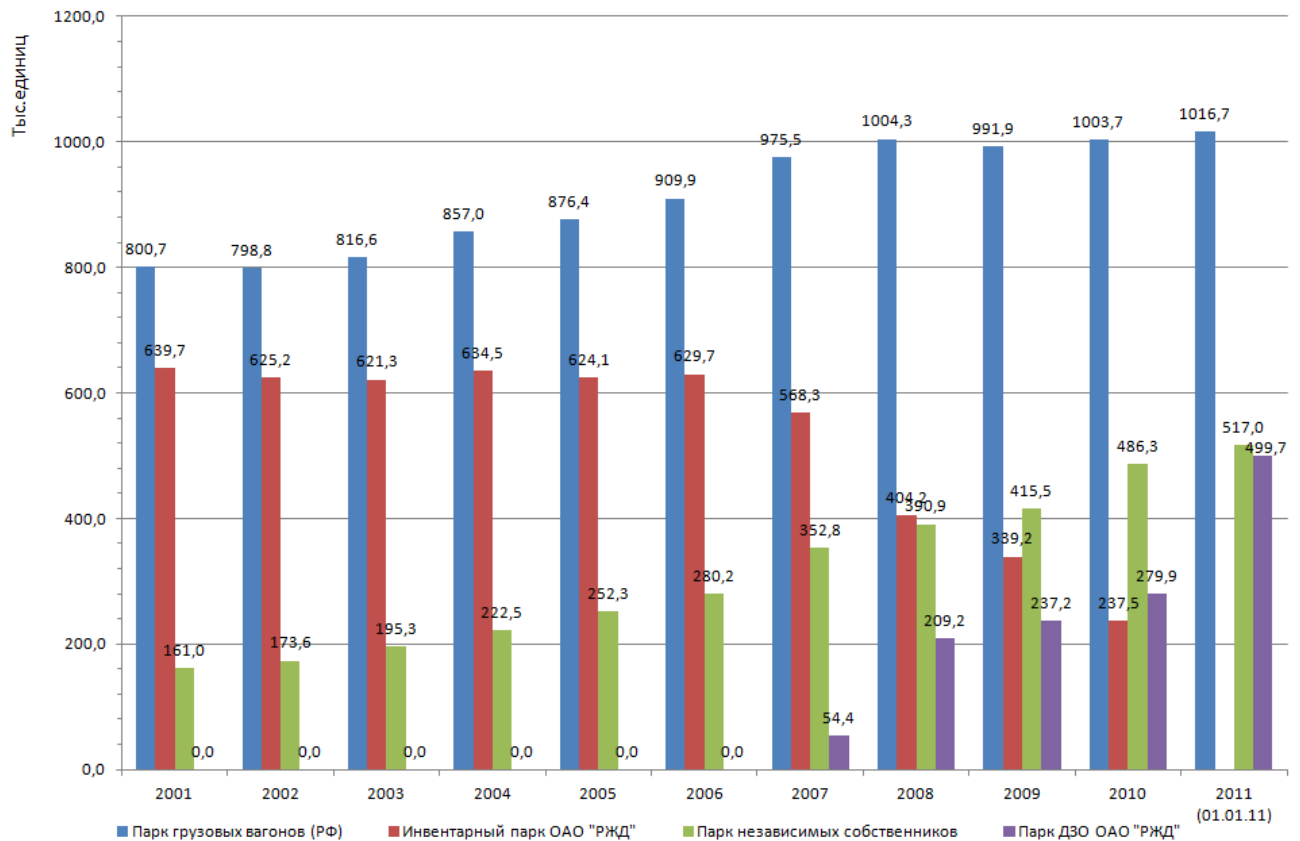


Рисунок 13

На сегодняшний день на рынке операторских услуг действует более 1,7 тыс. компаний, крупнейшими из которых являются дочерние общества ОАО «РЖД» – «Первая грузовая компания» (ПГК) и Федеральная грузовая компания (ФГК). Эти две компании оперируют примерно третью всего вагонного парка российской принадлежности.

Для выявления закономерностей процессов управления парками частных вагонов необходимо провести их декомпозицию.

Декомпозиция в теории управления – метод, по которому исследуемая система делится на подсистемы, задача – на подзадачи и т.д., каждая из которых решается самостоятельно. Применение этого подхода к рассматриваемой задаче позволяет получить распределение, приведённое в таблице 8 и на рисунке 14.

Таблица 8

Категорирование парка подвижного состава РФ по субъектам, управляющим вагонопотоками

Категория вагонов	Количественная характеристика парка	
	Количество, тыс. шт.	Доля, %
Под управлением операторов	838,7	77,7
Под управлением грузовладельцев	126,7	11,7
Инвентарный парк ОАО «РЖД», ОАО "Ямальская Железнодорожная Компания» и АО "Улан-Баторская железная дорога"	98,4	9,1
Под управлением прочих субъектов	16,3	1,5
ВСЕГО:	1080,1	100,0

Распределение вагонного парка



Рисунок 14

По данным открытой печати на конец 2012 г. 913 компаний-грузовладельцев владели парком в 126,7 тыс. вагонов. При этом универсальный парк составлял 47 982 вагон (37,88%) а специализированный 78 684 вагона (62,12%). Универсальный парк 695 компаний-операторов составлял 523 878 вагонов (62,47%), а специализированный – 314 795 вагонов (37,53%). Большинство вагонов парка, находящегося в собственности или аренде грузовладельцев, является специализированным, и наоборот, преобладающим в структуре парка операторов, является универсальный подвижной состав.

3.2. Классификация операторских компаний

3.2.1. Методология категорирования компаний

Операторов можно условно разделить на две категории. Первая – те, кто работает при крупных предприятиях и обеспечивает их сырьевую безопасность. Их интересует не столько транспортный бизнес в чистом виде, сколько сам факт доставки сырья для производства продукции своего предприятия. Ранее, такой парк, в основном, был специализированным, и использовался под перевозку грузов узких номенклатур. В современных условиях это стало относиться и к универсальному подвижному составу. Ко второй категории следует отнести операторов, для которых использование вагонов и есть их основной бизнес.

Всех собственников, у которых более ста вагонов, на территории деятельности каждой из дорог свыше сотни. Это в основном банки и лизинговые компании, которые сами не занимаются ни управлением, ни ремонтом подвижного состава, а отдают его в аренду. Реально в РФ не более пятнадцати крупных операторских компаний.

При разработке методологии категорирования использовалась информация, полученная из открытых источников. Для определения принадлежности к какой-либо из категорий определялась сфера деятельности компании и сопоставлялась с типами вагонов, которые находятся в её собственности (аренде). В случае, когда вид деятельности компании по кодам общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД) соотносился с типами вагонов в собственности (аренде), компания относилась к категории «Грузовладельцы». Например, ООО «Сибирский лес», вид деятельности по кодам ОКВЭД: «Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели». В собственности (аренде) находится 10 платформ. В случае, когда видом деятельности компании по кодам ОКВЭД являлась «Организация перевозок грузов», компания относилась к категории «Операторы». Пример: ООО «НЛК», вид деятельности по кодам ОКВЭД: организация перевозок грузов. В собственности (аренде) находится 72 полувагона.

Под оператором понималось юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, имеющий вагоны (контейнеры) на праве собственности или ином праве, участвующий на основе договора с перевозчиком в осуществлении перевозочного процесса с их использованием.

Грузовладелец – субъект рынка, владеющий и управляющий парком вагонов с целью транспортного обеспечения основного производства.

Прочие субъекты в исследовании – инвестиционные и лизинговые компании, а также иные участники транспортного процесса сферу деятельности которых однозначно определить не удалось.

Принципы оптимизации управления вагонными парками у операторских компаний существенно различаются. Для одних важна скорость перевозки. Они акцентируют усилия на продвижении своих вагонов, и для них не очень важно, что доля порожнего пробега – 50%. Другие компании, работающие на всем полигоне сети, внедряют свои системы управления парками, оптимизируя порожний пробег и формируя логистические цепочки. Кроме того, в некоторых случаях малые компании могут эффективнее крупных обслуживать уникальные или специфические сегменты рынка.

В исследовании предлагается несколько способов разделения компаний-операторов на группы. Первый вариант классификации компаний-операторов по размеру бизнеса.

Критерии для определения размера бизнеса принимаются согласно [176]:

1) средняя численность работников за предшествующий календарный год не должна превышать предельные значения средней численности работников для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства: а) от ста одного до двухсот пятидесяти человек включительно для средних предприятий; б) до ста человек включительно для малых предприятий; среди малых предприятий выделяются микропредприятия – до пятнадцати человек;

2) выручка от реализации товаров (работ, услуг) без учёта налога на добавленную стоимость или балансовая стоимость активов (остаточная стоимость основных средств и нематериальных активов) за предшествующий календарный год не должна превышать предельные значения, установленные Правительством Российской Федерации для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства [177]. Предельные значения выручки от реализации товаров (работ, услуг) за предшествующий год (без учёта налога на добавленную стоимость):

- микропредприятия – 60 млн. рублей;
- малые предприятия – 400 млн. рублей;
- средние предприятия – 1 000 млн. рублей.

Учитывая количество компаний-операторов, выявленных в результате исследования, применение данного метода в рамках этой работы труднореализуемо, так как требует сбора информации о деятельности каждой из компаний.

С позиций цели исследования наиболее перспективна классификация компаний-операторов по величине парка. Наибольшую сложность представляет шкала градации. Иначе говоря, требуется определить количество групп и диапазоны группирования.

В теории статистических исследований предлагается ряд методов обработки результатов наблюдений. В классической для сферы эксплуатационной деятельности железных дорог работе [170] рекомендуется при выборе интервала группирования данных руководствоваться возможностью без большой ошибки приравнять все значения признака, отнесенные к какой-либо группе, срединному значению интервала, а сам интервал делать большим, однако одновременно подчиняя его первому условию. Величину интервала рекомендуется выбирать так, чтобы число групп (разрядов) было равно 10-20. Число разрядов менее десяти ведет большей частью к весьма ощутимой неточности, а более тридцати затрудняет дальнейшую обработку материала. Поэтому необходимо предварительно просмотреть первоначальный материал, отметить наибольшее и наименьшее значения наблюдаемой величины, разделить разность между ними на число разрядов и получить примерную величину интервала. В качестве действующей величины интервала следует принять ближайшее к рассчитанному значению целое число или несложную дробь. Число разрядов группирования можно рассчитать:

$$R = 1 + 3,2 \lg n, \quad (37)$$

где n – общее число наблюдений.

Величину интервала группирования можно определить по формуле:

$$I = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{R} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,2 \lg n}, \quad (38)$$

где $x_{\max}$, $x_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значения случайной величины.

Установив интервал, можно приступить к группировке наблюдений. При этом значения случайных величин или признаки, отмечавшиеся при наблюдении, объединяют в разряды и подсчитывают, сколько раз они встречаются в каждом разряде. Такое абсолютное количество наблюдений из общей совокупности, имеющих данное значение признака, называют частотой разряда; относительное их количество, т.е. доля в общей совокупности, – частотью разряда. Порядок, в котором частоты распределились по

разрядам, носит название распределения численности признака или статистического ряда. Вид его, обычно следующий (таблица 9):

Таблица 9

Распределение численности статистического ряда

I_i	$x_1 \div x_2$	$x_2 \div x_3$	$\dots$	$x_i \div x_{i+1}$	$\dots$	$x_k \div x_{k+1}$
P_i^*	P_1^*	P_2^*	$\dots$	P_i^*	$\dots$	P_k^*

где I_i – обозначение разряда i ;

x_i, x_{i+1} – границы разряда;

$P_i^* = \frac{m_i}{\sum m_i}$ – частость;

k – число разрядов;

m_i – количество значений случайной величины в разряде i .

Упорядочив и уплотнив первичные данные, придав им форму статистического ряда, переходят к вычислению величин, избранных для описания. Парк вагонов самого крупного из операторов ПГК составляет 195 тыс. вагонов. При исследовании выявлено 695 компаний, отнесённых к категории операторов. Тогда, число групп при расчёте по формуле (37) составит:

$$R = 1 + 3,2 * \lg 695 = 10.$$

А интервал группирования, при расчёте по формуле (38):

$$I = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{R} = \frac{195000 - 20}{1 + 3,2 \lg n} = 19480 \text{ (вагонов)}.$$

В чистом виде для классификации операторских компаний по величине вагонного парка такой подход является излишне механистическим: более 600 компаний, действующих на рынке, владеют парком до одной тысячи вагонов, в то же время есть компании владеющие десятками тысяч вагонов. Поэтому предлагается несколько модифицировать подход, сформулировав базовые принципы метода частного сравнения. Суть метода заключается в построении частотных таблиц с разной степенью детализации, содержащих в себе информацию о количестве компаний, у которых в собственности либо аренде находится определённое число вагонов в виде интервалов (0-100, 101-200, 1 001-2 000 вагонов и т.д.). Далее вводится критерий для определения границ групп «малых», «средних» и «крупных» операторов. Для определения границ групп компаний-операторов были введены критерии:

1) количество компаний, попадающих в определённый интервал не менее, чем вдвое превышает количество компаний, попадающих в следующий интервал;

2) количество компаний, попадающих в интервал, превышает количество компаний, попадающих в последующие интервалы.

При шаге 10 000 выделяется 2 группы (1-9 999, более 10 000). При шаге 1 000 выделяется 4 группы (1-999, 1 000-1 999, 2 000-6 999, более 7 000). При шаге 100 выделяется 5 групп (1-99, 100-199, 200-999, 1 000-1 499, более 1 500). При условии объединения первых двух групп (1-999, 1 000-1 999), разбиение с шагом 1 000 является наиболее целесообразным. Таким образом, выделяются три группы компаний-операторов: – малые (парк от 1 до 2 000 вагонов); – средние (парк 2 001-7 000 вагонов); – крупные (парк более 7 000 вагонов).

Несколько иной подход применяется в методе разрывов. Его суть заключается в поиске наибольших разрывов (в относительной величине) в количестве вагонов в собственности (аренде) компаний, занимающих соседние места в таблице, где компании отсортированы по возрастанию парка. Далее выбираются наиболее крупные разрывы. Данный метод выделил несколько групп компаний-операторов: 1-1 300, 1 301-4 500, 4 501-6 000, 6 001-23 000, более 23 000. При условии объединения некоторых групп, выделяются следующие «границы» для распределения компаний-операторов: малые (парк от 1 до 1 300 вагонов); средние (парк 1 301 до 6 000 вагонов); крупные (парк более 6 000 вагонов).

Применимы обе классификации, но более равномерно между тремя группами операторских компаний вагонный парк распределён при использовании метода частотного сравнения. Таким образом, в дальнейшем в работе применяются результаты классификации компаний-операторов этим методом.

Типизация операторов производится путём разделения их на две группы:

- компании, владеющие и управляющие парком вагонов с целью транспортного обеспечения основного производства – кэптивные;
- компании, владеющие и управляющие парком вагонов с целью получения прибыли – некэптивные.

Для определения типа компании-оператора были введены два критерия:

- экономический – доля перевозок в интересах одного грузовладельца (нескольких аффилированных грузовладельцев) составляет 50% и более;

- организационный – оператор является дочерней компанией грузовладельца.

Например, грузооборот компании-оператора «А» 10 млн т. Из них 6 млн т (60%) перевозится в интересах грузовладельца «В», 2 млн т (20%) перевозится в интересах грузовладельца «С» и 2 млн т (20%) перевозится в интересах прочих грузовладельцев. Таким образом, компания-оператор «А» является кэптивной по отношению к грузовладельцу «В», так как в этом случае основной целью компании-оператора является транспортное обеспечение предприятия-грузовладельца.

Кроме экономического, необходимо учитывать влияния и организационного критерия. По организационному критерию к кэптивным компаниям в соответствии с российским законодательством могут быть отнесены дочерние и зависимые общества.

Дочерним признается хозяйственное общество, действия которого определяются другим (основным) хозяйственным обществом или товариществом либо в силу преобладающего участия в уставном капитале, либо в соответствии с заключенным между ними договором, либо иным образом. Зависимым признается хозяйственное общество, если другое (преобладающее, участвующее) общество имеет более двадцати процентов голосующих акций акционерного общества или двадцати процентов уставного капитала общества с ограниченной ответственностью.

В случае, если компания является дочерней, материнская компания (основное общество) может оказывать большее влияние на компанию. В таблице 10 отражены формальные возможности материнской компании оказывать влияние на рыночную политику дочерних и зависимых обществ.

Таблица 10

Влияние на рыночную политику дочерних и зависимых обществ со стороны основного

Зависимость	Дочерние	Зависимые
Возможность определять решения другой компании	+	-
Обязанность составлять сводную бухгалтерскую отчетность	+	+
Финансовые обязательства	+	-

3.2.2. Итоги категорирования

Распределение вагонного парка операторских компаний в разрезе групп приведено в таблице 11. Из 641 компании малых операторов 247 компаний имеют парк вагонов 20 и меньше, при этом их суммарный парк составляет 1 888 вагонов. Оставшиеся 394 ком-

пании имеют парк от 21 до 2 000 вагонов, их суммарный парк составляет 104 605 вагонов.

Таблица 11

Распределение вагонного парка операторских компаний в разрезе групп

Группа операторов		Количество компаний		Количество вагонов в парке			
		шт.	%	Всего		Универсальные	Специализированные
				шт.	%		
Крупные	Все компании	21	100%	601 754	100%	68%	32%
	Компании, соответствующие только экономическому критерию	1	5	8 025	1%	100%	0%
	Компании, соответствующие экономическому и организационному критериям	3	14%	40 220	7%	6%	94%
Средние	Все компании	33	100%	130 426	100%	49%	51%
	Компании, соответствующие только экономическому критерию	5	15%	20 796	16%	30%	70%
	Компании, соответствующие экономическому и организационному критериям	5	15%	18 907	14%	59%	41%
Малые	Все компании	641	100%	106 493	100%	50%	50%
	Компании, соответствующие только экономическому критерию	134	21%	20 214	19%	37%	63%
	Компании, соответствующие экономическому и организационному критериям	12	2%	2 583	2%	58%	42%

Из трех групп компаний, среди малых операторов доля кэптивных меньше всего: как по количеству компаний, так и количеству вагонов в управлении. При этом среди малых операторов больше всего компаний, ориентированных на обслуживание одного клиента.

Из множества собственников подвижного состава можно выделить 913 компаний-грузовладельцев, управляющих 11,7% грузовых вагонов, и 695 компаний-операторов, управляющих 77,7% грузовых вагонов. При этом компании-грузовладельцы управляют в основном парком специализированных вагонов – 62,1%; а операторы парком универсальных вагонов – 62,5%.

Среди малых операторов практически отсутствуют кэптивные, в то время как среди крупных операторов их доля – 14% от общего количества компаний. При этом среди малых операторов больше всего компаний, ориентированных на обслуживание одного грузовладельца – 21%. Кэптивные компании, как крупные, так и малые, ориентированы на обслуживание одного клиента, управляют преимущественно парком специализированных грузовых вагонов (94% и 63% от парка крупных и малых кэптивных операторов соответственно).

3.3. Влияние децентрализации вагонных парков на транспортные процессы

3.3.1. Влияние тарифа на работу парка и темпы развития инфраструктуры

Формирование цены операторской услуги, или вагонной составляющей перевозочного тарифа, происходит в процессе переговоров. В то же время стоимость услуги, предоставляемой естественной монополией, в которую входит инфраструктурная составляющая, регулируется государством. Поэтому когда спрос на ту или иную железнодорожную перевозку начинает расти, владелец вагона имеет полное право повышать цену на свою услугу и направлять полученный дополнительный доход на дальнейшее развитие своего бизнеса. Поскольку конъюнктурные дивиденды получает собственник вагона, а не инфраструктуры, то и происходит наращивание мощности операторских компаний. В результате, когда вследствие изменений конъюнктуры мировых рынков повышается цена на какие-то товары (нефть, металлы, уголь и т. д.), на этом зарабатывают их производители и владельцы вагонов. Инфраструктура, работающая с предельной нагрузкой, изнашивается быстрее нормативных сроков, а инфраструктурной составляющей недостаточно для её развития.

Уровень тарифов должен стимулировать оптимизацию порожнего пробега, использование подвижного состава для попутной загрузки. Для приближения системы управления приватным парком к методам регулировки важно уйти от перелома тарифа при изменении станции назначения порожнего вагона. Требуется технология, при которой порожние вагоны следуют максимально обезличенным потоком на железные дороги массовой погрузки для адресного распределения в соответствии с заявками грузоотправителей на конкретные станции, исходя из задачи сокращения порожнего рейса, а также коммерческой и технической пригодности подвижного состава. Существующая система

тарификации порожнего пробега препятствует решению этой задачи, т.к. подчинена тому же принципу, что и тариф на перевозку грузов: чем меньше расстояние перевозки, тем выше провозная плата. Для решения задач оптимизации порожнего вагонопотока необходим обратный подход, что способствовало бы сокращению непроизводительного порожнего рейса.

Унификация тарифа за пробег порожних вагонов после различных грузов создаёт стимул по повышению скорости передислокации порожнего парка вагонов.

Основной причиной удорожаний и отказов служит желание собственников заработать на вагонной составляющей. Кроме того, операторы закладывают такие дополнительные риски, как отсутствие законодательной базы и надлежащего административного ресурса, необходимые для предотвращения захватов вагонов, необоснованных простоев собственных вагонов у получателей, а также отсутствие гарантий сохранности парка в совокупности с задержками по его ремонту. С наступлением летнего периода нередко возникает острый дефицит парка. Особенно это сказывается на перевозках угля, а также на тех направлениях, где у операторов нет встречной загрузки. Сезонный дефицит подвижного состава, а также участие в социальных программах, отвлекающих ресурсы (например, для северного завоза), не позволяет операторам гарантировать обеспечение международных перевозок. А этот дефицит, в свою очередь, провоцирует увеличение ставок на использование вагонов.

Фактически, в современных условиях перевозчик получает фиксированный тариф вне зависимости от конъюнктуры рынка. Как следствие, не работает важнейший рыночный инвестиционный инструмент. Таким образом, создаются условия для планомерного увеличения отставания уровня развития железнодорожной инфраструктуры от потребностей участников процесса транспортировки грузов. Дефицит инвестиций в инфраструктуру оценивается более чем в 400 млрд. рублей до 2015 года. Инвестиционная составляющая тарифа недостаточна для развития инфраструктуры сети. Отсутствует механизм, увязывающий востребованность фрагмента сети и формированием источников финансирования для его развития.

Необходима разработка решения по регулированию тарифов в части снижения стоимости возврата порожних вагонов. Его оплата должна производиться отдельно от гружёного рейса по факту порожнего пробега. Такая схема направлена на дальнейшее развитие конкурентных отношений между операторами-собственниками грузовых ваго-

нов. Компании, минимизирующие за счет технологических решений затраты грузоотправителя, будут иметь явные конкурентные преимущества на рынке услуг операторов. Инструментов для этого может быть несколько. Прежде всего, это использование обратной загрузки вагонов. Механизмом достижения ориентира доходности может стать и повышение ставок провозных платежей до уровня нормативной величины доходности. При этом в периоды избытка определённого типа подвижного состава перевозка с доходностью ниже нормативной может быть предпочтительнее отстоя вагонов на станциях. В таком случае нужно изыскивать возможности минимизации других издержек компании.

Создание гибкой территориально-дифференцированной системы тарифов позволит максимально учесть спрос на перевозки. Инфраструктурная составляющая тарифа может повышаться на наиболее загруженных участках и направлениях (например, назначением в определённые порты) и, наоборот, снижаться на менее загруженных участках и линиях.

Подобная дифференциация позволит не только повысить доходность транспортных компаний, но и оптимизировать инвестиционную политику. Становится очевидным, какие направления наиболее доходные и потому нуждаются в первоочередном развитии, а какие – нет или вообще избыточны.

Такой подход позволит разработать систему оперативной корректировки плана формирования поездов в зависимости от внутригодовой неравномерности перевозок по различным направлениям и участкам сети.

При существующих тарифах компании-оператору невыгодно организовывать перемещение порожних вагонов, исходя из требований эффективности перевозочного процесса, то есть направлять на крупную станцию дороги назначения и адресовывать их на станцию погрузки (стоимость порожнего рейса в этом случае существенно возрастает). Поэтому операторские компании практически полностью уходят от перелома тарифа путём минимизации переадресовок на сортировочных станциях и переноса этой операции в районы погрузки. Например, тысячи вагонов, минуя мощные сортировочные станции Входная, Инская, Красноярск-Восточный, следуют на погрузочные станции Кузбасса, имеющие ограниченное путевое развитие.

Сводный заказ на перевозки колеблется, свои поправки вносит и состояние вагонного парка, поэтому обеспечить точное соответствие количества направляемых вагонов

реальным потребностям сложно. Невостребованные на станции погрузки вагоны в ряде случаев переадресовываются на близлежащие, или же простаивают в ожидании заявок. При этом между углепогрузочными станциями расстояния небольшие. Операторским компаниям выгодно изменять назначение порожних полувагонов непосредственно в Кузбассе. Общая ситуация с размещением парков вагонов на сети при этом бесконтрольна.

Существующая инфраструктура железных дорог не справляется с тем объёмом подвижного состава, который сегодня имеется в наличии и задействован грузоперевозчиками. Кроме того, в условиях возникшего транспортного дефицита крупные грузоотправители вынужденно идут на дополнительные затраты и расширяют собственный парк вагонов.

Собственник инфраструктуры заинтересован в её развитии, но не менее важна и её равномерная загрузка. Очень важно развитие договоров на гарантированные объёмы отгрузки с ключевыми грузоотправителями. Собственникам груза такие договоры гарантируют вывоз определённого объёма продукции в приоритетном порядке, даже в условиях дефицита провозной и пропускной способности. ОАО «РЖД» в результате получает более предсказуемый уровень загрузки инфраструктуры и выявляет необходимость её развития на тех или иных направлениях.

В условиях, когда на одну станцию подаются вагоны 10-15 операторов, причём все они предназначены под конкретные направления и на определённые даты, объёмы погрузки падают. Не удаётся освоить предъявляемые к перевозке объёмы, поскольку для работы в сложившихся обстоятельствах недостаточно развитие инфраструктуры ни на станциях, ни у грузоотправителей.

В перспективе, без серьёзного развития инфраструктуры, вагоны операторов должны быть с обезличенным направлением отгрузки.

Необходимо повысить возможности гибкого реагирования железнодорожного транспорта на спрос. Для этого нужно совершенствовать действующие регуляторные механизмы. Нет такого набора экономических инструментов, который бы предусматривал, с одной стороны, государственный контроль ценообразования на железнодорожном транспорте, а с другой – позволил бы ОАО «РЖД» реально обеспечить достаточный приток инвестиций путем реализации своих услуг, причём в наибольшей степени по предоставлению инфраструктуры под перевозки.

3.3.2. Управление вагонными парками

Отработку системы управления вагонными парками целесообразно начинать с внедрения особого порядка направления порожних частных полувагонов, прежде всего, на углепогрузочные железные дороги. При этом должны быть исключены технологические риски, связанные с возможностью массовых и многократных изменений станции назначения, увеличением объёмов маневровой работы и дополнительной нагрузкой на инфраструктуру.

Для нормализации управления парками вагонов на сети требуется внесение ряда существенных изменений в нормативно-правовую и тарифную базы грузовых перевозок:

1. Тариф за провоз порожнего частного вагона должен рассчитываться исходя из окончательно пройденного расстояния. Если в пути следования изменена станция назначения, расчёт провозной платы должен быть произведён от станции отправления до станции назначения.
2. Уход от переломов тарифа при изменении станции назначения в пути следования нужно распространить и на все порожние полувагоны.
3. Чтобы избежать в пути многократных изменений станции назначения в интересах оператора, эта операция допустима только на железной дороге погрузки и не более одного раза за порожний рейс.
4. Перечень станций, на которых может быть реализован данный порядок, определяет перевозчик по согласованию с владельцем инфраструктуры. Пунктами особого порядка изменения станции назначения порожних полувагонов могут стать сортировочные станции в зонах массовой погрузки угля.
5. Необходимо обеспечить перемещение порожних частных полувагонов по электронным перевозочным документам, чтобы исключить затраты на начально-конечные операции при изменении станции назначения вагона.
6. Расчет и взыскание провозных платежей за порожний рейс частного полувагона целесообразен на станции назначения углепогрузочной дороги.

Метод распыления сложно распространить на все порожние вагонопотоки. Сфера его применения – отдельные направления перевозок из мест массовой выгрузки, где есть техническая возможность формирования таких маршрутов. Внесение изменений в нормативно-правовую и тарифную базы грузовых перевозок позволит обезличено на-

правлять порожние полувагоны на крупные сортировочные станции, находящиеся в местах массовой погрузки. И уже на них производить адресную привязку к ближайшим станциям с высокой точностью и минимальной переработкой. Это значительно сократит затраты отрасли, связанные с массовой переработкой порожних вагонов, их простоями и встречным перемещением.

Возможно введение административных ограничений порожнего пробега, с внесением поправок в российское законодательство для регулирования всех аспектов перемещений порожнего подвижного состава. На практике достаточно часты случаи, когда вагоны одной компании оставались порожними на подъездных путях, а вагоны другой подавались под погрузку. Любые механизмы ограничения пробега порожних вагонов могут строиться только на тарифных принципах. Необходимо стимулировать экономические предпосылки сокращения порожнего пробега подвижного состава. Ограничения пробега порожних вагонов приведут к росту цен на тех направлениях транспортировки, на которых нет обратной загрузки.

В настоящее время не создан единый механизм, с помощью которого можно было бы снять проблему своевременного обеспечения вагонами всех заинтересованных грузоотправителей силами парка компаний-операторов. У них нет обязанности гарантированного обеспечения перевозок вагонами. Операторы готовы даже платить неустойку за непредоставление вагонов, но действовать в целом в соответствии с конъюнктурой рынка. Из-за этого уже сегодня происходят такие срывы графиков подачи и, соответственно, поставок, следствием чего является снижение качества транспортной продукции, а также конкурентоспособности продукции российских предприятий.

Интересы грузовладельцев и железнодорожных компаний зачастую диаметрально противоположны. Например, в морском порту появилась возможность для перевалки дополнительных грузов. Однако, в порт не подаётся достаточного количества порожних вагонов. В результате, погрузка оказывается меньше, чем могла бы быть. Грузовладелец не может из-за этого увеличить объём отправляемых грузов.

После ликвидации отделений дорог их функции перешли к представителям в регионе, но формально они не отвечают за подачу вагонов. Весь подвижной состав – у частных операторов. На сети имеется профицит вагонов, однако на припортовые станции подвижной состав в нужном объёме не поступает.

Реформа российских железных дорог создала внутри ОАО «РЖД» вертикальную и

горизонтальную интеграцию. Если вертикаль управления в регионе дает сбой, то поправки должны вноситься именно на горизонтальном уровне.

При возникновении нарушений координации на сети неважно, зависим или нет оператор от РЖД. Если частный собственник вагона вовлечен в него, то он должен нести финансовую ответственность, поскольку это сфера договорной работы. При сбоях в процессе организации перевозок нужно в первую очередь рассматривать качество работы оператора, который должен выявить звено, тормозящее продвижение вагонопотоков.

На современном этапе важнейшим направлением деятельности ОАО «РЖД» является управление вагонным парком различных собственников. Отработка этой технологии позволит организовать управление вагонами всех собственников или пула с участием крупнейших операторов на основе рыночных критериев эффективности.

Для решения этой задачи необходимо усилить значение экономических факторов при оценке эффективности подачи вагонов под ту или иную перевозку. Ориентиром доходности может служить нормативная величина на вагон в сутки, формируемая на основе сопоставления со сложившимся на рынке аналогичным параметром. Если доходность перевозки предполагается выше, то она осуществляется. Если нет, то требуется дополнительное детальное рассмотрение возможности повышения её доходности.

Важным является заключение договоров с другими собственниками вагонов о возможности взаимного использования парка на паритетных началах. Они становятся действенным механизмом повышения эффективности при различных встречных пробегах или на направлениях возврата порожнего подвижного состава.

Формирование конкурентного рынка грузовых перевозок ставит ключевую задачу по организации эффективного управления перевозочным процессом в новых условиях. РЖД продолжают реализацию функций публичного перевозчика. Независимо от формы собственности вагонов у него как у сетевого перевозчика и владельца инфраструктуры останется ряд функций управления парком. Под контролем ОАО «РЖД» в полной мере остаются такие показатели, как элементы оборота вагона, техническая и участковая скорость, простой на станциях, оптимизация груженого рейса через план формирования и график движения поездов и техническое нормирование эксплуатационной работы. В функции оператора входит предоставление подвижного состава грузоотправителям, организация рационального порожнего рейса за счет построения транспортных логистиче-

ских схем, предотвращение длительных стоянок порожняка на станционных путях в ожидании груза и сокращение всех видов простоя на подъездных путях предприятий.

На протяжении последних лет принципы управления вагонным парком системно рассматривались на самых разных уровнях. Сформированы конкретные предложения по внесению изменений в нормативно-правовую и тарифную базу грузовых перевозок. В РЖД утверждены Базовые принципы системы управления перевозками в условиях полностью частного парка грузовых вагонов и Единый сетевой технологический процесс железнодорожных перевозок – первый масштабный регламент, консолидирующий все элементы перевозочного процесса, включая планирование и реализацию плановых параметров.

С 15 июля 2010 г. отправка порожних вагонов ПГК со ст. Лужская (порт Усть-Луга) на ст. Входная (Омское отделение ЗСЖД) производится маршрутами в распыление. Далее происходит распределение по Кузбассу в зависимости от заявок, предъявления угля, внесения платы. Исключается необходимость в повторной передислокации внутри дороги. Если перейти на эту технологию и по другим пунктам массовой выгрузки полувагонов ПГК, то возможно, оперируя за сутки, направлять проходящий подвижной состав по старым документам именно туда, где он нужен в то или иное время, что позволит сократить непроизводительные простои.

3.3.3. Избыточная нагрузка на сеть от перемещения парков

Проблема избыточных порожних пробегов грузовых вагонов, может быть решена за счёт введения системы «мягкого регулирования» порожних отправок на базе электронной торговой площадки (ЭТП) транспортных услуг. Её авторизованными пользователями должны быть потребители транспортных услуг и операторы вагонов, а администратором площадки – система фирменного транспортного обслуживания. Принципиальная схема организации её работы такова: неподтвержденные операторами из-за отсутствия вагонов объёмы после согласования заявки в системе ЭТРАН выводятся на ЭТП в качестве «свободного груза»; заинтересованные операторы делают коммерческое предложение через систему грузовладельцу, и в случае его согласия заявка на объёмы, ранее не обеспеченная вагонами, закрепляется.

Железнодорожные технологии меняются и адаптируются к рынку. Развитие частного операторского бизнеса, зачастую приводит к тому, что вагон используется с невы-

сокой эффективностью. В результате коэффициент порожнего пробега постепенно увеличивается. В среднем по сети он колеблется в районе 41%, а на наиболее загруженной Дальневосточной дороге достигает 43%. Такое положение дел отрицательно влияет и на другие качественные показатели работы. Между качественными показателями имеются зачастую сложно формализуемы связи: например, при росте доли порожнего пробега на один процент среднесуточная производительность локомотива снижается на 17,7 тыс. т-км брутто, эксплуатируемый парк увеличивается на 49 локомотивов в сутки, а средний вес поезда падает на 38 т. Вместе с тем соответственно растут и затраты. Если не переломить ситуацию с использованием подвижного состава, не хватит средств на развитие инфраструктуры и весь перевозочный бизнес окажется экономически несостоятельным. В текущем, 2013 г. всё чаще на сети возникают случаи потери маневренности станций, отдельных полигонов сети. Например, Восточно-Сибирская железная дорога в июне 2013 г. имела парк вагонов на уровне 80 000 единиц при норме 69 000. Как следствие, «рухнули» все основные качественные показатели: участковая скорость до 93% от нормы, производительность локомотива до 94% и т.п.

Необходимо применение различных механизмов консолидации управления частными парками. Такую услугу может оказывать как ОАО «РЖД», так и его дочерние компании. При этом собственник заключает агентский договор с компанией на определенных условиях, и вагон начинает работать более рационально, повышается коэффициент обратной загрузки, улучшается оборот, совершенствуется логистика. Данная схема позволит ОАО «РЖД» предложить комплексное транспортное обслуживание грузоотправителям, включающее в себя оказание услуг по перевозке грузов и по предоставлению частных вагонов под такие перевозки посредством заключения агентских соглашений с собственником вагонов.

Подвижной состав, который жёстко привязан к конкретным грузоотправителям и направлениям, используется плохо. Ежедневно более тысячи порожних вагонов собственников простаивают на углепогрузочных станциях в ожидании погрузки. Эти вагоны не могут использоваться иной организацией, находящейся на той же станции, и не могут быть отправлены в другом направлении, поскольку есть жёсткие договоренности.

С ростом частного парка, порожний пробег неизбежно растёт (так же как и встречные перемещения порожнего подвижного состава), а оборот частного вагона увеличивается. В итоге создается дополнительный дефицит пропускной способности, сор-

тировочных мощностей и ресурсов тяги. Кроме того, зачастую приватные вагоны простаивают на подъездных путях в ожидании загрузки.

3.3.4. Совершенствование правовой базы

В качестве регуляторных механизмов государственного контроля ценообразования возможно:

- применение инвестиционной составляющей тарифа на наиболее востребованных маршрутах;
- введение механизма либерализации тарифа на перевозку в пределах определённого регулятором ценового коридора;
- сокращение обременения на оборот имущества транспортных компаний;
- эффективное использование земель;
- различные формы государственно-частного партнерства;
- софинансирование с бизнесом и т.д.

В ближайшей перспективе необходим переход на свободные цены в конкурентных секторах рынка железнодорожных перевозок. Необходимо обеспечить:

- проработку механизмов унификации тарифов на порожний пробег вагонов;
- сближение уровня тарифов на перевозку грузов различных классов.

Необходимо законодательно предусмотреть утверждение Перечня критериев технических и технологических возможностей осуществления перевозки, отсутствие которых является для перевозчика и владельца инфраструктуры основанием отказа от согласования заявки на перевозку грузов, который должен учитывать технические и технологические аспекты работы железнодорожного транспорта и изменения, связанные с его реформированием. Неурегулированность в этих вопросах работает не во благо экономики страны в целом.

Из-за отсутствия соответствующих нормативных актов ЦФТО не имеет чётких прав по управлению вагонопотоками. Это приводит к наличию встречных перевозок. Отсутствие согласованности приводит к росту нагрузки на инфраструктуру, нерациональному использованию погрузочных ресурсов, что в конечном итоге создаёт сложности для всех, а самое главное – не обеспечивается в полном объёме вывоз заявленных к перевозке грузов.

Требуется усовершенствование правового регулирования вопросов отстоя подвижного состава на путях общего пользования:

- определения понятия отстоя вагонов;
- указание станций и мест для него в Тарифном руководстве;
- введение государственного регулирования тарифов на услугу инфраструктуры по отстою вагонов;
- утверждение компетентным госорганом типового договора на отстой и пр.

Появление принципиально новой модели рынка [178], когда у перевозчика нет вагонов инвентарного парка, привело к качественным преобразованиям всей структуры отрасли и должно не повлечь соответствующие изменения в системе планирования. Перевозка начинается в момент планирования. С приходом на рынок операторских компаний система обслуживания клиента и планирования транспортировки его груза изменилась, а значит и при планировании перевозок, то есть на этапе подаче заявки, необходимо указывать оператора.

Существующая нормативно-правовая база (Гражданский кодекс, Устав железнодорожного транспорта, Правила перевозок грузов) во многом не содержит тех принципов, которые должны обеспечивать эффективную работу в новых условиях, которые требуют пересмотра и тарифной системы грузовых перевозок. Все действующие нормы и правила были направлены на организацию технологии работы обезличенным парком вагонов, принадлежащем перевозчику, а с ростом доли частного подвижного состава стали стремительно отставать от требований времени.

Существует необходимость определиться с правилами перевозки грузов в порожних вагонах, с возможностью перевозчика влиять на занятие своей инфраструктуры. Нужно более чёткое определение понятия оператора подвижного состава. Наряду с этим существующие санкции, предусмотренные за неподачу вагонов, нарушение сроков доставки груза.

3.3.5. Оценка эффективности работы вагонных парков в современных условиях

Эффективность работы вагонного парка в современных условиях зависит от значительного числа факторов, связанных между собой причинно-следственными связями. Ус-

тановление такого рода связей является сложной малоформализуемой задачей. При внимательном изучении их природы можно выявить циклические взаимовлияния факторов.

При проведении причинно-следственного анализа был использован способ построения диаграммы Исикавы с группированием факторов по принципу «6M's+E», рекомендованный в качестве отраслевого стандарта [179].

Конечная цель использования метода «Диаграмма Исикавы» для оценки влияния различных факторов на эффективность работы парка состоит в:

- выявлении всех возможных факторов, оказывающих влияние;
- визуализации причинно-следственных связей;
- распределении приоритетов для анализа и решения поставленной задачи на основе определения относительной значимости факторов, и их ранжирования.

В соответствии принципом «6M's+E» (свое название принцип получил по первым буквам соответствующих английских слов), основные влияющие факторы можно разделить на несколько групп:

- *Man* (влияние человека).
- *Machine* (влияние оборудования).
- *Method* (влияние методов работы).
- *Materials* (влияние материалов, сырья, заготовок).
- *Measurement* (влияние измерительной системы).
- *Management* (влияние менеджмента).
- *Environment* (влияние окружающей среды).

В качестве первичных факторов на первом этапе были выбраны шесть основных причин снижения эффективности работы вагонного парка:

- недостаток пропускных способностей;
- потеря контроля за дислокацией парков на сети;
- рост времени оборота вагонов;
- удорожание транспортировки грузов;
- необеспечение вывоза грузов;
- избыточные перепробеги вагонов при следовании к пункту ремонта и в обратном направлении.

Под влиянием окружающей среды в рассматриваемом случае понимается транспортный рынок. Его влияние затрагивает все шесть принятых факторов, поэтому от вы-

деления его в отдельный фактор пришлось отказаться с целью существенного упрощения модели. Итоги причинно-следственного анализа приведены на рисунке 15.

Диаграмма Исикавы

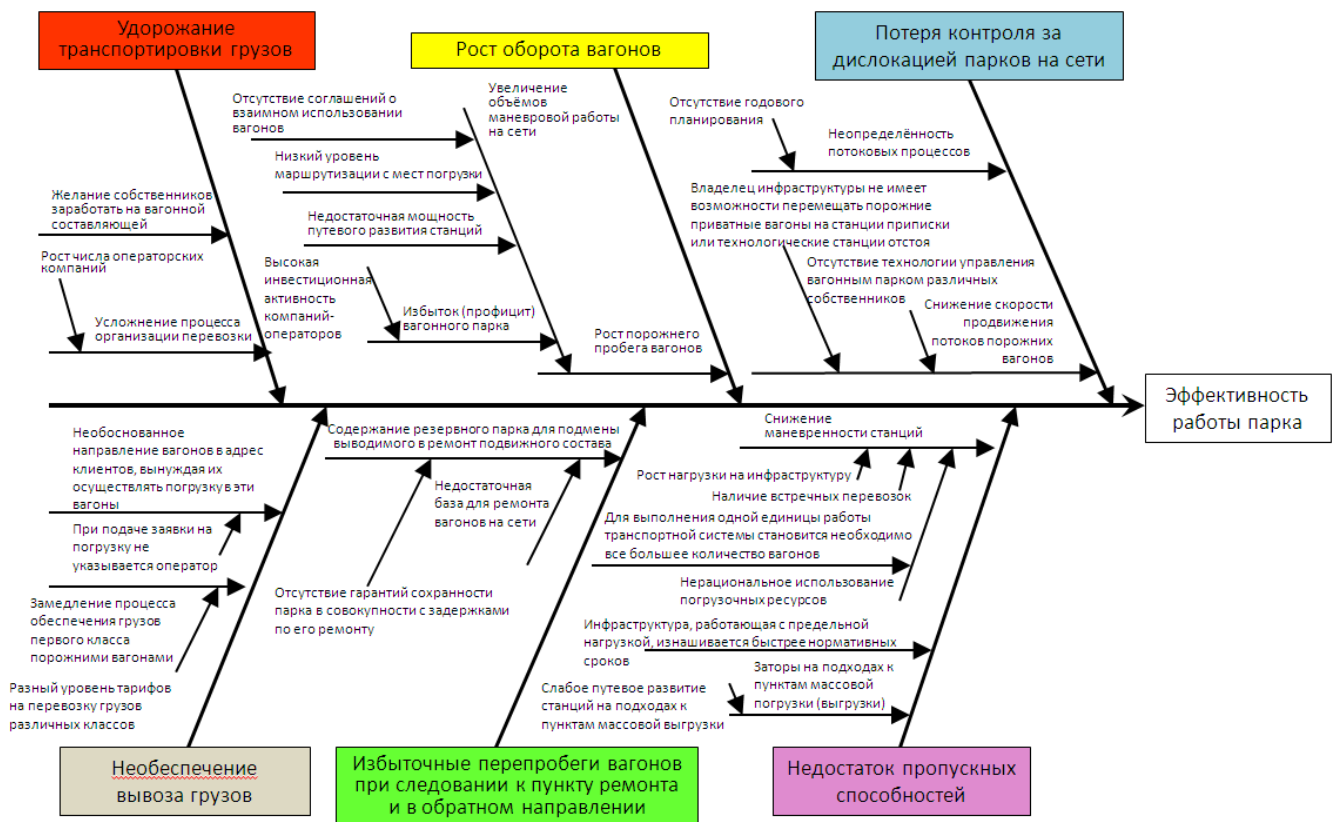


Рисунок 15

Очень важно исключить предпосылки для создания ситуации, в которой вагонный парк какой-либо из компаний получает конкурентные преимущества за счёт получения приоритетов в подвязке порожняка к погрузке. Для этого необходимо контролировать два параметра: порожний рейс и время между грузовыми операциями.

Для решения первой задачи следует ежемесячно рассчитывать средний порожний пробег вагона (порожний рейс), устанавливая норму. При её выполнении должна быть премия (бонус) перевозчику за качественную регулировку. И, наоборот, если вагон имеет порожний пробег больше нормы, то бонус снимается в пользу собственника. Размер бонуса должен быть прогрессивен, т.е. темп его роста увеличивается при значительных отклонениях от нормы. Цель системы – исключение возможности предпочтительного управления вагонами отдельных компаний.

Второй аспект работы вагона – время. Должно нормироваться время нахождения вагона в порожнем состоянии, а при отклонениях от нормы включаться система бонусов.

Агентские договора и иные юридические документы должны сформировать отношения между перевозчиком, операторами подвижного состава и грузовладельцами по распределению вагонов собственников и гарантированному вывозу груза.

При объединении вагонных парков возникает эффект масштаба, позволяющий выстроить самую оптимальную логистику универсального подвижного состава. При этом будет соблюден баланс интересов каждого участника и достигнута основная цель – обеспечить перевозку всех предъявляемых объёмов грузов.

Можно сформулировать четыре основных принципа эффективности управления парками вагонов на современном этапе:

1. Усиление значимости экономических факторов при оценке эффективности подачи вагонов под ту или иную перевозку.
2. Заключение договоров между собственниками вагонов о взаимном использовании парков при встречных перевозках.
3. Использование системы территориально дифференцированных тарифов с целью максимального учёта спроса на перевозки на отдельных направлениях.
4. Необходимо развивать такой вид договоров, как договоры на гарантированные объёмы отгрузки с ключевыми грузоотправителями.

Подобный подход требует отказа от публичности предоставляемых перевозчиком услуг. Инструментами повышения доходности перевозки могут быть: использование обратной загрузки вагонов, повышение провозных платежей до уровня нормативной величины доходности за вагон в сутки, возможность минимизации других издержек. Например, в периоды избытка подвижного состава определенного рода перевозка груза с доходностью ниже нормативной может быть предпочтительнее отстоя вагонов на соответствующих станциях.

Повышение инфраструктурной составляющей тарифа на наиболее загруженных участках и направлениях и понижение тарифа на менее загруженных участках и линиях позволит не только повысить доходность (собственника как вагонов, так и инфраструктуры), но и оптимизировать инвестиционную политику ОАО «РЖД»: будет очевидно, какие направления наиболее доходные и потому нуждаются в первоочередном развитии, а какие в нём не нуждаются или избыточны. Одним из следствий реализации подобной системы должна стать разработка системы оперативной корректировки плана формиро-

вания поездов, что позволит учитывать внутригодовую неравномерность перевозок по различным направлениям и участкам сети.

Договора на гарантированные объёмы отгрузки ОАО «РЖД» с ключевыми грузоотправителями могут заключать и собственники вагонов, которые получают определённую квоту у владельца инфраструктуры и затем распоряжаются ей в зависимости от рыночной конъюнктуры. Грузоотправителям гарантируют вывоз определённого объёма продукции вагонами собственника, собственникам (операторам) – гарантированный вывоз грузов в их вагонах в приоритетном порядке, даже в условиях дефицита провозной и пропускной способности. Учитывая, что ОАО «РЖД» является собственником инфраструктуры и, с одной стороны, заинтересовано в развитии, а с другой – в равномерной и предсказуемой её загрузке, то подобные договоры делают более предсказуемым уровень загрузки инфраструктуры и выявляют необходимость её развития на тех или иных направлениях.

3.3.6. Технология обезличенного управления регулируемым парком вагонов

Приём к перевозке порожних вагонов должен осуществляться с учётом пропускной способности, мощности грузовых фронтов и востребованности подвижного состава в местах погрузки. Перемещение порожняка должно чётко планироваться. При накоплении вагонов после выгрузки в таком объёме, который способен негативно влиять на перевозочный процесс, перевозчик должен иметь возможность перемещать порожние вагоны на станции приписки или технологические станции отстоя.

В современных условиях в территориальных центрах фирменного транспортного обслуживания (ТЦФТО) с целью оптимизации порожнего пробега внедрена автоматизированная система динамического распределения парка вагонов (АС ДРПВ), предусматривающая привязку вагона из-под выгрузки к следующей заявке по наименьшему расстоянию в зависимости от класса груза.

В АС ДРПВ имеется информация о техническом состоянии каждой единицы подвижного состава и её принадлежности. В современных условиях право распоряжаться вагонами операторских компаний может быть передано ЦФТО на условиях агентских соглашений. Договоры на комплексное транспортное обслуживание, заключаемые с отправителями, кроме концентрации ответственности у перевозчика по гарантированному вывозу продукции в заявленных и согласованных объёмах, возлагают обязательство по

гарантированному подсылу порожних вагонов любой принадлежности. Эти права он получает в рамках агентских соглашений от собственника подвижного состава, предоставляя, в свою очередь, грузовладельцу комплексную услугу. Реализация этой концепции позволяет повысить управляемость порожними вагонопотоками.

Внедрение АС ДРПВ требует доработки вычислительных алгоритмов, а также искоренения недостатков базовых принципов, заложенных в систему. Прежде всего – согласования экономических интересов участников перевозочного процесса.

Существующая технология управления вагонами операторских компаний имеет два серьёзных недостатка:

- не выделяются закрепленные (устойчивые) маршруты курсирования гружёных порожних вагонов, и, соответственно, для них не определены параметры эксплуатационной работы;
- при повагонной технологии управления вагонами и отсутствии закрепленных маршрутов курсирования вагонов диспетчер при назначении порожних вагонов в состоянии контролировать только минимизацию их порожнего пробега до пункта следующей погрузки, но не минимизацию времени оборота вагона.

В то же время оператор заинтересован в том, чтобы его подвижной состав использовался по назначению. Для увеличения эффективности работы ОАО «РЖД» необходимо вернуться к практике маршрутизации перевозок. На практике же очень часто к отправительским маршрутам для увеличения веса поезда прицепляют отдельные вагоны в пределах своей дороги, а далее маршрут разбивается.

Право погрузки на сезонные грузы можно продавать заблаговременно. Чем раньше отправитель заявляется, тем дешевле будет для него тариф. Грузовладелец примерно знает, сколько он будет грузить в том или ином месяце, а оператор мог бы покупать на это время нитки. Это неплохой для РЖД путь повышения эффективности управления парком – предлагать в качестве товара свои провозные возможности. Такой сценарий требует очень качественного планирования. Собственники вагонов, которые приобрели «нитку» графика несут определенные обязательства и сами договариваются с грузовладельцами. В случае отказа от перевозки должно предусматриваться удержание части платежей. У владельцев грузов должна быть возможность заказать перевозку, как за месяц, так и за два дня до её осуществления. Цена при этом должна различаться.

Требуется введение тарифного регулирования платы за занятие вагонами, не принадлежащими перевозчику, путей общего пользования. Кроме того, необходима конкретизация оператора в заявке на перевозку грузов.

Целесообразно контролировать в автоматическом режиме не только гружёные, но и порожние вагонопотоки. Операторам необходимо подавать заявку на передислокацию порожняка по аналогии с заявкой на перевозку груза, что позволит учитывать возможности инфраструктуры. При этом необходимо разработать максимально упрощенную форму заявок-шахматок, которые операторы передавали бы в электронном виде в ОАО «РЖД», заверив их электронно-цифровой подписью. Если алгоритмы информационной системы перевозчиков, реализующих указанную модель, будут публичны и утверждены регулируемыми органами, то на данную систему можно будет возложить функции по автоматическому согласованию и отклонению заявок-шахматок операторов. Потребовав полной публичности и прозрачности, можно будет обеспечить операторов достоверными сведениями о перевозках друг друга и подтолкнуть их к заключению взаимовыгодных контрактов, направленных на сокращение встречных пробегов.

Указание операторской компании, управляющей вагонами в заявках на перевозку грузов должно стать обязательным, что поможет избежать многих нестыковок, исключив необоснованное направление вагонов в адрес клиентов, вынуждая их осуществлять погрузку в эти вагоны.

Предложения по управлению вагонопотоками:

- унификация тарифов за порожний пробег;
- снятие ограничений, препятствующих оптимальному сочетанию принципов адресной заадресовки с принципами регулировки (перелома тарифа);
- необходимость учета инфраструктурных ограничений при планировании перевозки;
- использование системы технологических ограничений для предотвращения недобросовестных действий операторов и грузоотправителей.

При подаче заявки через систему ЭТРАН необходимо отмечать, в вагонах собственного или арендованного парка будет отправлен груз. Такое изменение формы ГУ-12 позволит перевести управление перевозочным процессом в реальные обстоятельства и сделать компанию-оператора полноценным звеном транспортной цепочки.

На протяжении последних пяти лет в целях снижения порожнего пробега на определенных маршрутах помимо своих вагонов крупные компании управляют и подвижным составом иных операторов и собственников. Многие крупные компании готовы консолидировать заявки мелких грузовладельцев, чтобы таким образом упростить существующую систему планирования и сделать ее более прозрачной для того же перевозчика в лице ЦФТО.

Предлагается расширить формы заявок на перевозку в глубину – по времени, чтобы иметь возможность планировать заранее и на более длительный срок, в ширину – с консолидацией мелких собственников вагонов крупными операторами, в фазе ритмичности – по определенным периодам недели, месяца. Ввести одновременное планирование гружёного и порожнего рейсов вагонов, а также расширить заявки в сторону выдачи предложений перевозчику по использованию вагонов в рамках агентских соглашений на порожних рейсах или с использованием механизма биржи вагонов.

3.4. Принципы организации вагонной биржи

3.4.1. Ценообразование в сфере грузовых перевозок

Вагонная биржа как публичный информационно-торговый центр должна объединить поле спроса и предложения с системой электронной торговой площадки транспортных услуг РЖД. Системе распределения погрузочных ресурсов не хватает прозрачности и, как следствие, доступности участников рынка друг для друга. Кроме того, наличие вагонной биржи позволит государству поддерживать обратную связь с рынком, производя при этом прямую оценку конкурентной среды. Есть направления перевозок, которые с точки зрения оператора являются неэффективными из-за отсутствия обратной загрузки. Используя открытую информационную площадку, можно найти таких операторов, которые способны обеспечить перевозку по непопулярным маршрутам. Биржевой механизм расширяет возможность маневра при выборе оператора. В ресурсе такого рода нуждаются и грузоотправители, и операторы железнодорожного подвижного состава, и российская экономика в целом. Грузовладельцы смогут значительно снизить транспортные издержки. Операторам работа через электронную торговую площадку позволит на рыночных условиях заключать контракты с любым количеством грузоотпра-

вителей, что при традиционной технологии взаимодействия через договор практически неосуществимо. В настоящее время такие возможности есть только у публичного перевозчика. Электронная торговая площадка позволит существенно упростить заказ перевозки и обеспечить договоры на вывоз всех объемов грузов.

Механизм ценообразования при помощи биржи позволит сформировать понятные и прозрачные для всех грузовладельцев три общесетевых индикатора:

- Прейскурант № 10-01, актуализированный для частного подвижного состава;
- посуточную ставку пользования вагоном, по которой можно будет оценивать конкурентоспособность оператора и определять привлекательность частных инвестиций в строительство подвижного состава;
- зональную общесетевую карту, на основании которой можно сформировать стоимость порожнего пробега и определить область тарифных расстояний, в которой возможна контракция порожних вагонов и/или свободных грузов.

Последний индикатор позволит регулировать парки порожних вагонов в премиальных для оператора регионах.

Создание биржи уже давно назрело, поскольку на рынке действует достаточно много мелких посредников, предлагающих вагоны разного качества и по разным ценам. Требуется стабилизация цен, полное видение количества вагонов их дислокацию на сети. Всё это должно помочь грузовладельцам и операторам подвижного состава отыскивать оптимальные транспортные схемы.

При формировании информационной базы один из наиболее актуальных вопросов состоит в том, насколько полной и объективной она будет. При этом биржа не должна продавать информацию для исключения роста затрат на перевозку.

В связи с применением новой схемы управления вагонопотоками на сети РЖД владельцы вагонов не должны потерять стимул к пополнению своего парка. Подвижной состав должен продолжать приносить доход, а грузовладелец получать соответствующую услугу на развивающемся рынке.

Собственники подвижного состава предоставляют грузовладельцам не только вагоны для транспортировки, а ещё и в значительной мере оказывают различные дополнительные услуги. Такие компании позиционируют себя, скорее, в качестве экспедиторов, неся при этом соответствующие дополнительные расходы, связанные с содержанием аппарата и дорогостоящего информационного ресурса, который обеспечивает жизнедеятельность.

тельность компании. Это один из элементов, который приносит конечному потребителю дополнительную стоимость в структуре транспортных услуг.

Требуется дальнейшая проработка вопросов взаимодействия перевозчика, оператора и грузоотправителя при организации и осуществлении перевозок грузов с учётом соблюдения баланса их интересов.

3.4.2. Механизм реализации биржевых процессов

В начале 1990-х гг на Октябрьской железной дороге функционировала товарно-транспортная биржа, на которой продавались именно перевозки. Это предполагало систему договоров. Такой механизм не получил широкого распространения и не вышел за пределы одной дороги.

Предлагается создать электронную биржу подвижного состава. Есть рынок грузоотправителей, который формирует спрос на вагоны. Имеется рынок подвижного состава, формирующий предложение. И есть электронная биржа, которая объединяет эти рынки на одной площадке. В первую очередь такая модель будет привлекательна для операторов с неразвитой региональной структурой. В любом случае создание единого торгово-информационного центра подвижного состава – шаг вперёд в развитии рынка в целом.

Базой этой электронной площадки должен стать перевозчик, то есть ОАО «РЖД». В качестве основы для работы биржи может быть использована информационная система ГВЦ и ЦФТО (ЭТРАН). База данных должна вестись в режиме реального времени и включать в себя сведения о потребностях грузоотправителей в подвижном составе и имеющихся свободных ресурсах вагонного парка с разбивкой по родам подвижного состава, а также стоимости услуг по его предоставлению грузоотправителям. ОАО «РЖД» могло бы выступать в качестве держателя базы и в отдельных случаях как агент (от лица грузоотправителя – в части поиска вагонов под перевозку, от лица оператора – в части поиска клиентов). Это позволит оптимизировать использование вагонов операторов и находить через ОАО «РЖД» попутную загрузку.

Схема, которая описывает возможное изменение положения оператора в системе планирования, по сути, иллюстрирует модель экспедиторского договора (оператор принимает груз от ресурсодержателя и выступает в качестве грузоотправителя, подавая заявку перевозчику). Сейчас подача заявок от грузовладельца перевозчику и заключение

договоров с операторами – несвязанные процессы, трёхстороннего взаимодействия в реальности нет.

Если же подача заявки будет происходить параллельно с заключением договора с оператором, и в ней будет указываться, в чьих вагонах транспортируется груз, то оператор будет согласовывать эти заявки, что послужит соответствующим акцептом на использование его вагонов и позволит перевозчику планировать порожние рейсы. Перевозчик сможет, в свою очередь, просчитать нагрузку на инфраструктуру.

3.5. Поструйное управление грузопотоками

Существенно повысить качество работы операторской компании может переход от управления вагонопотоками, к управлению грузопотоками. Такой переход можно осуществить реализовав концепцию поструйного управления грузопотоками.

Суть поструйного управления овладения грузопотоками состоит в выделении кластера погрузки в регионе перевозок в качестве объекта планирования. Идея состоит в организации закольцованного курсирования определённого парка вагонов внутри региона перевозок. Всегда можно выделить «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. В современных условиях фактический оборот вагонов на подавляющем большинстве маршрутов имеет значительное отклонение от нормативного. Как правило, имеет место превышение уставных сроков, причём значительное – 50-80% [158].

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 [180] крупнейшие отправители, обеспечивающие совокупно не менее 80% грузопотока на рассматриваемом полигоне.

Выполняется расчёт потребного парка и выполняется регионализация парка вагонов, привязываемых к полигону. Для определения размеров потребного парка вагонов

строится график оборота кольцевого маршрута. До его построения требуется рассчитать нормы времени по элементам оборота. Например, следует определить порядок формирования маршрута, для чего необходимо изучить технологические возможности путей общего и необщего пользования на станции погрузки.

В современных условиях, станции могут и не иметь достаточной ёмкости для формирования маршрутных поездов. В таком случае организовать маршрут можно только путём снижения нагрузки на инфраструктуру от других перевозок, что потребует дополнительных затрат от перевозчика. Так как выгода от организации кольцевых маршрутов очевидна как для оператора, так и для перевозчика, очевидными становятся перспективы использования такой технологии.

Маршруты как из груженных, так и из порожних вагонов следует пропускать по твёрдым ниткам графикам, что позволит резко повысить детерминированность подвода порожняка в регион погрузки, с одной стороны, а с другой гарантированно выполнять обязательства перед грузовладельцами по срокам доставки.

Оборот вагона – основной показатель эффективности работы операторской компании. Управление оборотом вагонов может быть достигнуто в случае организации их маршрутного курсирования. Маршруты курсирования вагонов, характеризующие данный кластер станций погрузки, обслуживаются выделенным и прикрепленным к нему парком вагонов в количестве, определяемом объёмами погрузки и временем оборота на маршрутах. Если есть устойчивый встречный маршрутизированный грузопоток совместимого груза в рамках одного региона перевозок, то пункты назначения этого грузопотока включаются в кластер.

Выделенный для обслуживания кластера парк вагонов не назначается на обслуживание других перевозок. Назначение порожних вагонов, закреплённых за данным кластером, после выгрузки осуществляется следующим образом:

- если есть заявка на доставку встречного груза на станцию, отнесённую к кластеру, то вагон загружается встречным грузом и отправляется назначением на эту станцию;
- если нет встречного груза, идущего в данный кластер, и есть заявка на погрузку вагона на станции данного кластера, то вагон отправляется на эту станцию;
- если нет заявок на погрузку на станциях кластера, то вагон отправляется на выделенный пункт (пункты) распыления данного кластера.

Объём парка каждого кластера регулярно пересматривается на основании прогнозов грузопотока на следующий плановый период и складывающихся параметров эксплуатационной работы по каждому маршруту курсирования вагонов.

Выводы по третьей главе

1. В настоящее время в нормативно-правовой базе отсутствуют какие-либо критерии, позволяющие отделить владельца вагона от оператора и разделить операторов на группы. Провести такую классификацию возможно только опытным путем рассмотрев каждую компанию по отдельности.

2. Из множества собственников подвижного состава можно выделить компании грузовладельцев, управляющие 11,7% грузовых вагонов, и компании-операторы, управляющие 77,7% грузовых вагонов.

3. Компании-грузовладельцы управляют в основном парком специализированных вагонов – 62,1%; а компании-операторы парком универсальных вагонов – 62,5%.

4. Операторов, действующих в настоящее время на рынке предоставления вагонов для перевозки грузов можно условно разделить на три группы по величине парка: малые – 1-2 000 вагонов, средние – 2 001-7 000 вагонов, крупные – более 7 000 вагонов.

5. Среди малых операторов практически отсутствуют кэптивные, в то время как среди крупных – 14% от общего количества компаний.

6. При этом из трёх групп компаний среди малых операторов больше всего кэптивных компаний, ориентированных на обслуживание одного грузовладельца – 21%. Они управляют преимущественно парком специализированных грузовых вагонов.

7. Существующая система тарификации порожнего пробега препятствует решению задачи сокращения порожнего рейса вагона, т.к. подчинена тому же принципу, что и тариф на перевозку грузов: чем меньше расстояние перевозки, тем выше провозная плата. Для решения задачи оптимизации порожнего вагонопотока необходим обратный подход.

8. Произведённая оценка влияния на потребную пропускную способность участков сети железных дорог от перехода на использование в грузовых перевозках частного вагонного парка выявила недостаточную мощность основных направлений перевозок экспортных грузов. Необходим поиск путей снижения на сеть нагрузок от избыточных парков вагонов.

9. Инвестиционная составляющая тарифа недостаточна для развития инфраструктуры сети. Отсутствует механизм, увязывающий востребованность фрагмента сети и формированием источников финансирования для его развития.

10. Предложена модель управления парками частных вагонов в современных условиях на условиях его добровольной централизации.

11. В качестве оперативной меры, позволяющей централизовать парк, предлагается создание вагонной биржи на разработанных принципах обезличенного использования вагонов. Предложен механизм организации биржевых процессов.

12. В качестве мер по повышению эффективности работы парка вагонов операторских компаний предложено поструйное управление, что позволяет повысить детерминированность процессов продвижения гружёных и порожних вагонопотоков.

13. Организация кольцевых маршрутов в современных условиях позволяет нормировать потребный парк для обслуживания струй грузопотоков и применить технологию перевозок грузов по твёрдым ниткам графика.

14. Широкое применение кольцевых маршрутов, обращающихся по твёрдым ниткам графика сдерживается отсутствием путевой инфраструктуры, необходимой для формирования маршрутов установленных норм.

4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ ПО МЕСТАМ ПОГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПРИВАТНОГО ПАРКА

4.1. Требования, предъявляемые к методологии определения спроса в погрузочных ресурсах

При обращении на сети железных дорог избыточного парка грузовых вагонов, принадлежащих различным собственникам, задача минимизации порожнего пробега представляет практический интерес, ибо без принятия регулировочных мер лавинообразно возрастает нагрузка на сеть из-за неуправляемого роста порожнего пробега. При этом её решение кардинально отличается от канонического случая, при котором, прежде всего, принадлежность вагонов во внимание не принимается, т.к. доля частных вагонов исчезающе мала. Для всего экономического пространства железных дорог колеи 1520 мм существенна зависимость от рационального распределения погрузочных ресурсов системы – парка порожних вагонов.

При рассмотрении сегмента конкурентных железнодорожных перевозок как независимой макроструктуры, задача минимизации порожнего пробега может быть сведена к обеспечению стабильного функционирования всех уровней системы. На её нижнем уровне нужно обеспечить выполнение погрузки крупными отправителями, а также максимально полно удовлетворить потребности более мелких отправителей.

Уровень оплаты за пользование вагонами выпадает из-под контроля государства, а значит собственники вагонов, реализуют различные рыночные стратегии. На практике это приводит к некоторому разбросу цен на перевозки грузов при использовании вагонов разных компаний. Соответственно, отправитель стремится получить под погрузку своих грузов, наиболее «дешёвый» вагон. Однако, как правило, перевозчик не предоставляет возможности выбора, т.к. путевые ёмкости в непосредственной близости от пункта погрузки недостаточны для накопления вагонов одного рода с различными ценовыми вариациями. Поэтому, и без того сложная ситуация ещё более отягощается. Поскольку груз выталкивается с площадей производителя, то он вынужден отгружать в те вагоны, которые подаются на фронт погрузки. В итоге, неудовлетворёнными остаются все участники процесса перевозки. Перевозчик вынужден отвечать на претензии грузо-

отправителя за предоставление вагонов под погрузку, принадлежащих не той компании, с которой у него имеются договорные отношения, т.е. в конечном итоге за переплату. Грузовладельцы несут лишние расходы, теряя скидки и льготы. Получатели получают грузы по более высоким ценам. Замедляется оборот вагонов и растёт порожний пробег у компаний операторов подвижного состава, так как планируемая перевозка не состоялась. В выигрыше только недобросовестный оператор, который своими вагонами занял ёмкость путевого развития в районе массовой погрузки.

Задача обеспечения станций погрузки порожним подвижным составом зачастую осложняется низким уровнем его технического состояния. В целях сокращения случаев возврата вагонов из-за непригодности под погрузку целесообразно учитывать его пригодность для перевозки конкретного груза.

При росте объёмов погрузки за счёт более эффективного распределения погрузочных ресурсов можно освоить дополнительный грузопоток и улучшить экономические показатели деятельности оператора подвижного состава.

Задача оптимального распределения порожних вагонов по пунктам погрузки имеет большое значение для организации вагонопотоков как для всей сети, так и отдельных регионов и даже станций.

4.2. Методология определения потребности пунктов погрузки в подвижном составе с учётом принадлежности вагонов и пригодности под погрузку

4.2.1. Постановка задачи

Задача распределения порожнего подвижного состава решается за три шага:

- определение спроса пунктов погрузки по каждому типу;
- определение ресурсов порожнего подвижного состава по каждому типу;
- распределение по пунктам погрузки.

Оптимальным решением задачи распределения порожнего подвижного состава будет то, которое обеспечивает минимум потерь для всех уровней системы.

Критерием оптимальности называется признак, на основе которого производится оценка сравниваемых вариантов [181]. Он должен обеспечивать отражение интересов всей транспортной системы, для которой решается задача оптимизации.

Обобщённым критерием оптимальности при решении задачи регулирования парка порожних вагонов региона управления является минимум суммарных приведённых затрат на обеспечение пунктов погрузки порожним подвижным составом, отвечающим требованиям по пригодности, необходимого для погрузки грузов, предъявляемых к отправлению.

Обобщённый критерий оптимальности в стоимостном выражении может быть представлен в виде:

$$R^* = \min_{y_{ijk}} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n z_{ijk}(y_{ijk}) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m q'_{ij} * \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right) * U \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right) + \\ + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m q''_{ij} * \left(S_{ij} - \sum_{k=1}^n y_{ijk} \right) * U \left(S_{ij} - \sum_{k=1}^n y_{ijk} \right), \quad (39)$$

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:

$$U \left(\sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \right) = \begin{cases} 0, \text{ при } \sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} \leq 0; \\ 1, \text{ при } \sum_{k=1}^n y_{ijk} - S_{ij} > 0. \end{cases} \quad (40)$$

Первое слагаемое формулы (39) – затраты на удовлетворение спроса на порожние вагоны пункта потребления j за счёт ресурсов пунктов-поставщиков i с учётом затрат на транспортировку, может быть определено по любой из рассмотренных выше методик. Предлагается подробнее рассмотреть второе и третье слагаемые формулы.

Второе слагаемое – потери в стоимостном выражении от превышения выделенного ресурса реально требующегося числа единиц порожнего подвижного состава. Вследствие его избыточного поступления возрастают простой вагона в ожидании грузовых операций, нагрузка на путевую ёмкость в зоне погрузки и пробег порожнего вагона.

Третье слагаемое включает в себя потери в стоимостном выражении от заниженного спроса на порожний подвижной состав и, вследствие этого, недополучение доходов от перевозки непринятого груза, а также штрафные санкции, налагаемые на перевозчика за невыполнение плана подачи вагонов под погрузку.

4.2.2. Определение спроса пунктов погрузки

Матрицы заявок на порожний подвижной состав под погрузку формируются программным способом. Товарный кассир со своего рабочего места имеет доступ к любому её полю. После просмотра и корректировки он даёт команду окончания работы и запрос передаётся в базу данных системы. Алгоритм формирования «Заявки на подвижной состав под погрузку» [49] приведён на рисунке 16.

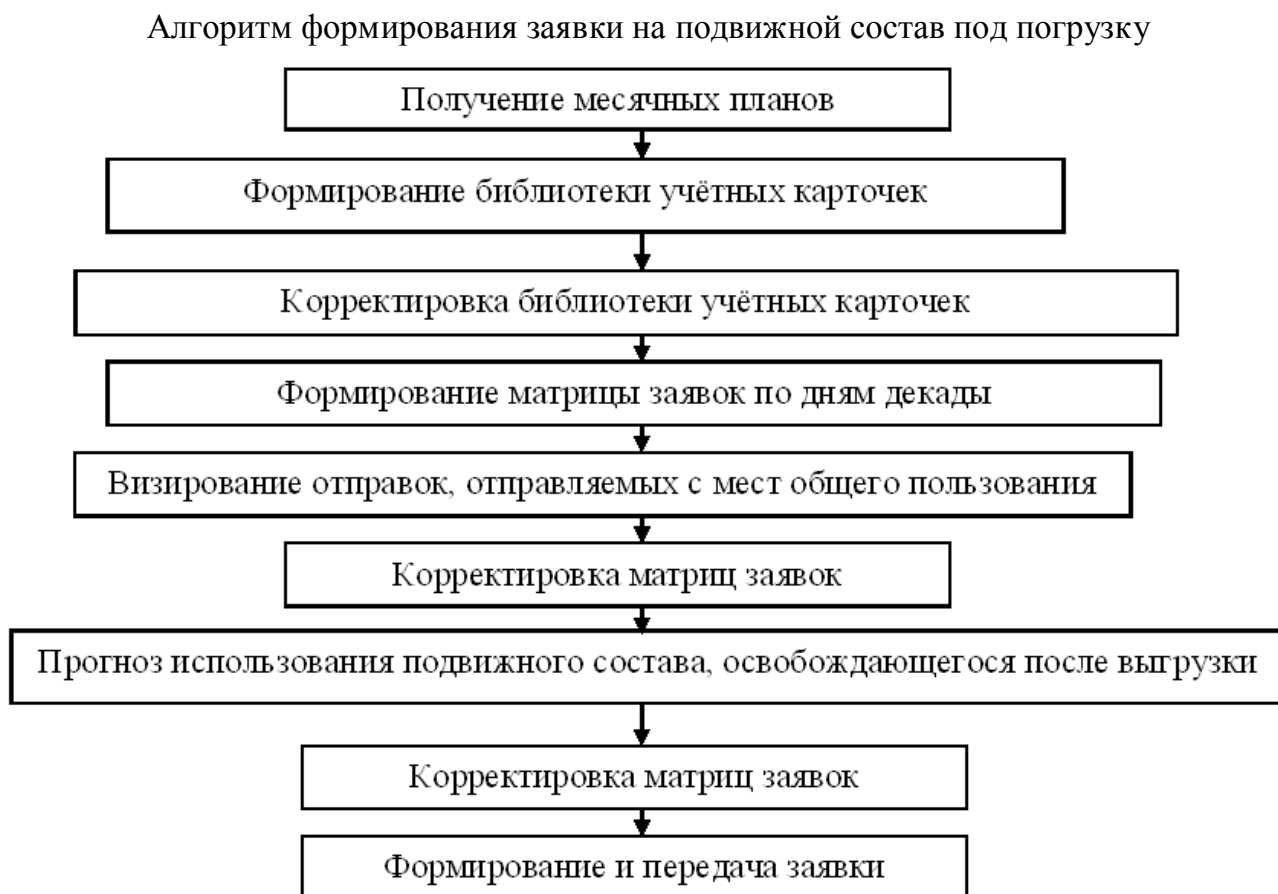


Рисунок 16

Суммарный спрос региона по каждому типу подвижного состава и категории годности определяется посредством обработки заявок, поступающих со станций погрузки. Простая их обработка даёт исходные данные о спросе пунктов погрузки – S_{ij} .

Алгоритм обработки прибывшей заявки и формирования матрицы потребности в порожнем подвижном составе по региону управления приведён на рисунке 17. Необходимо отметить, что спрос пункта погрузки может быть определён неточно вследствие недостаточной полноты информации в момент принятия решения о размерах требуемых ресурсов. Анализ статической информации показал, что заявка на подвижной состав в 10% случаев превышает требующийся ресурс. Поэтому необходимо выполнять корректировку полученных в сформированной матрице данных.

По своей сути проведение корректировки спроса пунктов погрузки, т.е. определение S_{ij} – есть решение задачи поиска такого его значения, при котором приведённые затраты минимальны, а получаемая прибыль всех участников транспортного процесса максимальная. Но, поскольку между этими критериями существует сложная неформальная зависимость, применение традиционных методов не даёт требуемых результатов. При построении прогнозных моделей не учитывается фактор повышения уровня прибыли, поэтому они больше подходят для описания детерминированных процессов, т.к. не могут учитывать влияния управляющего воздействия.

Предлагается решение этой задачи путём использования методов теорий принятия решений [182, 183], возможностей и нечётких множеств [184, 185]. Применяемый математический аппарат относится к методам искусственного интеллекта. Это позволяет легко программно реализовывать предлагаемый метод при разработке системы поддержки принятия решений о распределении погрузочных ресурсов.

4.3. Корректировка потребности в подвижном составе

4.3.1. Постановка задачи

Для выполнения корректировки потребности станций в порожнем подвижном составе для погрузки нужно для каждой из них дать оценку соответствия реального и заявляемого отправителями спроса по экономическим и техническим показателям [186]. Для этого требуется оценить вариант распределения порожних вагонов по каждому пункту погрузки по выбранным критериям. Целью этой работы является 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 выполнятся условие (39).

Алгоритм обработки прибывшей со станции погрузки заявки и формирования матрицы потребности в порожнем подвижном составе по региону управления

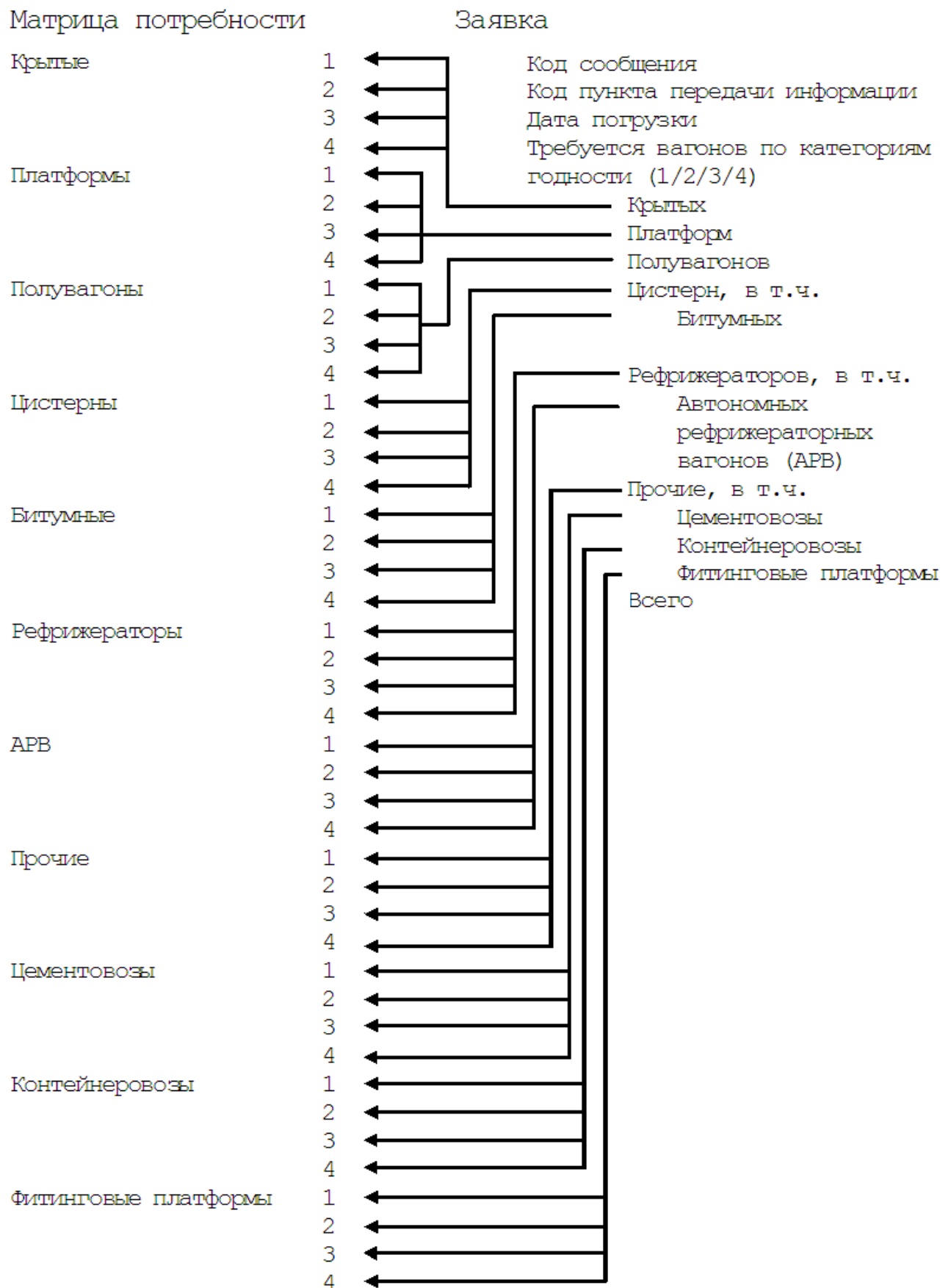


Рисунок 17

Задача определения оптимальных значений S_{ij}^* относится к классу многокритериальных оптимизационных задач. На основе предлагаемых информационной системой данных о спросе каждого j -го пункта погрузки за предшествующий планированию период времени T , с помощью предложенного набора критериев, которые оказывают влияние на корректировку спроса, нужно определить оптимальные значения S_{ij}^* .

В качестве концептуальной основы для решения этой задачи многокритериального выбора была использована теория нечётких множеств, предложенная Р. Беллманом и Л. Заде [187]. Для построения частных оценок по критериям в виде нечётких величин использована теория возможностей в изложении Д. Дюбуа и А. Прада [185].

Пусть Ω – множество станций из j элементов, которые требуется классифицировать с учётом множества критериев C . Число объектов является конечным и определяется реальным количеством станций, осуществляющих погрузку в вагоны i -го типа. Частные оценки объектов по каждому критерию принимают свои значения в легко идентифицируемых множествах. Отдельная целевая функция будет рассматриваться как некоторое нечёткое множество, ограничивающее допустимое значение соответствующего критерия. Следовательно, неявно предполагается, что каждая целевая функция определяет отношение полного порядка на множестве Ω .

Пусть 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. При этом оценки, попадающие в ядро нечёткого множества, неразличимы между собой, как и те оценки, которые находятся за пределами носителя. Если принять за X – шкалу степени использования перерабатывающей способности станции, то в том случае, если лицо, принимающее решение предпочитает выбрать станцию с наименьшей загрузкой, график

целевой функции «Наименьшая загрузка» можно представить в виде, представленном на рисунке 18.

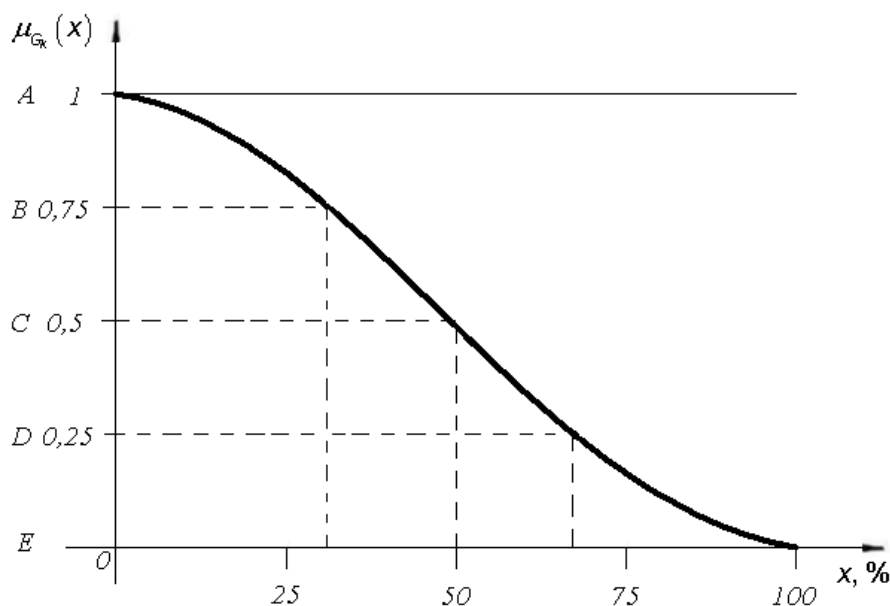


Рисунок 18

Оценка μ_{G_k} не может быть точной. Для выявления индивидуальных особенностей предпочтений лица, принимающего решения, удобно пользоваться дискретной шкалой предпочтений, содержащей 5-7 уровней в зависимости от порога восприятия лица, принимающего решения и требуемой точности в вычислениях. Самый простой способ состоит в лингвистическом выражении уровня совместимости между оценкой и целью, и отображением этих уровней на $[0, 1]$ (таблица 12).

Таблица 12

Лингвистическое выражение уровня совместимости между оценкой и целью

Уровень совместимости между последствием и целью	Числовые значения	Лингвистическая оценка
Полная совместимость (A)	1	Очень хорошо
Большая совместимость (B)	0,75	Хорошо
Средняя совместимость (C)	0,5	Посредственно
Малая совместимость (D)	0,25	Плохо
Несовместимость (E)	0	Очень плохо

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:

$$\mu_k(\omega_j) = \mu_{G_k}(G_k(\omega_j)). \quad (41)$$

Определение функции принадлежности основывается на наличии предпочтения между элементами базового множества.

Общая цель выражается в виде иерархии подцелей. На нижнем уровне находятся q частных целей, связываемых с q элементарными критериями C_k , которые позволяют оценивать объекты из множества Ω . Для этой цели базовым множеством будет декартово произведение $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_q$. Тогда нечёткое множество D объектов, совместимых с общей целью, можно получить путём свёртывания нечётких множеств с функциями принадлежности μ_k , определяемыми формулой (41). Таким образом, предполагается существование отображения h из $[0,1]^q$ в $[0,1]$, такого что:

$$\forall \omega_j \in \Omega, \mu_D(\omega_j) = h(\mu_1(\omega_j), \mu_2(\omega_j), \dots, \mu_q(\omega_j)). \quad (42)$$

Следовательно, для оценки объектов необходим поиск некоторой операции над нечёткими множествами, объединяющей частные цели. Эта операция должна удовлетворять следующим условиям:

- граничные условия $h(0,0,\dots,0)=0$; $h(1,1,\dots,1)=1$;
- для любых пар $(s_k, t_k) \in [0,1]$, или $\forall k$, если $s_k \geq t_k$, то $h(s_1, s_2, \dots, s_q) \geq h(t_1, t_2, \dots, t_q)$;
- h – симметрическая функция своих аргументов;
- h – непрерывная функция.

4.3.2. Выбор критериев для проведения оценки пунктов погрузки

При проведении экспертной оценки пунктов погрузки выделяются три группы критериев:

- количественные;
- маркетинговые;
- качественные.

В работе [188] выбор критериев определялся субъективной оценкой автора. Вероятно, что другой эксперт или их группа привели бы список, качественно отличающийся от представленного в таблице 13. Хотя и доля совпадающих критериев была бы достаточно высока. Очевидно также и то, что рассмотренные критерии могут иметь различ-

ную значимость для любого из экспертов. Тем не менее, теория возможностей [185] предлагает несколько способов оценки неравных по значимости критериев.

Очень распространенным методом выражения различия критериев по важности является назначение каждому из них некоторого веса с последующим суммированием этих весов в рамках операции свертки.

Таблица 13

Экспертная оценка пунктов погрузки

№ п/п	Наименование критерия	Обозначение	Весовой коэффициент
1.	Количественные: среднесуточный объём погрузки	$\sum_i V_{ij}$	0,264
2.	среднесуточный спрос пункта погрузки	$\sum_i S_{ij}$	0,062
3.	спрос пункта погрузки j в вагонах типа i	S_{ij}	0,042
4.	перерабатывающая способность пункта погрузки	Q_j	0,021
5.	степень использования перерабатывающей способности	$a_j = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij}}{Q_j}$	0,007
6.	показатель использования выделяемых ресурсов	$B_{ij} = \frac{\sum_i V_{ij}}{\sum_i S_{ij}}$	0,063
7.	Маркетинговые: прибыль от приёма груза к перевозке	$\sum_{i=1}^n A_{ij}$	0,382
8.	дополнительная прибыль от приёма внеплановых грузов в зависимости от их класса	$\sum_{i=1}^n D_{ij}$	0,076
9.	относительная прибыль	$O_j = \frac{\sum_i (A_{ij} + D_{ij})}{\sum_i S_{ij}}$	0,146
10.	Качественные: число случаев отказа от погрузки по вине грузоотправителя за расчётный период времени T	N'_{ij}	0,354
11.	число случаев отказа от погрузки в случае подачи вагонов в количестве, превышающем запрашиваемое, за расчётный период времени T	N''_{ij}	0,118
12.	показатель выполнения плана	p_{ij}	0,118

Если считать естественным введение нечётких целевых функций G_k для каждого критерия C_k , $\forall k = \overline{1, q}$, то при взвешивании критериев используется следующая формула:

$$\sum_{k=1}^q p_k * \mu_k(\omega_j) = \mu_D(\omega_j), \quad (43)$$

$$\sum_{k=1}^q p_k = 1. \quad (44)$$

Весовой коэффициент p_k характеризует значимость частной целевой функции G_k по отношению к обобщенной целевой функции. Его числовую характеристику, или приоритет критерия C_k , можно получить, используя метод парных сравнений [189]. Для этого строится матрица предпочтений Z_{ij} , такая что:

$$Z_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ если } p_i < p_k; \\ 1, \text{ если } p_i = p_k; \\ 2, \text{ если } p_i > p_k. \end{cases} \quad (45)$$

Работа по оценке важности критериев выполняется экспертно и сводится к выбору предпочтений z_{ij} для каждого перед каждым из $C_k \in C$ критериев. В случае, если $i = j$, $z_{ij} = 1$. Матрица парных сравнений приведена в таблице 14.

Таблица 14

Оценка важности критериев методом парных сравнений

Критерий	Предпочтения				$\sum_{j=1}^q z_{ij}$
C_1	z_{11}	z_{12}	...	z_{1q}	$\sum_{j=1}^q z_{1j}$
C_2	z_{21}	z_{22}	...	z_{2q}	$\sum_{j=1}^q z_{2j}$
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
C_q	z_{q1}	z_{q2}	...	z_{qq}	$\sum_{j=1}^q z_{qj}$
					$\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q z_{ij}$

Весовой коэффициент p_k критерия C_k определяется по формуле:

$$p_k = \frac{\sum_{j=1}^q z_{kj}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q z_{ij}}, \quad (46)$$

Расчёт весовых коэффициентов и матрица парных сравнений приведён в [186]. В соответствии с расчётом приняты следующие весовые коэффициенты для предлагаемых групп критериев:

количественные – 0,264;

маркетинговые – 0,382;

качественные – 0,354.

Распределение весовых коэффициентов внутри групп критериев приведено в таблице 13. При решении задачи корректировки спроса пунктов погрузки в подвижном составе учитывается 12 критериев, т.е. $k = \overline{1, q}$, $q = 12$. Каждый из критериев C_k имеет целевую функцию G_k определенную на Ω . В общем виде зависимость любого из критериев от входящих в систему исходных данных α можно представить в виде:

$$G_k(\omega_j) = F(\alpha, T), \quad \forall \omega_j \in \Omega, \quad \forall k = \overline{1, q}, \quad q = 12, \quad (47)$$

где: $F(\alpha, T)$ – функция от данных α за период времени T , представляемых информационной системой, однозначно характеризующая конкретную станцию $\omega_j \in \Omega$.

Массив констант $G_k(\omega_j)$ создаётся обработкой данных, накапливаемых информационной системой за расчётный период времени T и определяется функцией $F(\alpha, T)$ от входящих в систему данных α .

4.3.3. Определение приоритетов пунктов погрузки

В случае использования предложенного в таблице 13 набора критериев формула (42) принимает вид:

$$\forall \omega_j \in \Omega, \quad \mu_D(\omega_j) = h(\mu_1(\omega_j), \mu_2(\omega_j), \dots, \mu_{12}(\omega_j)) \quad (48)$$

Т.е., определяются такие приоритеты r пунктов погрузки, для которых выполняется условие:

$$\exists \omega_r \in \Omega, \quad \mu_D(\omega_1) \geq \mu_D(\omega_2) \geq \dots \geq \mu_D(\omega_j), \quad r = \overline{1, m}. \quad (49)$$

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 :

$$G_k(\omega_j) \rightarrow \max_{\omega_j \in \Omega}. \quad (50)$$

Значение ω_j , для которого реализуется условие (50) для критерия C_k будем обозначать через ω_{k0} . Степень принадлежности элемента ω_{k0} нечёткому множеству G_k обозначим $\mu_{G_k}(\omega_{k0})$ и примем условие:

$$\mu_k(\omega_{k0}) = 1. \quad (51)$$

Все станции ω_j , для которых выполняется условие (51), составляют ядро нечёткого множества G_k , обозначаемое $\tilde{G}_k$, и характеризуют предельные возможности станций по критерию C_k :

$$\tilde{G}_k = \{ \omega_j \in \Omega \mid \mu_k(\omega_j) = 1 \}. \quad (52)$$

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 $S(G_k)$:

$$S(G_k) = \{ \omega_j \in \Omega \mid \mu_k(\omega_j) > 0 \}. \quad (53)$$

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

$$G_k(\omega_j) \rightarrow \min_{\omega_j \in \Omega}, \quad (54)$$

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

$$\mu_k(\omega_{k1}) = 0. \quad (55)$$

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

$$\mu_k(\omega_j) = \frac{G_k(\omega_j) - G_k(\omega_{k1})}{G_k(\omega_{k0}) - G_k(\omega_{k1})}. \quad (56)$$

Эти операции выполняются для всего множества C критериев.

Следующим шагом является нахождение отображения h из $[0,1]^{12}$ в $[0,1]$ для которого будет выполняться условие (47). Это достигается путём свёртывания критериев посредством их взвешивания по формулам (43, 44).

Таким образом, для каждой из станций $\omega_j \in \Omega$, определяется степень её принадлежности к нечёткому множеству D станций, требующих выделения вагонов под погрузку. Используя правило Парето (80/20), легко можно отсечь пункты погрузки с низким рангом путем расчёта удельных весов оценок $\mu_D^*(\omega_j)$:

$$\mu_D^*(\omega_j) = \frac{\mu_D(\omega_j)}{\sum_j \mu_D(\omega_j)}. \quad (57)$$

И, наконец, последним шагом методики является определение приоритетов r станций $\omega_j \in \Omega$ в соответствии с условием (49).

В соответствии с правилом Парето:

$$0,8 < \sum_r \mu_D^*(\omega_j) < 1. \quad (58)$$

Имеет практический смысл рассматривать только те пункты погрузки, которые попали во множество Парето. Такой подход позволяет существенно сократить объём вычислений, без серьёзного снижения качества распределения.

4.3.4. Метод проведения корректировки спроса пунктов погрузки в погрузочных ресурсах

Корректировка спроса в потребном подвижном составе i -го типа осуществляется в рамках решения задачи его распределения между m пунктами погрузки. Алгоритм представлен в виде блок-схемы (рисунок 19). К её особенностям следует отнести то, что на ней предельно подробно рассмотрена процедура корректировки спроса в вагонах i -го типа для случаев неполного его удовлетворения при превышения спроса над ресурсами.

Алгоритм построен на организации двух вложенных циклов. Внешний (блоки 3-16), обеспечивает решение задачи для всех i типов вагонов и обеспечивает выход из программы при выполнении условия 15. Внутренний (блоки 6-9), позволяет определить потребность всех m пунктов погрузки в каждом из i типов вагонов. Сформированный в блоке 44 запрос передается на вышележащий уровень управления для принятия регулировочных мер. В алгоритме предусмотрено использование выделяемых по регулировке вагонов

(блок 44). В блоке 14 решается задача распределения $П_i$ вагонов между m пунктами погрузки с учетом их откорректированного спроса. Наибольший интерес представляют циклы 17-30 и 31-47, в которых выполняется корректировка спроса пунктов погрузки с учётом получения максимальной прибыли в их работе. Условия 12 и 13 определяют для какого случая решается задача по i -му типу вагонов, – избытка или недостатка. В алгоритме предусмотрен режим корректировки обнаруженных ошибок (блоки 49 и 50).

4.4. Разработка системы поддержки принятия решений о корректировке спроса пунктов погрузки в порожнем подвижном составе

В современных условиях создана основа для появления принципиально новых информационных технологий управления перевозочным процессом, – систем искусственного интеллекта (ИИ). Их коренное отличие от традиционных состоит в том, что в них проблема часто решается эвристически, в то время как обычно программирование основывается главным образом на алгоритмическом способе [190].

В таблице 15 показано представление данных и способы решения проблем с точки зрения традиционной обработки данных и ИИ.

Таблица 15

Представление данных и способы решения проблем

Представление данных	Способ решения	
	Алгоритмический	Эвристический
Численное	Научно-техническое вычисление	Моделирование, прогнозирование
Символьное	Экономико-хозяйственная обработка данных	Искусственный интеллект, технология знаний

Рассмотренная выше методика определения спроса пунктов погрузки в порожнем подвижном составе может быть реализована в рамках системы поддержки принятия решений о распределении погрузочных ресурсов на любом уровне управления.

К достоинствам предлагаемой системы следует отнести то, что она работает с фактическими данными, получаемыми из ИС. Тем самым, решение задачи распределения не требует большого объёма статистических данных, вводимых с клавиатуры при решении задачи. В то же время, решаемая задача относится к классу управленческих, т.е. можно говорить о шаге вперёд на пути к переходу от информационной системы к информационно-управляющей.

Блок-схема алгоритма решения задачи распределения вагонов по пунктам погрузки

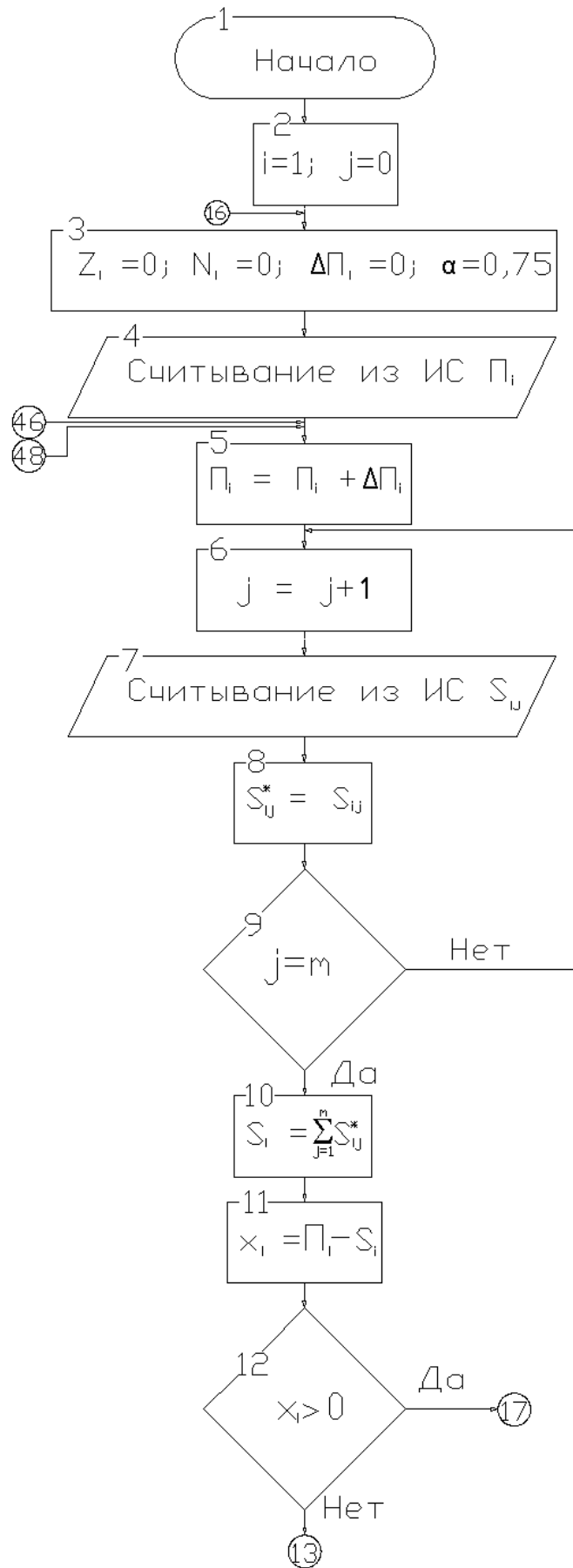
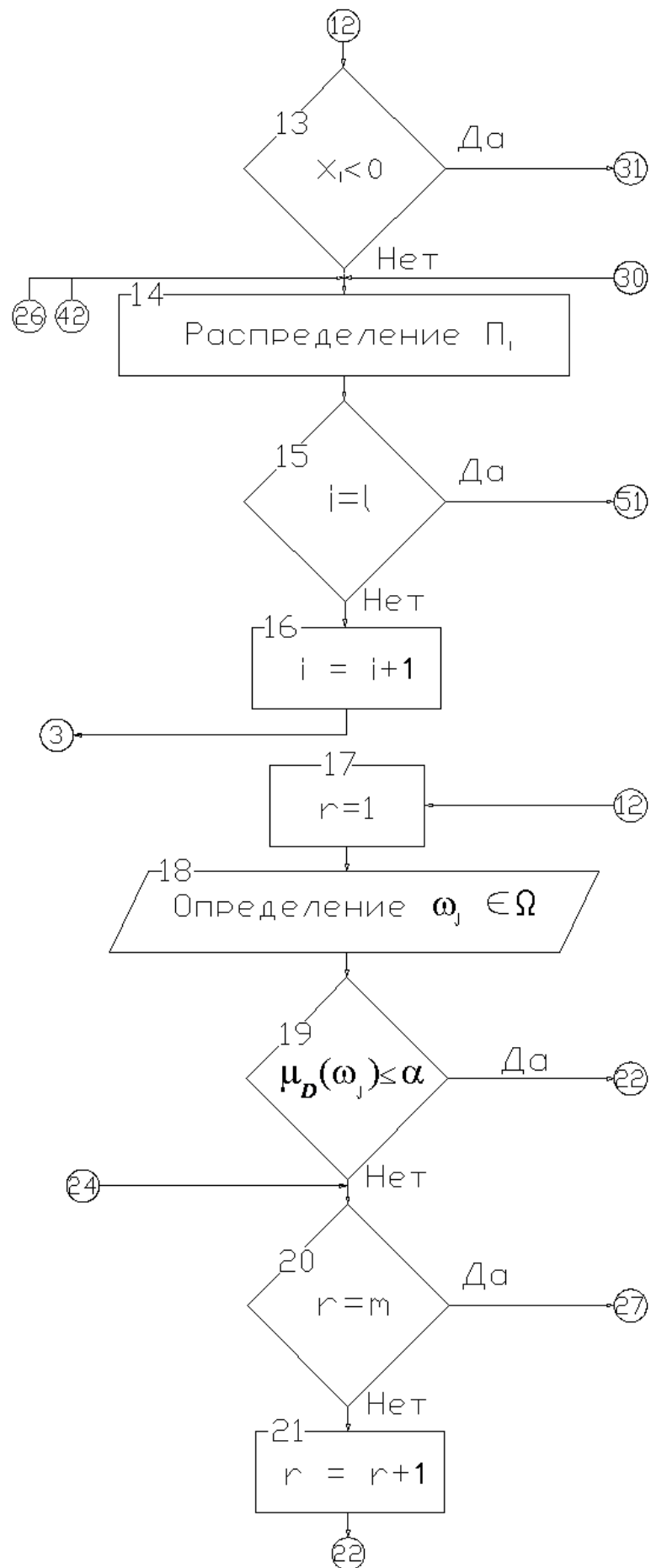
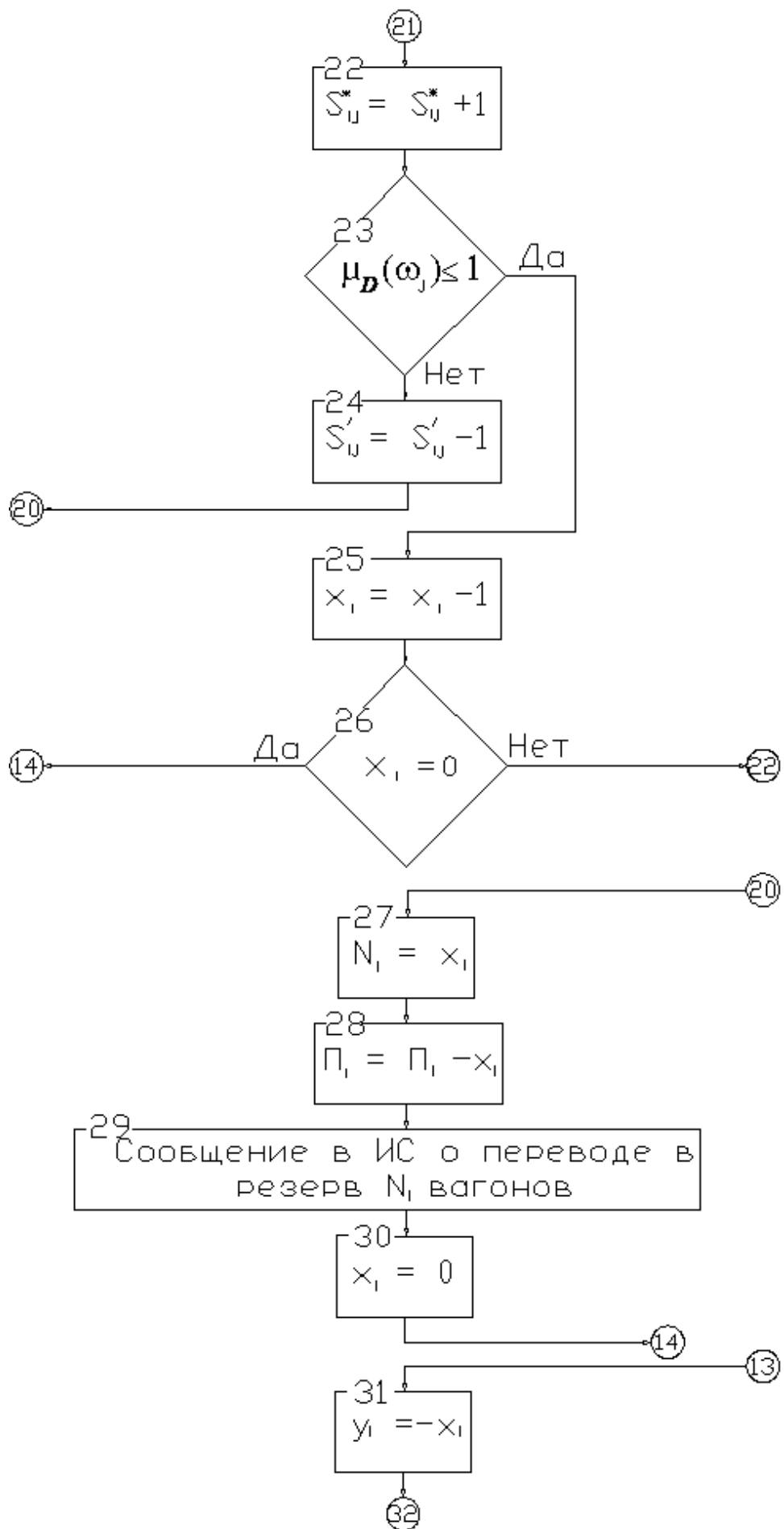


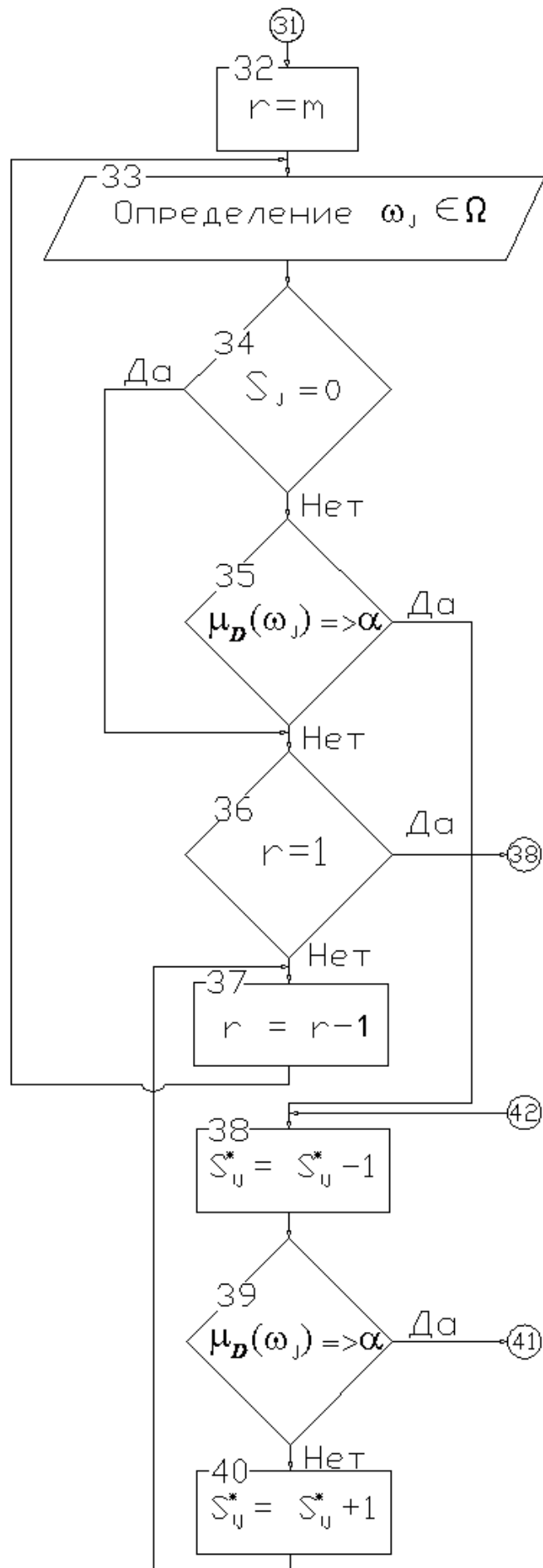
Рисунок 19



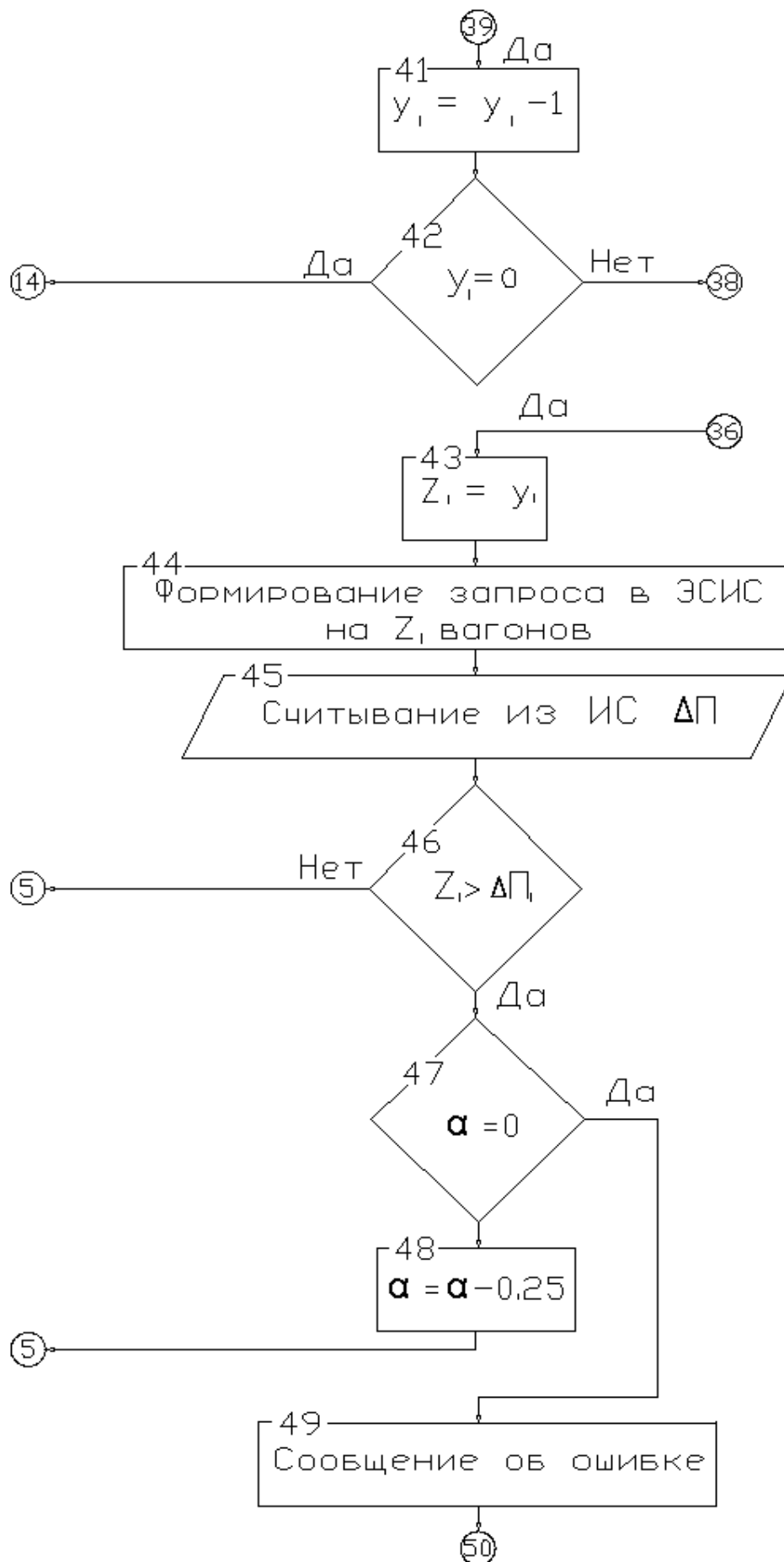
Продолжение рисунка 19



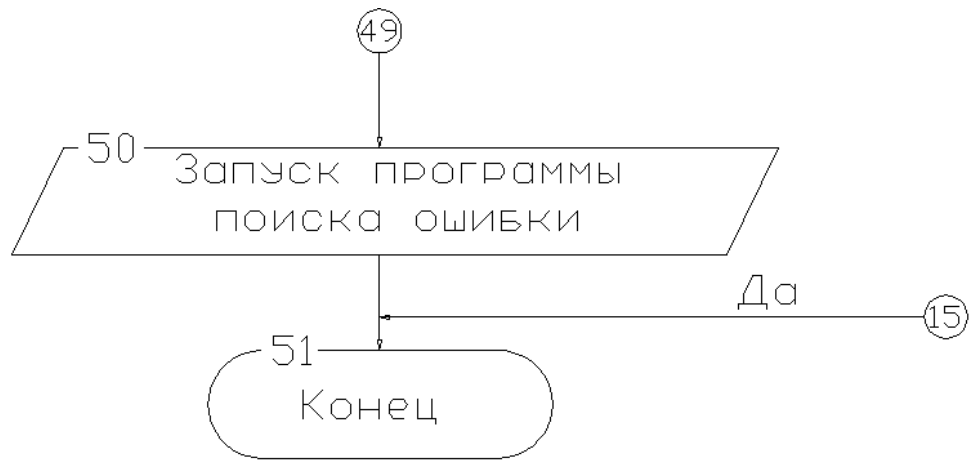
Продолжение рисунка 19



Продолжение рисунка 19



Продолжение рисунка 19



Условные обозначения: i – тип вагона, $\overline{1, l}$;

j – пункты погрузки, $\overline{1, m}$;

r – приоритеты пунктов погрузки, $\overline{1, m}$;

α – граница среза нечеткого множества определяющая станции $\omega_j \in \Omega$, удовлетворяющие желанию лица, принимающего решения;

Π_i – ресурс вагонов i -го типа на полигоне распределения;

$\Delta\Pi_i$ – дополнительный ресурс вагонов i -го типа, выделяемый вышележащим уровнем;

S_{ij} – спрос j -го пункта погрузки в вагонах i -го типа;

S_{ij}^* – откорректированный спрос;

x_i – избыток вагонов i -го типа;

y_i – недостаток вагонов i -го типа;

Z_i – заявка на вышележащий уровень о выделении недостающих вагонов;

N_i – сообщение на вышележащий уровень управления о переводе избытка вагонов в резерв;

$\mu_D(\omega_j)$ – степень принадлежности станций $\omega_j \in \Omega$ нечёткому множеству D , требующих выделения вагонов под погрузку.

Окончание рисунка 19

4.4.1. Обобщенный алгоритм работы

Для упрощения восприятия обобщенный алгоритм работы системы поддержки принятия решений о распределении порожнего подвижного состава по пунктам погрузки разбивается на четыре независимых подзадачи:

- ранжирование станций;
- определение входных условий (сравнение спроса и ресурсов) для проведения корректировки спроса;
- корректировка спроса;
- решение задачи распределения погрузочных ресурсов.

Ранжирование станций осуществляется следующим образом:

Шаг 1. Для каждого из критериев $C_k \in C$ выполняется условие (47). Т.е. на основании информации, получаемой из ИС, для каждой из станций $\omega_j \in \Omega$, определяется значение целевой функции G_k по каждому из критериев $C_k \in C$. Графически это представлено в форме таблицы 16.

Таблица 16

Определение значений целевой функции G_k по каждому из критериев $C_k \in C$

Критерий	Значение целевой функции			
	ω_1	ω_2	...	ω_m
C_1	$G_1(\omega_1)$	$G_1(\omega_2)$	...	$G_1(\omega_m)$
C_2	$G_2(\omega_1)$	$G_2(\omega_2)$	...	$G_2(\omega_m)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
C_q	$G_q(\omega_1)$	$G_q(\omega_2)$	...	$G_q(\omega_m)$

Шаг 2. В каждом ряду таблицы 16 находится максимальное значение $G_k(\omega_j)$ – условие (50). Станция $\omega_j \in \Omega$, для которой оно выполняется, обозначается ω_{k0} . Затем $\mu_k(\omega_{k0})$ присваивается в соответствии с правилом (51) – значение 1.

Шаг 3. Аналогично, по условию (54) находится минимальное значение $G_k(\omega_j)$. Станцию $\omega_j \in \Omega$, для которой оно выполняется, обозначим ω_{k1} . Затем $\mu_k(\omega_{k1})$ присваивается в соответствии с правилом (55) – значение 0.

Шаг 4. Для каждого члена ряда по формуле (56) определяется значение $\mu_k(\omega_j)$.
Значение k увеличивается на 1, – переход к следующему ряду.

Шаг 5. Шаги 2-4 выполняются до тех пор, пока $k \leq q$. Полученные значения $\mu_k(\omega_j)$ заносятся в таблице 17.

Таблица 17

Значения функции принадлежности $\mu_{G_k}(\omega_j)$

Критерий	Станции			
	ω_1	ω_2	...	ω_m
C_1	$\mu_1(\omega_1)$	$\mu_1(\omega_2)$	...	$\mu_1(\omega_m)$
C_2	$\mu_2(\omega_1)$	$\mu_2(\omega_2)$	...	$\mu_2(\omega_m)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
C_q	$\mu_q(\omega_1)$	$\mu_q(\omega_2)$	...	$\mu_q(\omega_m)$
$\sum_{k=1}^q \mu_k(\omega_j)$	$\sum_{k=1}^q \mu_k(\omega_1)$	$\sum_{k=1}^q \mu_k(\omega_2)$	...	$\sum_{k=1}^q \mu_k(\omega_m)$

Шаг 6. С помощью весовых коэффициентов таблицы 13, в соответствии с условием (44) строится таблица 18.

Таблица 18

Алгоритм определения приоритетов r_j станций

Критерий	Станции			
	ω_1	ω_2	...	ω_m
C_1	$p_1 * \mu_1(\omega_1)$	$p_1 * \mu_1(\omega_2)$	...	$p_1 * \mu_1(\omega_m)$
C_2	$p_2 * \mu_2(\omega_1)$	$p_2 * \mu_2(\omega_2)$	...	$p_2 * \mu_2(\omega_m)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
C_q	$p_q * \mu_q(\omega_1)$	$p_q * \mu_q(\omega_2)$	...	$p_q * \mu_q(\omega_m)$
$\mu_D(\omega_j)$	$\mu_D(\omega_1)$	$\mu_D(\omega_2)$	...	$\mu_D(\omega_m)$
r_j	r_1	r_2	...	r_m

Шаг 7. Суммированием $p_k * \mu_k(\omega_j)$ по столбцам получаем значение $\mu_D(\omega_j)$ для каждой станции $\omega_j \in \Omega$.

Шаг 8. По условию (49) определяются приоритеты r_j станций $\omega_j \in \Omega$.

Следующей подзадачей является определение входных условий (определение превышения спроса или ресурсов), для проведения корректировки спроса:

Шаг 1. По данным α , путём запросов в ИС, определяется ресурс вагонов по каждому типу вагонов Π_i .

Шаг 2. Считывается из ИС потребность S_{ij} для каждого j -го пункта погрузки по каждому i -му типу вагонов. Определяется суммарная потребность по каждому i -му типу вагонов.

Шаг 3. Определяются условия, для которых требуется решать задачу корректировки спроса, – избыток или недостаток, по каждому i -му типу вагонов.

Затем решается подзадача корректировки спроса пунктов погрузки. В случае избытка вагонов она решается следующим образом:

Шаг 1. Принимается значение переменной ранга $r=1$.

Шаг 2. По умолчанию задается ограничение α -среза равное 0,75 (см. таблицу 12). Если лицо, принимающее решение, считает целесообразным, то оно может снижать оценку искомого решения. Минимальное значение $\alpha=0,25$. Если он отказывается снижать значение α -среза, то оставшийся избыток вагонов x_i переводится в резерв. О чём ИС информирует вышележащий уровень управления.

Шаг 3. Проверяется корректность ранга $r \leq m$. Если условие не выполняется, то шаг 2. При выполнении условия находится такая станция $\omega_j \in \Omega$, что $r_j = r$.

Шаг 4. Проверяется степень использования перерабатывающей способности. Если станция не проходит по α -срезу, то r увеличивается на единицу, выполняется шаг 3. Если условие выполняется, то S_{ij}^* увеличивается на один вагон.

Шаг 5. Вновь проверяется по критерию C_5 (см. таблицу 13). Если станция не проходит α -срез, то S_{ij}^* уменьшается на один вагон, r увеличивается на единицу, выполняется шаг 2. Если условие выполняется, то проверяется размер оставшегося избытка x_i .

Шаг 6. Если $x_i > 0$, т.е. избыток не перераспределен, выполняется шаг 2. Если $x_i = 0$, то цель достигнута.

В случае недостатка вагонов подзадача корректировки решается следующим образом:

Шаг 1. Принимается значение переменной ранга $r=m$.

Шаг 2. По умолчанию задаётся ограничение α -среза равное 0,75 (см. таблицу 12). Если лицо, принимающее решение, считает целесообразным, то оно может снижать

оценку искомого решения. Минимальное значение $\alpha = 0,25$. Если он отказывается снижать значение α -среза, то требуется сформировать запрос на выделение оставшихся недостающими y_i вагонов. О чем ИС сообщает на вышележащий уровень управления.

Шаг 3. Проверяется корректность ранга $r \geq 1$. Если условие не выполняется, то шаг 2. При выполнении условия находится такая станция $\omega_j \in \Omega$, что $r_j = r$.

Шаг 4. Проверяется степень использования перерабатывающей способности. Если станция не проходит по α -срезу, то r увеличивается на единицу, выполняется шаг 3. Если условие выполняется, то S_{ij}^* уменьшается на один вагон.

Шаг 5. Станция вновь проверяется по критерию C_5 (см. таблицу 13). Если она не проходит α -срез, то S_{ij}^* увеличивается на один вагон, r уменьшается на единицу, выполняется шаг 2. Если условие выполняется, то проверяется размер оставшегося недостатка y_i .

Шаг 6. Если $y_i > 0$, т.е. недостаток не ликвидирован, выполняется шаг 4. Если $y_i = 0$, то цель достигнута.

Задача распределения ресурсов решается на основании откорректированного спроса по формуле (39). Алгоритм её решения в работе не рассматривается.

4.4.2. Организация базы знаний

База знаний системы поддержки принятия решений содержит набор правил, обеспечивающих прямую цепочку рассуждений для выполнения корректировки спроса при определяемых алгоритмически значениях спроса S_{ij}^* и погрузочных ресурсов Π_i , а также задаваемом лицом, принимающим решения, значении α . Ранжирование станций выполняется алгоритмически.

Структура базы знаний представлена на рисунке 20.

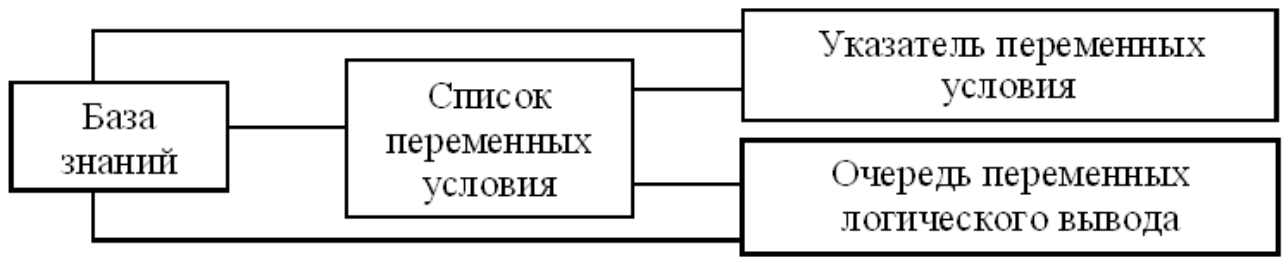


Рисунок 20

Для решения задачи корректировки спроса пунктов погрузки в вагонах по типам i разработана база знаний. Для иллюстрации её работы введём логическую переменную a , обеспечивающую управление её работой.

База знаний состоит из следующего набора правил:

Правило 1. Если $a = \text{True}$,

то $i=1$ и $j=1$ и $x_i = P_i - S_i$ и $y_i = -x_i$.

Правило 2. Если $i > l$,

то $a = \text{False}$.

Правило 3. Если $x_i > 0$,

то $r=1$.

Правило 4. Если $y_i > 0$,

то $r=m$.

Правило 5. Если $x_i = 0$ или $y_i = 0$,

то $i=i+1$ и $j=1$.

Правило 6. Если $r > m$ и $x_i > 0$,

то x_i вагонов переводится в резерв и $i=i+1$ и $j=1$.

Правило 7. Если $r > 1$ и $y_i > 0$,

то формируется запрос о выделении по регулировке y_i вагонов и $i=i+1$ и $j=1$.

Правило 8. Если $r_j \neq r$, или $(d < \alpha$ или $x_i > 0)$, или $(d < (1-\alpha)$ и $y_i > 0)$,

то $j=j+1$.

Правило 9. Если $r_j = r$,

то $d = \mu_{G_s}(\omega_j)$.

Правило 10. Если $d \geq \alpha$ и $x_i > 0$,

то $S_{ij}^* = S_{ij}^* + 1$ и $x_i = x_i - 1$ и $r=r+1$ и $j=1$.

Правило 11. Если $d \geq (1-\alpha)$ и $y_i > 0$,

то $S_{ij}^* = S_{ij}^* - 1$ и $y_i = y_i - 1$ и $r=r-1$ и $j=1$.

Правило 12. Если $a = \text{False}$,

то выход в главное меню.

4.4.3. Работа базы знаний

Для иллюстрации работы базы знаний системы поддержки принятия решений о распределении погрузочных ресурсов приведён список и указатель переменных условия и очередь переменных логического вывода (рисунок 21). Список переменных условия содержит перечень переменных, входящих в условную часть каждого правила. Числа (от 1 до 48), расположенные слева от имён переменных, – индексы элементов массива, содержащего эти имена. Для каждого правила резервируется 4 элемента массива.

Элементы массива, неиспользуемые правилом, остаются пустыми. Назначение списка переменных в том, что он содержит имена переменных условия, их значения и признак инициализации. До начала диалога с программой признак инициализации равен *NI* и всем переменным присвоены нулевые значения. В процессе диалога с системой переменным присваиваются значения, а значения признака меняется на *I*.

В указателе переменных условия хранится информация о правиле, с которым система работает в данное время. Указатель состоит из номера правила и условия в правиле, поскольку его условная часть может содержать несколько условий.

Система содержит указатель, чтобы определить текущее положение в цепочке рассуждений. Очередь переменных логического вывода используется в качестве буфера для ожидания переменными обработки. Упомянутая переменная записывается в нижнюю строку буфера, а обрабатывается переменная находящаяся в верхней строке. Как только отработают все правила содержащие первую переменную, наступает очередь второй. На рисунке 21 показано состояние базы знаний в момент входа, признак инициализации по всем переменным, кроме *a*, равен *NI*. Инициализирована переменная *a*, которая управляет работой системы. При изменении её состояния на *False* срабатывает правило 12 и программа закончит свою работу. При запуске системы ей присваивается значение *True*, при котором срабатывает правило 1. Указатель границы стоит на правило 1, в котором отрабатывается единственное в нём условие 1. Последовательно в очередь отправляются переменные *i*, *j*, x_i и y_i , значения которых ещё не определены. При этом *i*, x_i и y_i являются переменными условия.

Список переменных условия

Указатель переменных
условия

Очередь переменных логического вывода

Следующее правило, содержащее переменную условия a – правило 12. Так как его условная часть не выполняется, то обработка переменной a прекращается. После этого начинается обработка первой переменной очереди – i . Она содержится в условной части правила 2. Условие правила не выполняется. Остальные правила не содержат в условии переменную i . Следующая по очереди переменная x_i . Она содержится в условии правила 3. В случае превышения ресурсов над спросом условная часть правила выполняется, инициализируется переменная r , которая является переменной условия. Состояние системы в этот момент показано на рисунке 22. При изменении состояния переменных условия они вносятся в очередь переменных логического вывода. Работа системы поддержки принятия решений продолжается до тех пор, пока не сработает правило 12.

На языке *Prolog* разработана компьютерная программа, реализующая методику корректировки спроса пунктов погрузки в порожнем подвижном составе, в рамках системы поддержки принятия решений о распределении погрузочных ресурсов.

Выводы по четвёртой главе

1. Задача распределения порожнего подвижного состава в современных условиях решается за три шага:

- определение спроса пунктов погрузки;
- определение ресурсов порожнего подвижного состава;
- распределение порожнего подвижного состава по пунктам погрузки.

2. При математической постановке задачи распределения порожнего подвижного состава обобщённым критерием оптимальности должны служить суммарные приведенные затраты на обеспечение пунктов погрузки погрузочными ресурсами в размерах, необходимых для обеспечения погрузки грузов, предъявляемых к отправлению в счёт планов и при минимальных затратах на перемещение порожних вагонов.

3. В условиях работы парка частных вагонов необходима корректировка заявленного спроса пунктов погрузки в погрузочных ресурсах, что позволяет сократить совокупные издержки участников процесса транспортировки.

4. В качестве концептуальной основы для решения задачи корректировки спроса пунктов погрузки в подвижном составе возможно применение теории нечётких множеств, что позволяет реализовать методику в рамках системы поддержки принятия решений о распределении порожнего подвижного состава по пунктам погрузки.

	Индекс	Имя	Признак	Значение
Правило 1.	1	a	I	True
	2			
	3			
Правило 2.	4			
	5	i	I	1
	6			
Правило 3.	7			
	8			
	9	x_i	I	2
Правило 4.	10			
	11			
	12			
Правило 5.	13	y_i	I	-2
	14			
	15			
Правило 6.	16			
	17	y_i	I	2
	18	x_i	I	-2
Правило 7.	19			
	20			
	21	r	I	1
Правило 8.	22	x_i	I	2
	23			
	24			
Правило 9.	25	r	I	1
	26	y_i	I	-2
	27			
Правило 10.	28			
	29	r	I	1
	30	d	NI	
Правило 11.	31	x_i	I	2
	32	y_i	I	-2
	33	r	I	1
Правило 12.	34			
	35			
	36			
Правило 13.	37	d	NI	
	38	x_i	I	2
	39			
Правило 14.	40			
	41	d	NI	
	42	y_i	I	-2
Правило 15.	43			
	44			
	45	a	I	True
Правило 16.	46			
	47			
	48			

Номер	
Граница	Условия
3	1

Указатель переменных
условия

[illegible]

Очередь переменных логического вывода

Рисунок 22

5. Для экспертной оценки пунктов погрузки необходим набор критериев, для каждого из которых должны быть введены нечёткие целевые функции. Решение задачи оценки неравных по значимости критериев можно осуществить с помощью теории возможностей, посредством назначения им некоторого веса с последующим их суммированием в рамках операций свёртки.

6. Предложенная методика определения приоритетов пунктов погрузки посредством решения задачи многокритериального выбора и разработанные алгоритмы проведения корректировки спроса пунктов погрузки в ресурсах позволяют создать систему поддержки принятия решения о распределении порожнего подвижного состава по пунктам погрузки.

7. Предложенная система работает с фактическими данными, получаемыми из информационной системы, что позволяет значительно сократить объём информации, вводимой вручную, с одной стороны, а с другой повысить качество использования достоверной оперативной информации. Решаемая задача относится к классу оптимизационных, т.е. можно говорить о шаге вперёд на пути к переходу от информационной системы к информационно-управляющей.

5. ПРОВОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПАРКА ПРИВАТНЫХ ВАГОНОВ

5.1. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков

Еще в 1980-е годы прошлого века были выполнены исследования и установлены рациональные соотношения вместимости станционных путей по развернутой длине и парков вагонов. Нормированное значение нижней границы этого предела составило:

- для сортировочных систем – 5,1;
- для участковых станций – 4,1;
- для грузовых и промежуточных станций – 12.

Для полигонов железнодорожной сети средневзвешенное рациональное соотношение вместимости путевого развития и вагонного парка по станциям было рекомендовано увеличивать на 5% для учёта неравномерности распределения вагонного парка.

Рационализация соотношения ёмкости путей станций и вагонных парков позволяет избежать избыточных инвестиций в путевую инфраструктуру. В то же время возрастают требования к качеству организации эксплуатационной работы на всех уровнях – от грузового фронта, до полигонов, и даже всей сети в целом. Вместимость (ёмкость) путевого развития выражается в вагонах (длина которого принимается равной 16 м) и рассчитывается из условия, чтобы даже при заполнении расчётной ёмкости, станция могла продолжать работу: пропускать пассажирские и отправлять грузовые поезда, формировать поезда на вытяжных путях и т.д. Для станции она определяется суммированием ёмкостей приёмо-отправочных, сортировочных, погрузочно-выгрузочных и других, кроме главных, вытяжных, ходовых, путей локомотивного и вагонного хозяйств, для хозяйственных нужд, а также локомотивных, предохранительных и улавливающих тупиков.

Ёмкость приёмо-отправочных путей определяется длиной поезда, установленной графиком движения поездов, а тех путей, полезная длина которых меньше установленной графиком, – фактической полезной длиной. Для сортировочных путей она принимается равной 65% их полезной длины, а для грузовых путей учитывается по фронтам.

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, несмотря на положительную динамику поставок

грузовых вагонов, это приводило к обострению дефицита погрузочных ресурсов для удовлетворения заявок грузоотправителей. С началом спада перевозок нахождение на сети невостробованных порожних вагонов стало приводить к многочисленным нарушениям взаимодействия работы станций и участков, невосполнимым потерям пропускной способности, снижению скорости продвижения поездопотоков, и, как следствие, бросанию поездов на промежуточных станциях участков. Одной из причин такого положения является несоответствие вместимости полигонов и размеров дислоцирующегося на них вагонного парка.

Падение объёмов перевозок в период кризиса инициировало процесс разрыва лизинговых контрактов. По разным оценкам доля вагонов, приобретённых на условиях лизинга операторскими компаниями, прежде всего независимыми, составляла 50-70%. В условиях падения спроса на вагоны под погрузку, операторы подвижного состава вынуждены были концентрировать перевозочную работу на вагонах собственного парка. При разрыве лизинговых контрактов вагоны были «возвращены» владельцам, т.е. компаниям-лизингодателям. Как правило, это компании, аффилированные банковским структурам. Соответственно, такие компании, не имея пунктов отстоя для собственных вагонов, стихийно «забивают» ими сеть железных дорог, причём оказываются такие вагоны, преимущественно, в местах массовой выгрузки. При этом владельцы не имеют ни штата эксплуатационников, ни структур, которые бы занимались экспедированием. Такие компании предлагают вагоны в посуточную аренду. По сути, вагоны этой категории оказались «шлаком», усугубляющим проблемы вместимости станций.

Для ликвидации заторов остро необходимо создавать на сети пункты отстоя вагонов, по крайней мере, в некотором удалении от мест массовой выгрузки.

5.2. Оценка снижения провозной способности сети от разделения парков

5.2.1. Оценка влияния разделения парков между странами участниками СНГ и Балтии

Изменения в организации работы вагонных парков начались еще с раздела парка грузовых вагонов и пересмотра системы их эксплуатации на железнодорожной сети бывшего СССР. Грузовладельцы привлекают для перевозок своей продукции в между-

народном сообщении, не только вагоны РЖД, но и подвижной состав стран СНГ и Балтии: Украины, Беларуси, Литвы, Латвии, Казахстана и Узбекистана [191]. При этом есть ряд ограничений на его использование. Так, отгрузка экспортных грузов производится в направлении сухопутных погранпереходов с Украиной, Беларусью, Венгрией, Словакией, Румынией, Польшей, Латвией и Литвой, а делать это в вагонах СНГ разрешается только при условии попутной отгрузки. По России в вагонах парка стран Содружества даже в попутном направлении отгрузка запрещена.

Механизм использования вагонов СНГ на территории России очень сложен и заключается в оплате странам-собственницам вагонной составляющей, которую вносит российский грузоотправитель при оплате тарифа по российским железным дорогам. Оплаченный тариф включает в себя возврат вагона в попутном направлении в страну-собственницу, а вагонная составляющая тарифа оплачивается соответствующему государству. Стоимость перевозки в вагонах СНГ и стран Балтии, как правило, ниже операторских ставок, предлагаемых на российском рынке.

Для более широкого использования вагонов СНГ на территории России должны быть выработаны экономически выгодные условия использования подвижного состава различных форм собственности, что требует внесения изменений в нормативные акты государств СНГ, Латвии, Литвы, Эстонии. Управление общим парком вагонов может быть осуществлено только на основе концепции – нормативной основы для создания Единой системы управления парками грузовых вагонов различных форм собственности. Её внедрение позволит сохранить уникальный опыт работы железных дорог стран СНГ и Балтии по принципам единой технологии и обеспечить эффективное использование вагонного парка.

5.2.2. Оценка влияния полного использования приватного парка вагонов для обеспечения грузовых перевозок

После создания «Второй грузовой компании», ныне ОАО «Федеральная грузовая компания», ей был передан оставшийся парк грузовых вагонов собственности холдинга ОАО «РЖД». В результате к 2010 г. был завершён этап формирования относительно конкурентного рынка грузовых железнодорожных перевозок: доля ОАО «ПГК» составляла на тот момент около 20%, ОАО «ФГК» – 30%, доля других ДЗО ОАО «РЖД» – 5%, а остальные собственники владели примерно 45% вагонов [192].

Бизнес-процессы, происходящие на рынке операторских услуг, постепенно его трансформируют. Складывается класс компаний, которые можно условно назвать собственниками подвижного состава. Их место в системе операторского бизнеса между банковским капиталом и вагоностроительными заводами. Именно эти компании обеспечивают основную загрузку машиностроителей. Они же выступают в роли лизингодателей перед собственно операторскими компаниями. Зачастую они выступают в роли их учредителей. Достаточно часто встречается практика создания кэптивных компаний совместно крупными грузовладельцами и собственниками подвижного состава. Одни вносят в качестве актива грузовую базу, другие специализированный подвижной состав. Поэтому при анализе рынка очень важно отделить собственников от компаний, занимающихся их оперированием. При этом следует учитывать, что вагоны, находящиеся в управлении операторских компаний, могут находиться как в собственности, так и в лизинге или аренде. Собственники, также вынуждены содержать диспетчерский аппарат, который оперирует вагонами до их передачи в лизинг или продажи. Например, ЗАО «Спецэнерготранс» по данным [193] в 2011 г. владела парком вагонов в 21 997 единиц. В то же время в управлении компании находился парк 5 651 единиц, т.е. остальные вагоны находились в лизинге, либо в аренде. В апреле 2012 г. была создана компания «РэйлСпецТранс» (РСТ) для оперирования парком крытых вагонов, учредителями которой выступила группа «*Rail Garant*» и компания ЗАО «Спецэнерготранс».

Распределение основной части вагонного парка с выделением породовой структуры приведено в таблице 19. Данные собраны из открытых источников. По данным на 1 августа 2013 г. доля ОАО «ПГК» составляла 16,2% вагонного парка принадлежности РФ. В абсолютном выражении – свыше 193 700 вагонов. Доля ОАО «ФГК», соответственно, – 14,11%. В абсолютном выражении – 168 670 вагонов. Следует отметить, что ОАО «ПГК» сменила собственника, и теперь 100% её акций принадлежит ООО «Независимая транспортная компания». Таким образом, в настоящее время ПГК входит в *UCL Rail* – железнодорожный дивизион международной транспортной группы *Universal Cargo Logistics Holding (UCL Holding)*. Она объединяет несколько крупных железнодорожных операторов с филиальной сетью на всей территории России, стивидорные компании на северо-западе и юге страны, а также Волжское, Северо-Западное и Западное пароходства, ряд других судоходных и логистических активов. В состав *UCL Rail* входит и ООО «Независимая транспортная компания».

Таблица 19

Породовая структура парка крупнейших оператоских компаний по данным на 1 августа 2013 г.

Рейтинг на 01.08.2013	Наименование компании	Доля в общем парке	Парк грузовых вагонов, ваг.															Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 01012012		РЖД-партнёр, 01012012	
			ПВ	КР	ПЛ	ЦС	ЦМВ	МЛВ	ФТГ	ХД	ЗВ	ТРВ	ЛСВ	ИПС	АМВ	Прочие	ВСЕГО	Парк в управлении	Рейтинг	Парк в управлении	Рейтинг
1	ОАО «ПГК»	16,21%	112 300	16 700	3 000	44 700	11 700	5 300									193 700	159 300	1	191 663	1
2	ОАО «ФГК»	14,11%	132 000	24 100	9 600	370										2 600	168 670	129 212	2	40 685	4
3	ОАО «НефтеТрансСервис»	4,95%	39 700			19 400											59 100	59 621	3	59 621	2
4	Globaltrans Investment Plc	3,98%															47 524	47 524	4	47 524	3
5	ЗАО «Русарготранс»	3,03%	2 000						3 000		31 200						36 200	30 645	5	31 702	5
6	Rail Garant	2,73%	14 954	3 094	2 484	4 512				1 220		1 202			762	4 346	32 574	30 363	6	30 363	6
7	ООО «Трансойл»	2,43%				29 015											29 015	25 637	8	29 015	7
8	ООО «Газпром-транс»	2,38%				28 473											28 473	23 356	1 0	28 473	8
9	ООО «Независимая Транспортная Компания»	2,36%	27 444		79	16	275									438	28 252	27 545	7	28 252	9
10	ОАО «Холдинговая Компания «Новотранс»	2,25%	24 890		560	1 460											26 910	16 437	1 1	20 313	11
11	ОАО «ТрансКонтейнер»	2,10%							24 958							128	25 086	23 830	9	24 796	10

Рейтинг на 01.08.2013	Наименование компании	Доля в общем парке	Парк грузовых вагонов, ваг.															Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 01012012		РЖД-партнёр, 01012012	
			ПВ	КР	ПЛ	ЦС	ЦМВ	МЛВ	ФТГ	ХД	ЗВ	ТРВ	ЛСВ	ИПС	АМВ	Прочие	ВСЕГО	Парк в управлении	Рейтинг	Парк в управлении	Рейтинг
12	ЗАО СУЭК	1,51%	18 000														18 000			11 692	18
13	Компания «Финансовый альянс»	1,38%				16 500											16 500	14 837	1 2	13 762	14
14	ООО "Фирма Трансгарант"	1,35%	7 957	1 208	88	966	582	100	2 576				376			2 277	16 130	13 708	1 3	16 579	12
15	ЗАО СИБУР-Транс	1,38%				13 869										2 603	16 472	7 697	1 9	16 472	13
16	ОАО "СГ-Транс"	1,25%			9	14 904											14 913			7 944	29
17	ЗАО Евросиб	1,15%	2 900	1 600				5 900					3 300				13 700	11 858	1 5	11 858	17
18	ЗАО РН-Транс	1,03%				12 300											12 300			12 300	16
19	ГК Совфракт-Совмортранс	1,08%	2 711			8 907										1 291	12 909			12 596	15
20	ООО "МеталлоИнвестТранс"	0,88%	10 079													405	10 484	10 484	1 4	9 966	20
21	ООО "ТЭК Евротранс"	0,87%															10 442	7 005	2 0	11 012	19
22	ООО Транслес	0,85%	2 000										8 200				10 200			8 140	27
23	«УВЗ-Логистик»	0,84%	10 000														10 000			4 897	38
24	ОАО Уралкалий	0,74%						8 794									8 794			8 794	21
25	"ЛУКОЙЛ-Транс"	0,73%															8 750	8 016	1 7	8 750	23

Рейтинг на 01.08.2013	Наименование компании	Доля в общем парке	Парк грузовых вагонов, ваг.															Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 01012012		РЖД-партнёр, 01012012	
			ПВ	КР	ПЛ	ЦС	ЦМВ	МЛВ	ФТГ	ХД	ЗВ	ТРВ	ЛСВ	ИПС	АМВ	Прочие	ВСЕГО	Парк в управлении	Рейтинг	Парк в управлении	Рейтинг
26	ООО "СибУгле-МетТранс"	0,72%	8 160													480	8 640	8 640	1 6	8 793	22
27	ЗАО "Мечел-Транс"	0,66%	7 706													213	7 919	7 919	1 8	8 175	26
28	ОАО Рефсервис	0,62%		2 894					60					3 706		740	7 400			6 737	33
29	ОАО ДВТГ	0,55%	5 468						1 058								6 526			6 526	34
30	РэйлСпецТранс	0,42%		5 000													5 000				
31	ООО «Технотранс»	0,17%		500							1 500						2 000				
Доля в общем парке, всех компаний поименованных в рейтинге		74,69%	428 269	55 096	15 820	195 392	12 557	20 094	31 652	1 220	32 700	1 202	11 876	3 706	762	15 521	892 583	663 634		717 400	

На начало 2012 г. парк вагонов составлял 1 060 700 вагонов. В течение года было построено 121 668 вагонов их породовое распределение приведено в таблице 20. Доля универсального подвижного состава в парке составляла 77,82%.

Таблица 20

Породовая структура вагонного парка 1 января 2013 г.

Показатель	Парк грузовых вагонов, ваг.														
	ПВ	КР	ПЛ	ЦС	ЦМВ	МЛВ	ФТГ	ХД	ЗВ	ТРВ	ЛСВ	ИПС	АМВ	Прочие	ВСЕГО
Доля в парке	47,9 8%	6,17 %	1,77 %	21,8 9%	1,41 %	2,25 %	3,55 %	0,14 %	3,66 %	0,13 %	1,33 %	0,42 %	0,09 %	1,74 %	100 %
Построено в 2012 г.	78 329	5 840	1 709	20 941	2 586	2 377	1 559							8 327	121 668

На рисунке 23 отражено породовое распределение вагонов постройки 2012 г.

Породовое распределение вагонов постройки 2012 г.

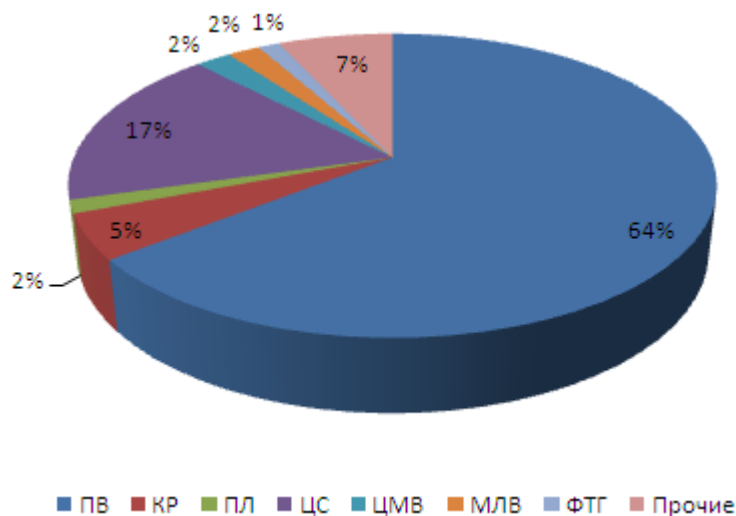


Рисунок 23

К лету 2013 года общий рабочий парк российских операторов достиг рекордной отметки 1 195 000 вагонов. Дороги восточного региона стали испытывать серьезное давление со стороны избыточных парков. Например, в июне-июле 2013 г. рабочий парк ВСЖД колебался в диапазоне 71-79 тыс. вагонов при норме 59 тысяч.

Обеспечение взаимодействия с операторскими компаниями по организации технической маршрутизации необходимо как гружёного, так и порожнего вагонопотока даже в условиях высокой доли повагонных отправок. Серьёзное внимание следует уделять и

совершенствованию единой технологии перевозочного процесса на пространстве колеи 1520 мм в условиях роста доли частных вагонов (рисунок 24).

Динамика структуры вагонных парков в 2003-2011 гг.

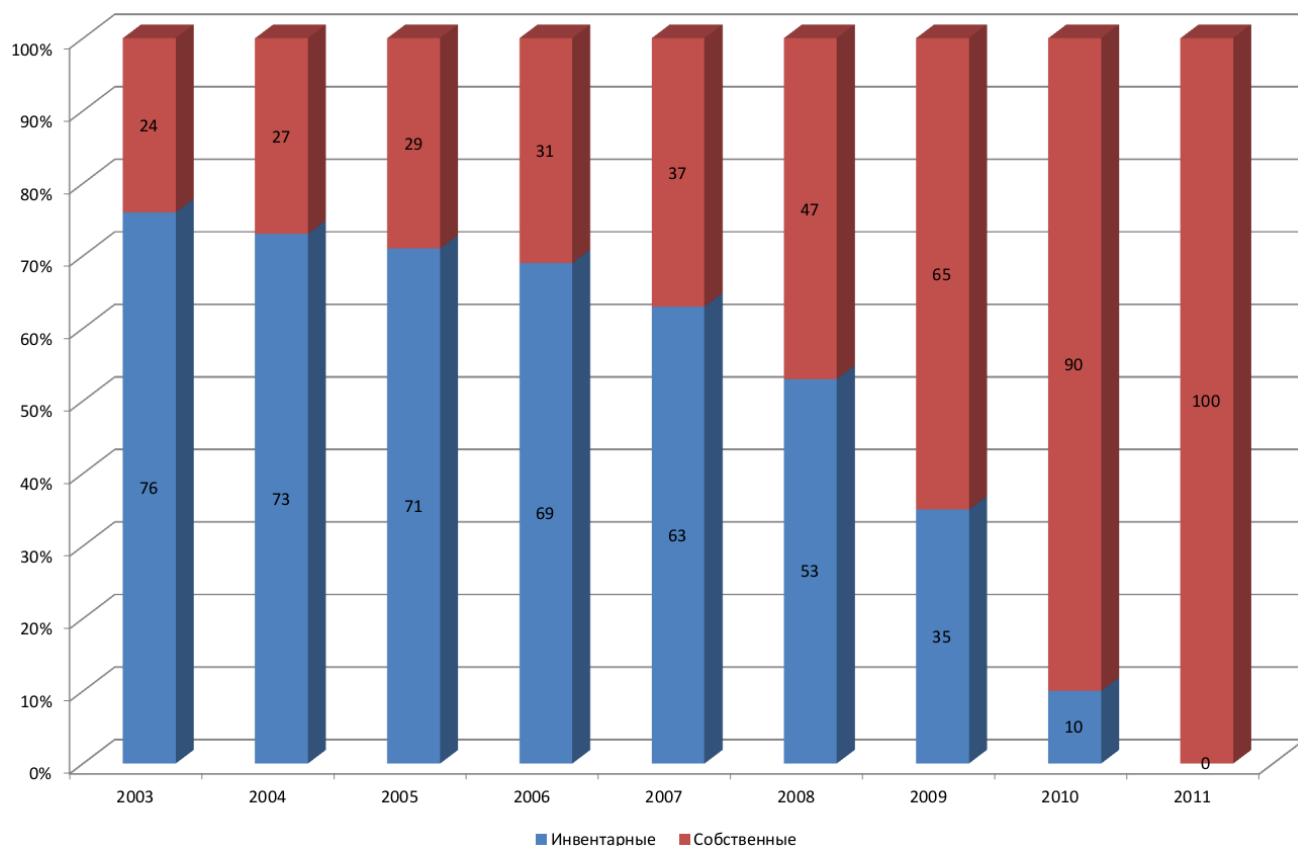


Рисунок 24

Важнейшим вопросом остаётся обеспечение соответствия параметров инфраструктуры технологическим требованиям работы частного вагонного парка. В 2010 году возобновился рост вагонного парка: транспортными компаниями приобретено более 36 тыс. новых грузовых вагонов. Это превышает объёмы 2009-го (18 тыс. вагонов за год) и 2008-го (32 тыс.). Динамичный рост парка создает дополнительную нагрузку на пропускную способность и тяговые ресурсы. Поэтому в новых условиях на первый план выходит оптимальное использование инфраструктуры, увеличение темпов её обновления и развития. В первую очередь для этого требуется активная поддержка государства и частного бизнеса.

Внесение ряд поправок в нормативно-правовые акты, отражающие реальную структуру рынка грузовых перевозок, законодательно определит основы правового регулирования деятельности операторов. Должен быть определён и утверждён перечень критериев технических и технологических возможностей, отсутствие которых является для перевозчика и владельца инфраструктуры основанием для отказа от согласования

заявки на перевозку. Требуется усовершенствования система тарифов, в том числе на порожний пробег частных вагонов.

Пропускная и провозная способность инфраструктуры неуклонно сокращалась на протяжении 20 лет, к 2008-2009 году произошло снижение (по сравнению с 1993 годом):

- на 18% – общего количества железнодорожных станций;
- на 9% – развернутой длины станционных путей;
- на 20% – длины приемо-отправочных путей;
- на 20% – длины сортировочных путей.

Общее количество сортировочных станций уменьшилось с более 200 в 1999 г. до 61 в 2009 г. Ряд из них закрывался из-за недостаточной рентабельности, еще в начале процесса реформ. Ряд – по техническим и технологическим причинам.

На восточном полигоне российских железных дорог коэффициент использования пропускной способности составляет от 0,8 до 0,9%, иногда достигая единицы. Безопасное пороговое значение коэффициента – 0,75. Это означает, что ни одного дополнительного поезда по таким перегонам пропустить невозможно. Самая проблемная станция на Транссибе – Карымская Забайкальской железной дороги. Участковая скорость на прилегающих участках в отдельные сутки падает до 13-17 км/ч (при норме около 45 км/ч), что приводит к «астрономическим» финансовым потерям.

Протяженность «узких мест», ограничивающих пропускную способность железных дорог, в настоящее время превышает 8,3 тыс. км, что составляет около 10% всей эксплуатационной длины путей (30% основных направлений сети), обеспечивающих свыше 80% всей грузовой работы. Предельно возросла нагрузка на сортировочные станции, обострилась проблема нехватки локомотивов. Кроме того, на увеличение загрузки инфраструктуры повлияло увеличение «квази-встречных» перевозок грузов, вызванных большей дифференциацией спроса на промышленную продукцию.

Сложность проблемы еще и в том, что имеется очень ограниченный перечень инструментов, которые можно использовать для изменения ситуации в лучшую сторону. Формирование грузопотока (направления, дальность, объемы и т. д.) зависит от четырех ключевых факторов: структуры спроса на продукцию, дислокации потребителей, размещения производства и тарифных условий перевозок. На первые три не влияют ни перевозчик, ни операторские компании. Последние влияют только на вагонную составляющую тарифа (инфраструктурная регулируется государством).

Чтобы железнодорожная отрасль не стала «узким звеном», лимитирующим элементом, сдерживающим экономическое развитие страны, то нужно решить две главные задачи, требующие неотложного решения: создание механизмов финансирования развития инфраструктуры, не зависящих от государственных субсидий; повышение экономической эффективности управления парком грузовых вагонов.

По объективным причинам невозможно в краткосрочной перспективе существенно увеличить пропускную способность инфраструктуры, хотя бы в той же степени, в какой увеличился вагонный парк. Следовательно, нужны новые принципы управления системой железнодорожных перевозок, учитывающие сложившуюся ситуацию.

5.3. Влияние размещения вагонного парка на эксплуатационную работу полигонов сети

5.3.1. Текущая оценка эксплуатационных параметров сети

За период с 1996 по 2009 г. количество отдельных пунктов с путевым развитием на сети ОАО «РЖД» сократилось на 1 065 (на 17,1%). При этом сокращению в наибольшей степени подверглось количество сортировочных станций (на 54,1%), разъездов (на 52,9%) и обгонных пунктов (на 75,7%), а в наименьшей – количество грузовых (на 3,6%) и промежуточных (на 5,8%) станций.

В период подъёма экономики страны и роста грузовых перевозок (с 2003 г.) российский парк грузовых вагонов увеличивался темпами, в среднем в 4,3 раза опережающими темпы прироста протяжённости приемо-отправочных и сортировочных путей станций. Кроме того, рост длины составов грузовых поездов на грузонапряжённых направлениях продолжают опережать темпы удлинения станционных путей, особенно на сортировочных станциях. Необходимость размещения в парках станций составов поездов, длина которых превышает полезную длину путей, требует соответствующего развития горловин (секционирования маршрутов, наличия параллельных съездов и др.). Однако в 1990-е годы сокращение путевого развития ряда станций состояло не только в снижении ёмкости путей, но и в упрощении станционных схем с разборкой стрелочных съездов и снижением маневренности горловин.

Распределение общей вместимости железнодорожных путей по категориям приведено в таблице 21.

Распределение общей вместимости железнодорожных путей по категориям

Категория путей	Доля в структуре, %
Для пассажирского движения	4,3
Для грузового движения, в т.ч.:	95,7
Приёмо-отправочные	46,1
Главные, в пределах станций	23,6
Сортировочные	15,4
Сортировочно-отправочные	3,2
Погрузочно-выгрузочные	5,1
Соединительные	4,4
Ходовые	2,5
Вытяжные	1,8
Выставочные	1,6
Для отстоя вагонов	2,0

Основные компоненты путевого развития железнодорожной сети – станции, перегоны, железнодорожные пути необщего пользования – имеют сильную структурную и функциональную связность через транспортные потоки и парки единиц подвижного состава. Избыток вагонного парка на путях необщего пользования, перенасыщение участков поездами приводят к нарушению условий взаимодействия в эксплуатационной работе. Именно факторы, связанные с перегрузкой транспортными потоками и перенасыщением вагонными парками участков и железнодорожных путей необщего пользования, с невозможностью отправления поездов со станций и (или) подачи прибывших вагонов на станции, как правило, становятся первопричиной перенасыщения вагонами станционных путевых ёмкостей.

С 2009 г. происходит увеличение доли вагонного парка, находящегося на железных дорогах восточного полигона, что связано с перераспределением грузопотока. Неравномерность размещения вагонных парков усугубляется неоднородностью распределения по железным дорогам ёмкостей путевого развития станций и железнодорожных путей необщего пользования. Восточная часть сети, на которой размещается почти половина всего парка грузовых вагонов, располагает только 39% ёмкостей путевого развития станций. Кроме того, часть вагонов, учитываемых как приватные на железнодорожных путях необщего пользования, фактически размещены в отстое либо в ожидании отправления на станционных путях инфраструктуры общего пользования.

С ростом рабочего парка, находящегося на общей инфраструктуре (без учёта парка на путях необщего пользования), на дорогах сети ухудшаются основные качественные

показатели: оборот вагона; простои транзитного (с переработкой и без) и местного вагона; участковая скорость; среднесуточный пробег локомотивов; количество «брошенных» поездов и поездо-часы их задержек.

5.3.2. Факторы, определяющие зависимость вместимости путей станций и парка вагонов

В современных условиях зависимости вместимости путей станций и парка вагонов требуют пересмотра по следующим причинам:

- вагонный парк стал приватным;
- кардинально изменилась система организации работы вагонных парков;
- изменились технология и длительность выполнения станционных операций;
- на грузонапряжённых направлениях сети предоставляются «окна» длительной продолжительности, в т.ч. с закрытием одного из путей перегона на несколько суток, увеличивающие потребность в путевом развитии станций для регулирования поездной работы;
- развивается скоростное пассажирское и пригородное движение, сопровождаемое неизбежными задержками грузовых поездов на станциях;
- специфика организации перевозок через морские порты требует увеличения ёмкости путевого развития станций на подходах к ним для возможности регулирования подвода грузопотоков и порожних вагонов;
- с увеличением числа операторских компаний растёт потребность дополнительного выделения путей для накопления подвижного состава разных собственников.

Влияние факторов, определяющих рациональное соотношение вагонных парков и вместимости путей сортировочных, участковых и грузовых станций в современных условиях, представлено на рисунке 25. На схеме отражено и влияние широко внедряемой на практике в последние годы комплексной технологии капитального ремонта инфраструктуры при закрытии на несколько суток одного из путей двухпутного перегона.

Механизм действия факторов, определяющих рациональное соотношение вагонных парков и вместимости путей станций в современных условиях

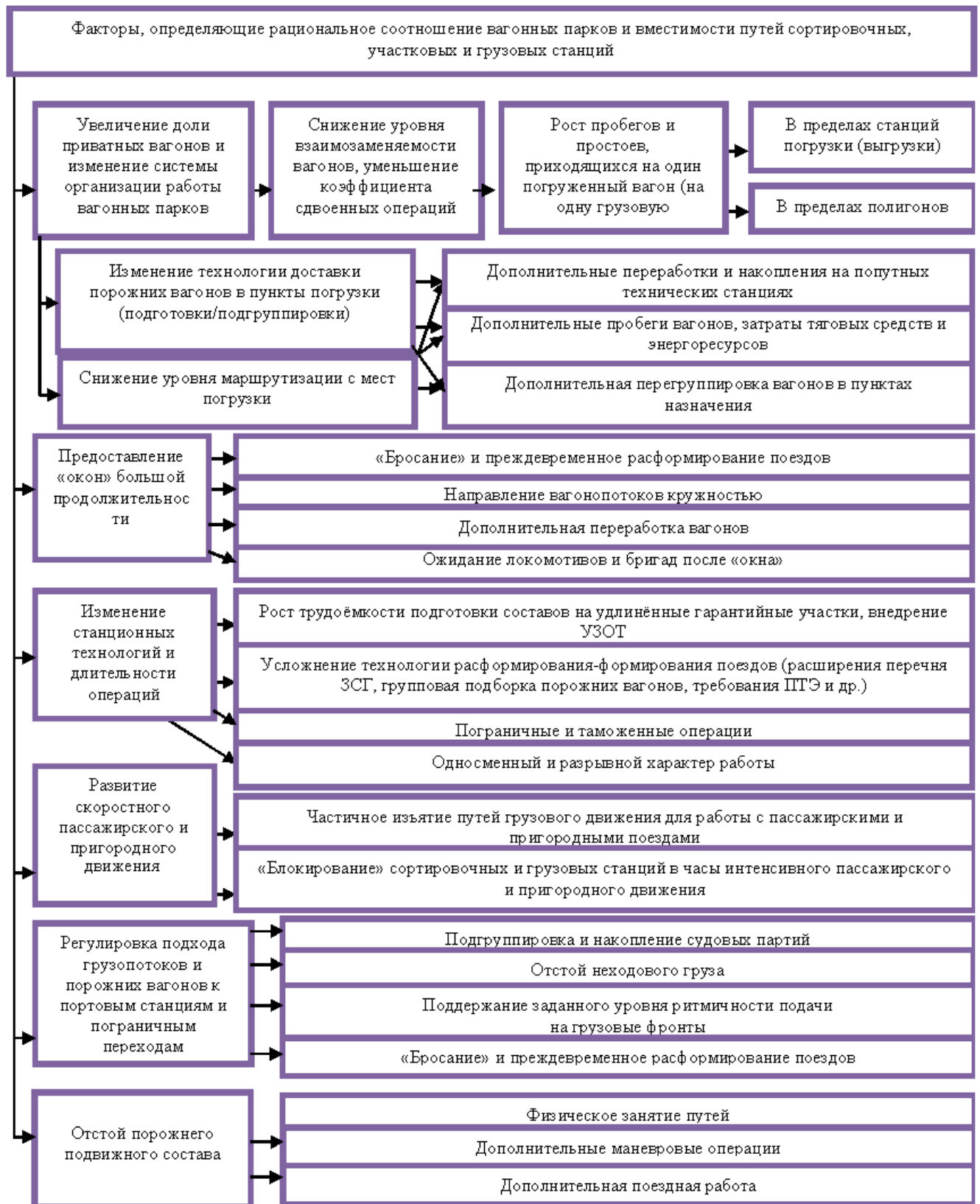


Рисунок 25

Существенно снизился уровень взаимозаменяемости даже по универсальным вагонам, находящимся в распоряжении перевозчика, что связано с:

- дифференциацией вагонов по типам и годности под погрузку определённых грузов;
- различиями тарификации в зависимости от класса груза-предшественника и рыночной стратегии оператора;
- учётом остатка межремонтного пробега при подаче под очередную погрузку («желтый» и «красный» пороги);
- разными требованиями к ходовым частям вагонов при их курсировании в пределах железной дороги, России и при следовании в другие государства;
- учётом дополнительных технических и коммерческих характеристик вагонов.

Результатом стал рост доли порожнего пробега и простоев, приходящихся на один погруженный вагон. Заметно возросло значение главного качественного показателя работы вагона – времени оборота.

Продолжается рост числа операторских компаний, других владельцев и арендаторов подвижного состава. При этом претерпела крупные изменения технология доставки порожних вагонов в пункты назначения. Основой этой технологии ранее были сквозные поезда из порожних вагонов, следовавшие по регулировочным заданиям, причем сами вагоны отправлялись со станций выгрузки по пересылочным документам без указания станций назначения. Результатом перемещения порожних частных вагонов по полным перевозочным документам с указанием станций назначения стали дополнительные пробеги, переработки вагонов в пути следования и подгруппировки на станциях назначения. При этом на всей сети уровень технического оснащения систем станций порожнего направления заметно ниже, чем для гружёного.

Тарифные условия перевозки порожних частных вагонов в настоящее время таковы, что после выгрузки подвижного состава (прежде всего полувагонов), их сортируют и заадресовывают не только в зависимости от типа (глуходонные, люковые), категории годности под погрузку, принадлежности определенному оператору подвижного состава, но и в зависимости от тарифного класса ранее перевозимого груза. Это на практике ведет к ещё большему разукрупнению порожних вагонных струй.

Увеличилась вероятность оперативных ситуаций, когда для формирования отправительского маршрута установленного веса или длины не хватает нескольких вагонов

определенного оператора. В результате увеличиваются простои под накоплением, и снижается уровень маршрутизации с мест погрузки. Действующий Прейскурант 10-01 предоставляет грузоотправителям льготные условия для организации групповых отправок, работа с которыми на станциях требует дополнительного путевого развития и маневровых средств, но не позволяет формировать из них маршруты установленного веса или длины. При этом исчезает источник финансирования дополнительных объёмов маневровой работы, соответственно возникает дефицит маневровых средств, и как следствие растёт нагрузка на имеющиеся элементы станции, неизбежно происходят сбои в их работе, и, соответственно, возникают заторы.

Предельная величина вагонного парка при заданном путевом развитии и техническом оснащении полигона зависит от принятых параметров:

- структуры транспортных потоков на полигоне;
- плана формирования;
- организации местной работы;
- технологии содержания и ремонта инфраструктуры.

При этом разные рационализация существующих параметров перевозочного процесса требует времени и денежных средств на их реализацию, а сумма минимальных затрат, полученных для каждой отдельной станции в силу связности железнодорожной сети не всегда даёт минимум для какого-либо полигона и сети в целом. Поэтому и соотношения вместимости путей и вагонного парка, полученные для отдельной станции при рациональных параметрах, не могут применяться без учета дополнительной ёмкости путевого развития, необходимой для взаимодействия с внешней средой.

Специалистами НИИАС [101] предложена новая классификация вагонных парков на станциях по технологическим признакам, которая отличается от традиционной учётно-статистической. В целом она соответствует текущему состоянию транспортного процесса железнодорожной отрасли, но между тем её следует дополнить в части нарушений условий взаимодействия не только смежных видов транспорта, но и смежных транспортных систем. Например, оказывают влияние железнодорожные транспортные системы иностранных государств, и в первую очередь с иной шириной колеи. На рисунке 26 приведена отражающая влияние иностранных железных дорог классификация.

Классификация вагонных парков на станциях по технологическим признакам

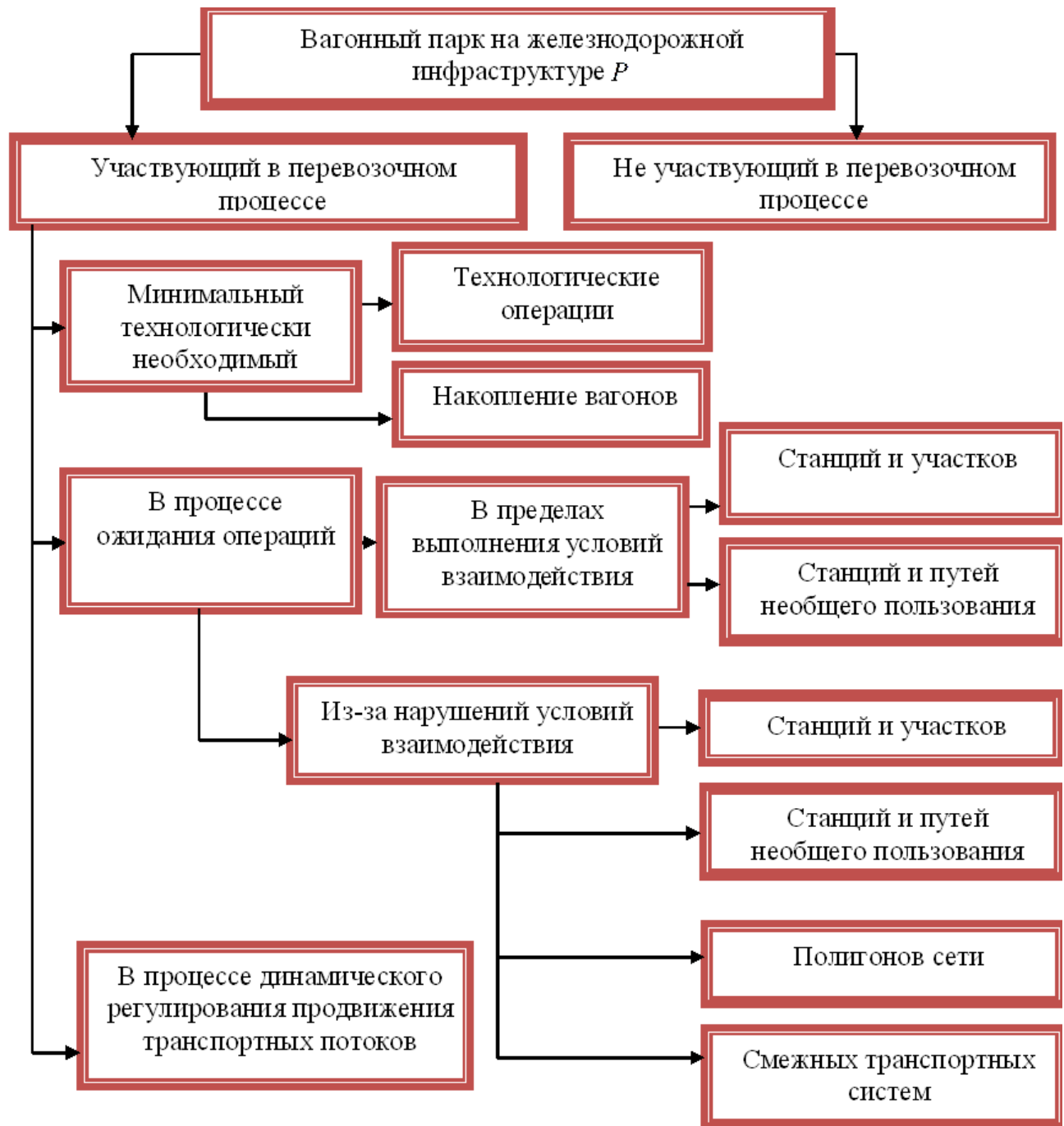


Рисунок 26

Процессы взаимодействия станций с участками достаточно изучены в теории эксплуатационной работы железнодорожного транспорта. Процессы же взаимодействия с железнодорожными путями необщего пользования малоизучены, не доведены до синтеза методических решений, пригодных для инженерной практики. То же самое можно сказать и о процессах взаимодействия полигонов железнодорожной сети между собой и со смежными транспортными системами.

Вагонный парк, находящийся в процессе динамического регулирования транспортных потоков, – это вагоны, принудительно задерживаемые для достижения определенных целей – как внутренних, так и внешних. Например, предотвращение более длительных задержек на впередилежащих полигонах (внутренняя цель), или обеспечение согласованных ритмов подвода грузопотоков к пунктам потребления или перевалки (внешняя цель).

5.3.3. Порядок оценки возможностей отстоя частных вагонов на станциях

Технологическую возможность отстоя на железнодорожных путях общего пользования порожних вагонов следует определять расчётом резерва вместимости. Принципиальная схема определения технических и технологических возможностей станций сети по размещению вагонного парка, не задействованного в перевозочном процессе, представлена на рисунке 27.

Принципиальная схема определения технических и технологических возможностей станций сети по размещению вагонного парка, не задействованного в перевозочном процессе

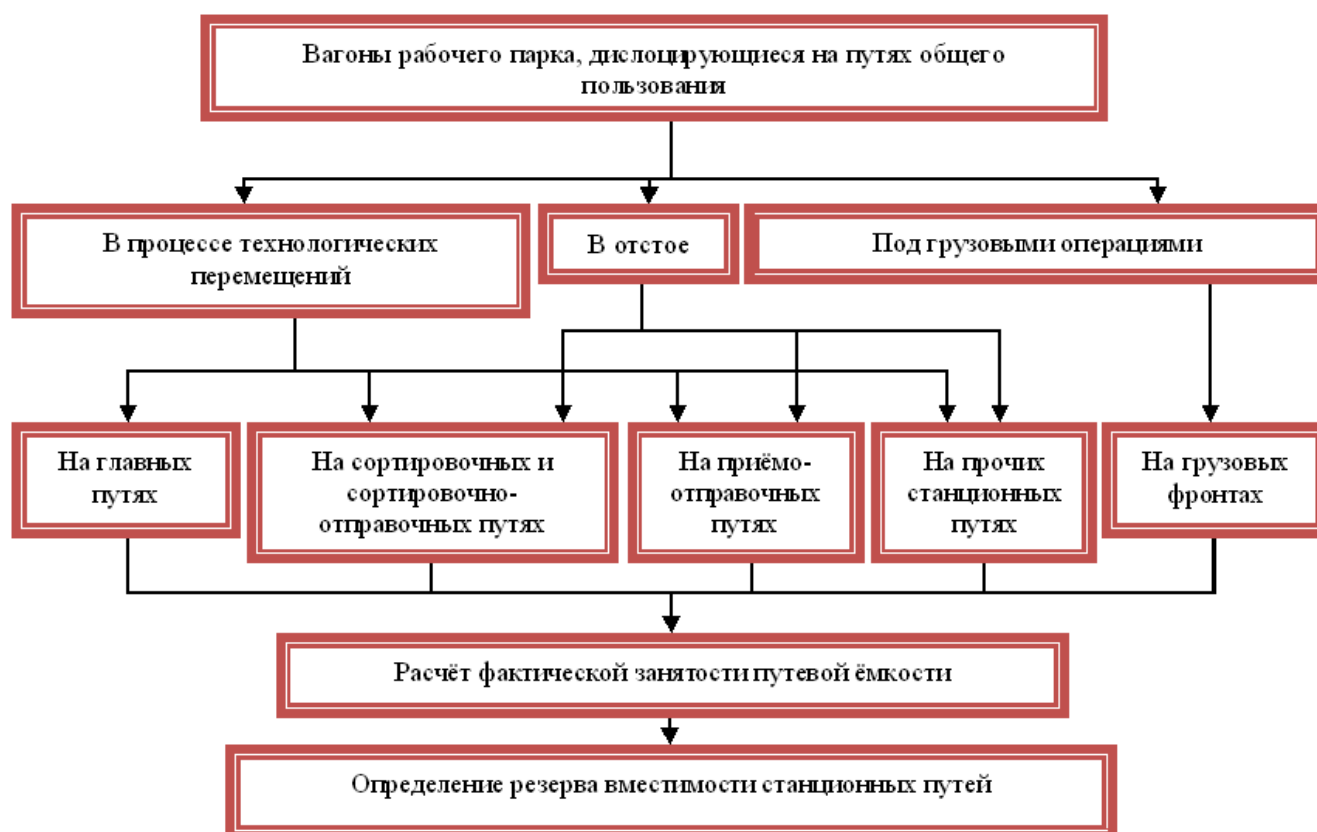


Рисунок 27

Вагоны рабочего парка, оказавшиеся в момент оценки вне учёта, находящиеся на железнодорожных путях и станциях необщего пользования, не оказывают существенно-

го влияния на точность оценки. Применив принцип суперпозиции, очевидно, что через любой временной интервал число вагонов, переданных на пути необщего пользования, будет приблизительно равно числу проследовавших в обратном направлении. И это тем более справедливо при расширении оцениваемого полигона, как следствие закона больших чисел (теорема Чебышева из теории вероятностей) [170, 194]. Далее определяется резерв вместимости станционных путей и делается заключение о возможности принятия груза к перевозке.

На период действия плана формирования грузовых поездов следует определять для сети перечни станций:

- рекомендуемых для заключения договоров с операторами подвижного состава на отстой порожних вагонов;
- с ограничениями пропускной и перерабатывающей способностей, на которых длительный отстой порожнего железнодорожного подвижного состава не допускается.

Основой для составления указанных перечней должны являться нормативы вагонных парков, определяемые для всех станций сети. Отстой порожних вагонов ограничивает пропускную и перерабатывающую способность станций:

- обслуживающих морские и речные порты;
- сортировочных;
- участковых и грузовых, расположенных на направлениях сети, имеющих ограничения пропускной способности;
- перегрузочных пограничных;
- грузовых, обслуживающих железнодорожные пути необщего пользования, при выгрузке более 300 вагонов/сутки;
- промежуточных, расположенных на подходах к загруженным сортировочным, участковым и грузовым станциям, а также морским и речным портам.

Для станций с ограничениями перерабатывающей способности следует применять прогрессивные ставки договорных сборов за отстой вагонов, увеличивающиеся в зависимости от его продолжительности. При этом следует их уровень сделать двухкритериальным:

$$e_{насыщ} = F(k_{насыщ}, t_{отст}), \quad (59)$$

где: $k_{насыщ}$ – коэффициент насыщения вместимости станции;

$t_{отст}$ – время нахождения в отстоя, сут.

Для станций с высоким уровнем загрузки, он должен играть функцию запретительного тарифа, что приведёт к «выдавливанию» избыточных парков из районов с ограничениями пропускных способностей. Коэффициент насыщения вместимости станции определяется по запросу как отношение среднесуточного вагонного парка станции (N_{cp}), рассчитанного за последний отчётный месяц к нормативному вагонному парку ($N_{норм}$):

$$k_{насыщ} = \frac{N_{cp}}{N_{норм}}. \quad (60)$$

Перечень таких станций может изменяться в зависимости от факторов, влияющих на пропускную и перерабатывающую способность железнодорожных станций, но не чаще двух раз в год.

Порядок размещения избыточного вагонного парка, не участвующего в перевозочном процессе, на полигонах железных дорог должен обеспечивать минимальные потери в организации поездной работы и использовании локомотивного парка. На полигонах, где постоянно или периодически возникают затруднения по причине избыточного накопления вагонного парка, следует предусматривать рациональную последовательность занятия станций, парков и путей составами из порожних вагонов.

Указанная последовательность должна предусматривать следующий порядок размещения таких составов:

- в первую очередь – на специализированных станциях («станциях-отелях») – базах отстоя и подготовки вагонов под погрузку;
- во вторую очередь – на грузовых станциях предстоящей погрузки при наличии резерва ёмкости путей и максимально приближенных к ним;
- в третью очередь – на сортировочных и участковых станциях (при наличии резерва ёмкости путей);
- в четвертую очередь – на промежуточных станциях участков.

Выбор промежуточных станций для отстоя частных вагонов на участках осуществляется, исходя из недопущения дополнительных затрат, связанных с потерей «ниток» графика, привлечением дополнительных локомотивов и локомотивных бригад. При

этом не следует занимать для отстоя вагонов приёмо-отправочные пути на промежуточных станциях, примыкающих к ограничивающим перегонам.

Операторы подвижного состава должны заключать с перевозчиком договор о порядке и условиях нахождения вагонов на железнодорожных путях общего пользования. В нём должны быть оговорены станции отстоя вагонов, порядок и условия их перемещения на станции, а также со станций, по решению операторов. При этом может предусматриваться порядок передачи запросов оператора перевозчику на передислокацию и размещение порожних вагонов, не участвующих в перевозочном процессе, на определенную станцию, железнодорожный узел или полигон в границах определенного региона железной дороги.

5.3.4. Рациональное соотношение между развитием станций и парками грузовых вагонов на перспективу

В соответствии с Генеральной схемой развития железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» рассчитаны потребный парк грузовых вагонов российской принадлежности на 2015 г. и его распределение на месяц максимальных грузовых перевозок:

- в поездах на участках – 22,6%;
- на станциях выполнения грузовых и технических операций – 37,2%;
- на станциях в отстое и неисправных вагонов – 5,4%;
- на железнодорожных путях необщего пользования – 34,8%.

В целом по сети на 2015 г. для обеспечения беспрепятственного приема поездов станциями необходимо увеличить потребную вместимость станционных путей на 111 512 вагонов, в том числе на дорогах европейской части сети – на 37 075 вагонов, Урала и Западной Сибири – на 34 501 вагон, Востока – на 39 935 вагонов. При этом необходимое увеличение полной длины станционных путей составляет 2 030 км, в том числе на дорогах европейской части сети – 675, Урала и Западной Сибири – 628 и Востока – 727 км [101]. Это минимально необходимое наращивание станционного путевого развития для обеспечения необходимой маневренности полигонов сети.

Министерству транспорта необходимо взять под контроль рост парка вагонов. Остановить их производство невозможно, да и вряд ли целесообразно. Однако, процессом запрета на эксплуатацию вагонов, выработавших установленный срок можно добиться баланса списания и ввода новых вагонов. Программа утилизации старых вагонов, по-

зволит снизить затраты для приобретения новых. А самое главное, при этом появляется регулятор, завершается стихийный рост парка вагонов.

5.4. Формирование требований к уровню провозной способности ключевых сегментов сети железных дорог России

Организация перевозочного процесса в настоящее время базируется на плане формирования поездов, графике движения поездов, корпоративных стандартах, технических нормах эксплуатационной работы, технологических процессах работы станций, технологии местной работы, приказах, распоряжениях и инструктивных указаниях по реализации перевозочного процесса, которые, как правило, разрабатываются на год и более длительный период.

ОАО «РЖД» рассмотрен и поддержан стратегический проект разработки новой технологии эксплуатационной деятельности, где основное внимание уделено переходу на движение грузовых поездов по расписанию [195]. Данное направление совершенствования технологии перевозочного процесса – важнейший фактор стабилизации эксплуатационной работы производственного блока и повышения качества транспортного обслуживания, обеспечивающий достижение целевых экономических параметров.

Основным технологическим документом, объединяющим и согласовывающим работу всех производственных подразделений железнодорожного транспорта, является график движения поездов, разрабатываемый с учётом оптимальной организации вагонопотоков, нацеленной на повышение производительности подвижного состава и полного удовлетворения спроса на перевозки.

Оптимизация вагонопотока каждым участником перевозочного процесса понимается по-разному. Критерий оптимизации выражается для всех через одинаковый итоговый показатель «прибыль своей бизнес-структуры», но в своём натуральном выражении он имеет существенные отличия. ОАО «РЖД», как владелец инфраструктуры и общесетевой публичный перевозчик, заинтересован в наилучшем использовании объектов инфраструктуры и тягового подвижного состава. Компания-оператор заинтересована в повышении производительности или ускорении оборота имеющихся грузовых вагонов. Грузовладельцы, как правило, стремятся отправить и получить груз своевременно, в целости и сохранности, по минимальной цене за транспортировку.

На основании графика движения поездов распределяются ресурсы пропускной и перерабатывающей способности инфраструктуры, составляются графики оборота локомотивов и расписания работы локомотивных бригад, расписания пассажирских и пригородных поездов.

Традиционное планирование платёжеспособного спроса на грузовые перевозки с детализацией корреспонденции сбытовым блоком, опирающимся только на имеющиеся заявки и контракты, не позволяет заблаговременно предоставить организаторам перевозочного процесса информацию, необходимую для планирования оптимального осуществления грузовых перевозок по расписанию. Организаторы перевозочного процесса при реализации грузовых перевозок вынуждены все время «догонять и подстраиваться» под возникающую эксплуатационную ситуацию. Очевидно, что эту задачу надо решать, действуя на опережение.

На основе результатов маркетинговых исследований и ретроспективного анализа необходимо установить потенциальный платёжеспособный спрос. Затем нужно заблаговременно объявить всем грузоотправителям на равных условиях набор транспортных услуг в форме расписаний обращения грузовых поездов разных категорий и с разными сервисными условиями. Для этого существует информационная база с разбиением по отправкам, клиентам, периодичности, объёмам отправки, требованиям к режиму продвижения.

Имеются теоретические наработки и опыт практической реализации обращения грузовых поездов «по расписанию» в различные периоды отечественной истории развития железнодорожного транспорта [196, 197, 198]. Обычно эти работы нацелены на выделение в графике «ядра» грузовых поездов, которые могут быть переведены на управление «по расписанию».

Работа с «ядром» грузовых поездов, следующих «по расписанию», реализуется на ряде российских железных дорог. На втором этапе предполагается разработать и реализовать технологию работы по расписанию всех поездов на выделенных опытных полигонах. После отработки новой технологии и учёта основных технических, технологических и внешних рисков при её реализации, все поезда на сети будут обращаться по графику с адаптивным расписанием. Для этого должен измениться и подход к предложению доступа к инфраструктуре железнодорожных линий с учетом её наличной и потребной пропускной способности. Дирекции управления движением и тяги, филиалы

ОАО «РЖД» после сопоставления данных о наличной и потребной пропускной способности объектов инфраструктуры на направлениях через ЦФТО предложат пользователям услуг железнодорожной инфраструктуры сервисную пропускную способность, превышающую потребную и обеспеченную локомотивной тягой и ёмкостью станционных путей в виде «ниток графика» или «расписания».

В таком графике предусматриваются «ядро ниток графика», утверждаемое на год или иной длительный период, и «сезонные нитки, или нитки на более короткий период», которые гарантированно обеспечиваются локомотивами и локомотивными бригадами.

Кроме того, остаётся возможность (если есть резерв между наличной и потребной пропускной способностью, используемый на содержание транспортной инфраструктуры в исправном состоянии и её модернизацию) прокладывать «фазовые нитки следования поезда» по заказам клиентов. Такая ситуация может появляться при появлении новых, не предусмотренных маршрутов следования, или при спонтанном росте объёмов перевозок на существующих маршрутах.

Устойчивость обращения грузовых поездов по расписанию будет обеспечивать заданный на месяц жёсткий график оборота локомотивов, основанный на реальных поездопотоках, но адаптируемый с учётом сбоев и технических (технологических) отказов. Это возможно только в случае достаточного эксплуатационного резерва пропускных, провозных и перерабатывающих способностей объектов инфраструктуры на сети, величина и форма которого в новых условиях требует дополнительных исследований.

В результате внедрения этой технологии перевозчик получит возможность продавать доступ к железнодорожной инфраструктуре в форме вагоно-мест в грузовом поезде, следующем по расписанию (по «нитке графика»). Все пользователи могут приобрести «вагоно-места» в грузовом поезде, следующем по расписанию, на равных правах (аналогично пассажиру, покупающему билет в пассажирский поезд по принципу «первым пришел – первым купил»). При этом владельцы долгосрочных контрактов, осуществляющие перевозки маршрутными отправлениями, могут приобретать все «вагоно-места» в нужных им поездах, покупая, по существу, «нитки графика» на весь период действия контракта.

При отсутствии груза на «купленную нитку графика» («вагоно-место») или высокой вероятности опоздания доставки вагонов для прицепки отправители должны заблаговременно предупредить об этом перевозчика, чтобы забронированные «вагоно-места»

оказались доступными для других отправителей. При этом обязательно должно быть правовое запрещение на перепродажу «ниток графика» и «вагоно-мест», чтобы исключить возможность спекуляций на дефиците пропускной способности инфраструктуры железных дорог. Эти важные вопросы требуют серьёзной проработки в правовом и финансовом поле, в том числе с учётом опыта зарубежных компаний.

В период спада перевозок в конце 1990-х была существенно снижена пропускная и провозная способность основных направлений. Беспрецедентный рост погрузки в порты Дальнего Востока, на Восточный полигон, включая БАМ, требует укрепления инфраструктуры. А с учётом неизбежных колебаний рынка и направлений грузовых перевозок потребуется увеличение пропускной способности сети и на Урале, Северо-Западе и Юге РФ. Также понадобятся новые подходы к развитию и размещению сортировочных станций. Это связано с дополнительным спросом на ёмкость станционных путей при формировании маршрутов и выделенных направлений из порожних вагонов разных собственников.

Выводы по пятой главе

1. Рационализация соотношения ёмкости путей станций и вагонных парков позволяет избежать избыточных инвестиций в путевую инфраструктуру.

2. Система контроля за уровнем вагонных парков должна обеспечивать наличие резерва пропускной способности для каждого элемента сети железных дорог: станций, участков, полигонов. Особенно важно это для решающих направлений – путей следования экспортных грузов.

3. В условиях работы полностью приватного вагонного парка возрастают требования к качеству организации эксплуатационной работы на всех уровнях – от грузового фронта, до полигонов, и даже всей сети в целом.

4. При приёме заявки на перевозку грузов должна производиться технологическая оценка возможности осуществления перевозки и доступа к инфраструктуре.

5. Отсутствует нормативная база, определяющая порядок подачи порожних вагонов в районы массовой погрузки, и процедуры вывода порожних вагонов из мест массовой выгрузки.

6. Отсутствует система контроля со стороны Министерства транспорта РФ за вводом в эксплуатацию новых вагонов, продлением срока службы и возможностями сети по вместимости.

7. Полная приватизация вагонных парков и рыночно-сырьевой характер развития экономики страны оказывают негативное влияние на уровень использования провозных способностей железных дорог.

8. Переход на технологию работы с «ядром» грузовых поездов, следующих «по расписанию», требует дополнительных резервов пропускных способностей, а при их отсутствии изменения подходов к управлению пропуском поездов по полигонам с предельным использованием пропускных способностей.

6. УВЕЛИЧЕНИЕ ВМЕСТИМОСТИ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПУТЁМ СОЗДАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫХ КЛАССОВ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

6.1. Общие положения

На протяжении длительного периода времени сеть железных дорог развивалась в условиях обращения общего парка инвентарных грузовых вагонов. Интенсификация производственных процессов позволяла железнодорожному транспорту выполнять главную задачу – обеспечивать удовлетворение потребностей экономики и населения страны в перевозках грузов, багажа и пассажиров. При этом значительную экономию государственных средств получали за счёт недостаточного развития сети железных дорог. Основной дефицит путевой ёмкости касается, прежде всего, станций зарождения вагонопотоков.

Традиционно, задачу усиления мощности путевого развития в местах зарождения вагонопотоков перекладывали на плечи грузовладельцев. Такой подход принуждал крупных отправителей и получателей грузов интегрировать железнодорожную составляющую в процесс производства, что позволило создавать относительно недорогие высокоэффективные системы промышленного железнодорожного транспорта. Однако, путевой ёмкости для длительного отстоя порожнего подвижного состава на сети никогда не создавалось. При создании операторских компаний, приписки вагонного парка зачастую осуществлялась формально, т.е. без проверки вместимости путевого развития станции приписки. Если же проверка выполнялась, то, зачастую, завышались параметры ёмкости за счёт неправомерного принятия к учёту подъездных путей. При приобретении грузовых вагонов в лизинг, вагон зачастую вообще не приписывается ни к какой станции. Для лизингополучателя он не является собственностью, а лизинговая компания ориентируется на финансирование сделки и получение лизинговых платежей, оставляя вопросы эксплуатации на приобретателя вагонов. В итоге, при разрыве лизинговых контрактов возникает «патовая» ситуация: вагоны есть, но работы для них, как и места для отстоя, на сети нет.

Общемировые тенденции развития транспортного рынка требуют создания транспортных технологий с участием нескольких видов транспорта. Например, довести контейнер до дверей склада получателя груза, как правило, невозможно без участия авто-

мобильного транспорта. Современные технологии контейнерных перевозок не могут получить должного развития без создания терминальной сети. Поэтому можно констатировать, что на сети практически отсутствуют транспортно-логистические комплексы. Уровень технического оснащения большинства контейнерных терминалов не соответствует требованиям транспортного рынка, не позволяя формировать прямые контейнерные поезда.

Таким образом, реалии современного этапа развития железнодорожного транспорта требуют создания принципиально новых классов объектов транспортной инфраструктуры: специализированных станций для длительного отстоя вагонов и терминальных комплексов.

6.2. Станции-отели

Создание специализированных для массового отстоя и подготовки вагонов станций (станций-отелей) – основной путь повышения качества эксплуатационной работы полигонов в условиях обращения избыточного парка и ограничений пропускной способности. Между тем, «Схема размещения и развития сортировочных станций ОАО «РЖД» до 2015 года» не предусматривает наращивания мощности сортировочных систем специализированных для работы с порожними приватными вагонами [199].

Формирование концепции размещения на сети станций, специализированных для отстоя вагонов [200], должно осуществляться с применением методов системного анализа и общей теории систем [151, 152]. Анализ оперативных ситуаций эксплуатационной работы, полемика учёных и специалистов-практиков на страницах научных журналов и отраслевых изданий позволяет сделать вывод о возникновении избытков вагонов 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. В то же время, вагон совершил к моменту появления в регионе погрузки, какую-то часть порожнего рейса, т.е. транспортная система выполнила работу по его перемещению. Возникает вопрос – полезная ли эта работа? К сожалению, положительный ответ получается далеко не всегда. Поэтому, с позиций логистики, правильней будет не «выталкивать» вагон из выгрузочного региона, а отставить его на «станцию-отель». Это реализация одно-

го из базовых правил логистики: «груз – нужный товар». Поскольку в качестве груза выступает порожний вагон, то правило можно интерпретировать как: «порожний рейс выполняется вагоном, подвязанным 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.

При размещении станций для отстоя вагонов 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 внешне-торговых 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 решается, а переносится на другой, тоже, как правило, перегруженный участок сети.

Концепция выбора оптимальных площадок для размещения «станций-отелей» предусматривает следующую систему приоритетов:

- 1) в непосредственной близости от пунктов массовой выгрузки:
 - вблизи портов (с примыканием к ближайшей по ходу от порта технической станции, либо станции ответвления железнодорожной линии);
 - вблизи пограничных, в первую очередь, перегрузочных станций (с примыканием к ближайшей по ходу от неё технической станции, либо станции ответвления железнодорожной линии);
 - вблизи от пунктов стыка железных дорог разной ширины колеи;
- 2) рядом с сортировочными станциями (при условии наличия достаточного резерва их перерабатывающей способности), расположенными на маршрутах следования мощных струй порожних вагонопотоков;

- 3) в районах тяготения входных технических станций регионов массовой погрузки (при наличии резервов перерабатывающей способности);
- 4) на малодеятельных линиях, вблизи станций примыкания к магистралям с высоким уровнем загрузки их перевозочных мощностей;
- 5) на территории, прилегающей к путям необщего пользования для собственных вагонов для его владельца.

Инвестором в создание станций-отелей должен стать частный капитал. Заинтересованность в создании такого типа станций испытывают владельцы и производители вагонов, лизинговые компании, операторы подвижного состава.

Принятие решения о создании «станции-отеля» должно подкрепляться технико-экономическим обоснованием. Компоновка станции, схема её путевого развития, оснащение постоянными устройствами зависит от набора технических и сервисных операций, выполняемых на станции. Органично вписываются в их инфраструктуру вагонные депо, пункты подготовки и промывки вагонов. Сортировочные устройства должны обеспечивать не только вычленение из общего вагонопотока подвижного состава одного владельца, но и подборку по родам, типам, категориям пригодности под погрузку и т.д.

Компоновка станций, специализированных для отстоя вагонов, должна обеспечивать выполнение комплекса технологических операций: приём, сортировку, отправление, технический осмотр, все виды технического обслуживания и ремонта [201]. Схема станции должна включать в себя парки приёма, сортировки и отправления, сортировочные устройства, внепарковые пути (рисунок 28). 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 существенно ограничено, вследствие необходимости организации второй точки примыкания к сети федеральных железных дорог. Как правило, при этом требуется примыкание к перегону, что законодательно ограничено. Серьёзно сужает возможности проектирования и продольный профиль площадки, существенный объём земляных работ приводит к росту капитальных вложений и, соответственно, к снижению экономических показателей, а в конечном итоге и коммерческой привлекательности проекта.

Расчёт мощности путевого развития такого рода станций 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.

Пример компоновки станции-отеля

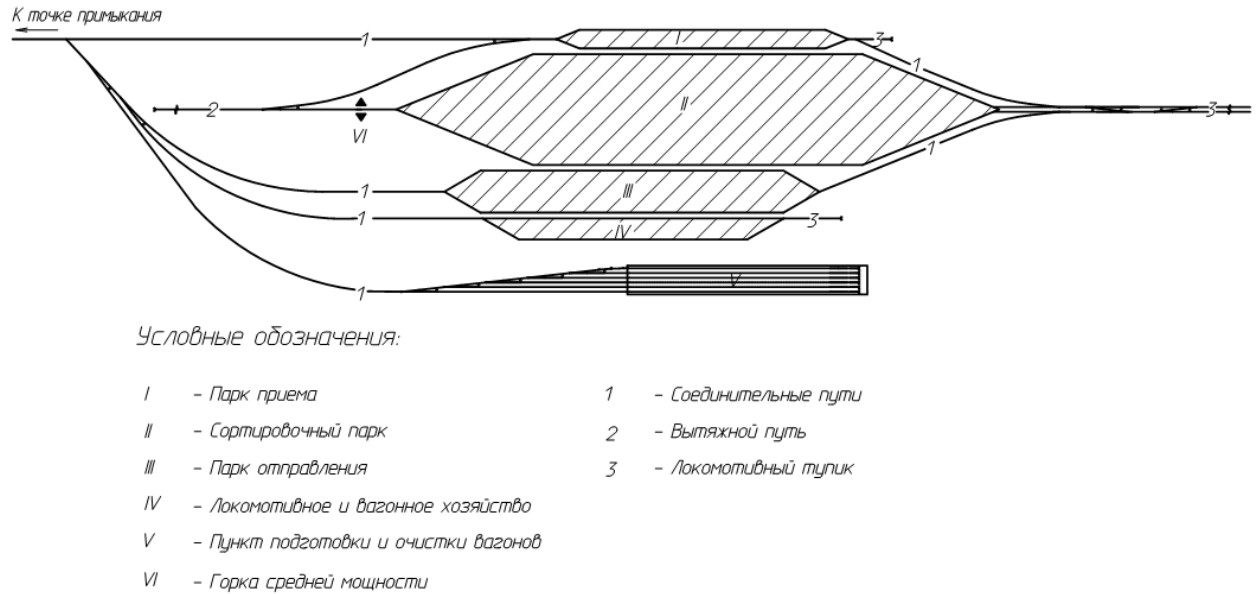


Рисунок 28

Потребное число путей в парке приёма может быть определено исходя из суммарного времени занятия путей парка прибывающими поездами:

$$n_{nn} = \frac{\sum Nt}{1440 - t_{mex}} + n_{ход} + n_{дон}, \quad (61)$$

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);

$n_{дон}$ – 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. Если установленное время занятия пути $t=40$ мин, а минимальное технологическое время между передачами поездов $\Delta t_{пер}=20$ мин, то один дополнительный путь с надёжностью близкой к единице, обеспечивает бесперебойное взаимодействие двух смежных систем (станций): примыкания и «отеля».

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.). Значит и мощность путей подгорочного парка должна быть значительной. С другой стороны, как использовать эти мощности, при падении входящего потока? 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. Подразумевается 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:

$$n_{но} = \frac{\sum N(t_{осм} + t_{омсм})}{1440 - t_{мехн}} + n_{ход}; \quad (62)$$

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

$t_{отст}$ — 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).

Избыточный вагонный парк, не участвующий в перевозочном процессе, на полигонах железных дорог должен дислоцироваться таким образом, чтобы обеспечивать минимальные потери в организации поездной работы и использовании локомотивного парка.

На полигонах, где постоянно или периодически возникают затруднения по причине избыточного накопления вагонного парка, следует предусматривать рациональную последовательность занятия станций, парков и путей составами из порожних вагонов, которая должна предусматривать следующий порядок размещения таких составов:

- в первую очередь — на специализированных станциях («станциях-отелях») — базах отстоя, ремонта, технического обслуживания и подготовки вагонов под погрузку;
- во вторую очередь — на грузовых станциях предстоящей погрузки при наличии резерва ёмкости путей и максимально приближенных к ним;
- в третью очередь — на сортировочных и участковых станциях (при наличии резерва ёмкости путей);
- в четвертую очередь — на промежуточных станциях участков.

Выбор промежуточных станций для отстоя частных вагонов на участках осуществляется, исходя из недопущения дополнительных затрат, связанных с потерей «ниток» графика, привлечением дополнительных локомотивов и локомотивных бригад. При этом не следует занимать для отстоя вагонов приёмо-отправочные пути на промежуточных станциях, примыкающих к ограничивающим перегонам.

С каждым оператором подвижного состава должен заключаться договор о порядке и условиях нахождения вагонов на железнодорожных путях общего пользования, которым устанавливаются станции отстоя вагонов для операторов, порядок и условия их перемещения по решению операторов. При этом в договоре может предусматриваться порядок запросов оператора перевозчику на передислокацию и размещение порожних ва-

гонов в адрес определенных станций, железнодорожных узлов или полигонов в границах определенного региона железной дороги.

Эксплуатация инфраструктуры станции-отеля позволяет осуществлять ряд услуг. К основным направлениям деятельности станции-отеля следует отнести:

- организация паркинга (отстоя) порожних вагонов;
- технический осмотр;
- сортировка, консолидация вагонов по станциям назначения, формирование вагонных маршрутов;
- приёмка-передача вагонов между перевозчиком и станцией-отелем, включая оформление документов;
- очистка вагонов;
- текущий, деповской и капитальный ремонт вагонов;
- агентирование, экспедиторские услуги;
- создание электронной биржи контрактов на использование свободных вагонов.

Предлагается создать частную железнодорожную станцию-отель Харанор-2, на площадке непосредственно примыкающей к станции Харанор Забайкальской железной дороги, расположенной в 75 км от пограничной станции Забайкальск, на которой происходит зарождение массовых потоков порожних вагонов. Потенциальными клиентами станции-отеля будут частные операторы железнодорожного подвижного состава. При этом основной акцент в привлечении клиентской базы будет сделан на 15 компаний, постоянно работающих по перевозке грузов по Южному ходу Забайкальской железной дороги, а также 10-15 операторов, выполняющих периодические перевозки в районе станции Харанор-2 [202].

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 определенным узлам и полигонам сети. Формирующийся в стране рынок железнодорожных перевозок требует приведения в соответствие с реалиями параметров путевого развития сети. Это не простой путь и пройти его, опираясь только на традиционные подходы в организации эксплуатационной работы невозможно.

6.3. Развитие терминальных комплексов

Развитие современных технологий перевозок требует значительного усиления мощности существующих и создания принципиально новых типов терминальных комплексов. Важной особенностью логистики является тенденция к национальной и международной кооперации – формированию эффективных транспортных цепочек и сетей в целях оптимизации грузоперевозок и дистрибуции. Однако, для этого необходимо создание единой логистической системы в стране. Пока же этот процесс проходит неуправляемо, стихийно.

Важность развития системы логистических комплексов для экономики страны оценена на уровне государства, в частности Минтрансом [5].

Государственные структуры располагают рычагами для оказания административной помощи при открытии новых центров. Например, это происходит при строительстве объектов федерального значения в регионах, кроме того, немаловажную роль играет и финансовая поддержка из бюджета.

Строительство крупных логистических центров часто осуществляется в рамках государственно-частного партнерства. Разработаны и реализуются государственные программы, направленные на развитие именно логистической сферы.

6.3.1. Создание сети транспортно-логистических центров

Общее количество транспортно-логистических комплексов, которое создано в стране превышает 70. Их суммарная проектная мощность – 100 млн. т грузов в год. Мощность каждого комплекса составляет от 0,4 до 2,5 млн. т в год.

К наиболее крупным интермодальным транспортным узлам с полной инфраструктурой, обеспечивающей связь логистических цепей международных поставок товаров можно отнести:

1. Создание «большого логистического кольца» в Московской области в привязке к Центральной кольцевой дороге (на условиях государственно-частного партнерства).
2. Развитие транспортно-коммуникационной системы Санкт-Петербурга и области.
3. Развитие Красноярского грузового хаба.

В зоне развития Санкт-Петербургского узла принята стратегия создания транспортно-логистического комплекса, соответствующего международным требованиям и стандартам: карго центр Пулково, промышленно портовые зоны и нежилые зоны транспортных магистралей, таких как «Территория пробивки Измайловского проспекта», «Парнас», «Северо-Западная», «Чернореченская», «Шушары», «Ручьи», «Белоостровская», «Полюстрово», «Ржевка», «Нева», «Предпортовая», «Юго-Западная», «Горелово», «Стрельнинская», «Мартышкино».

Вкупе с созданием международных интермодальных транспортных развязок предполагается обеспечение современного и оперативного таможенного оформления в совокупности с остальными логистическими услугами. Особый акцент делается на создание со смещением их в приграничные зоны [203].

Потребность в услугах филиальных сетей логистических центров вызвана острой конкуренцией между различными цепями поставок, каждая из которых стремится к минимизации совокупных издержек.

Для повышения конкурентоспособности отдельных цепочек поставок предполагается что:

- пункт перевалки рассматривается не как стык, а как транспортный узел;
- взаимодействие транспортных организаций эффективно и незаметно для грузовладельца.

Для реализации этих идей требуется создание в пунктах перевалки мультимодальных логистических центров, задачи и сферы деятельности которых значительно отличаются в зависимости от специфики региона. Например, в работе [204] разработан вариант создания логистического центра по переработке скоропортящихся грузов на ст. Забайкальск Забайкальской ж.д. с использованием транспортно-складского комплекса базы Дорожного центра рабочего снабжения.

6.3.2. Развитие сети терминалов по обслуживанию крупнотоннажных контейнеров

Контейнерная технология, несмотря на имеющиеся у неё серьёзные недостатки, к которым, прежде всего, следует отнести значительную долю массы тары в процессе транспортировки, является в настоящее время высокорентабельным сегментом транспортного рынка. Это связано с завершением в целом создания мировой контейнерной

системы. Уровень тарифов во всём мире включают существенную инфраструктурную составляющую, назначение которой – окупаемость инвестиций в парк контейнеров и терминальных комплексов. При анализе контейнерной инфраструктуры, создаваемой на железнодорожном транспорте в нашей стране с середины 50-х гг. по настоящее время, следует констатировать её недостаточность, как по мощности, так и по наличию современных терминалов, специализированных для работы с крупнотоннажными контейнерами.

Если принять в качестве основополагающего фактора возможность формирования-расформирования контейнерных поездов, то из 46 терминалов ОАО «ТрансКонтейнер», самого крупного оператора контейнерных перевозок на Российских железных дорогах такая возможность есть только на одном – в Забайкальске [205]. На остальных, даже самых мощных, эта операция выполняется посредством накопления погруженных вагонов на станционных путях.

6.3.3. Обоснование реконструкции контейнерных терминалов

Необходимость модернизации контейнерных терминалов вызвана объективной необходимостью: развитием транспортных технологий на принципах логистики. В то же время, при проведении реконструкции требуются значительные капитальные вложения, т.к. большинство терминалов сети имеют крайне 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 вообще отсутствуют. Выделение контейнерного бизнеса в отдельную структуру, серьёзно усложнило процедуру проведения реконструкционных мероприятий: нет процедур передачи земельных участков в собственность дочерних компаний, в совместном пользовании находятся инженерные сети и т.д.

Для повышения конкурентоспособности компаний, привлекательности предлагаемых услуг и технологий транспортировки, необходимо развитие терминалов по переработке крупнотоннажных контейнеров. Основным направлением формирования базы окупаемости проектов реконструкции является достоверный прогноз объёмов переработки терминала. Повышение доходной базы возможно не только за счёт увеличения контейнеропотока, но также и за счёт привлечения дополнительного грузопотока с соз-

данием складов временного хранения (СВХ). Такое решение позволяет обрабатывать не только контейнеры, но и грузы, перевозимые в вагонах, а также создаёт предпосылки для привлечения грузов, перевозимых автотранспортом, для их контейнеризации с последующей погрузкой в железнодорожные вагоны и отправления на сеть в составе формируемых на терминале контейнерных поездов.

Решение о модернизации контейнерного терминала должно приниматься только на основе технико-экономического обоснования. При его разработке проводится анализ предпосылок к проведению комплексной реконструкции. Рассматриваются все факторы, прямо, либо опосредованно, приводящие к росту контейнеропотока, планируемого к переработке. Изучаются риски, которые могут привести к снижению темпов роста контейнеропотока. Делается их вероятностная оценка. Исследуются возможные альтернативные направления использования мощностей терминала. Устанавливаются требования к предельным срокам окупаемости проекта. Выполняется предварительная оценка возможности поэтапного проведения реконструкции. Изучаются ограничения пропускных, перерабатывающих и провозных способностей на подходах к терминалу. Дается оценка благоприятности или враждебности внешних условий для реализации проекта, включая моделирование поведения компаний-конкурентов.

Выполняется анализ темпов роста объёмов переработки контейнеров, в т.ч. прогноз их изменения в ближайшей перспективе. Изучаются возможности дополнительного привлечения контейнеропригодных грузов. Проводится маркетинговое обследование этого рынка. Выполняется предварительная оценка затрат на создание благоприятных условий для привлечения клиентов, а также вероятностная оценка прироста потока контейнеров, предполагаемых к переработке на терминале.

При расчёте затрат на проведение модернизации терминалов следует отдельно выделять затраты на замену устаревших механизмов и приобретение новой техники.

Рассматриваются пути повышения доходной базы после проведения комплексной реконструкции. Формируются технологические требования к терминально-складскому комплексу.

6.3.4. Создание сети терминалов для организации контрейлерных перевозок

В целях повышения конкурентоспособности перевозок грузов железнодорожным транспортом, получения дополнительных доходов за счет расширения масштабов пере-

возочной деятельности ОАО «РЖД», привлечения на железнодорожный транспорт высокодоходных грузопотоков, повышения эффективности использования объектов имущественного комплекса, привлечение инвестиций в развитие терминально-складского комплекса и модернизацию подвижного состава разработана «Концепция организации контрейлерных перевозок на «Пространстве 1520» [206].

Концепция регулирует технологическое и организационное взаимодействие участников проекта организации регулярных контрейлерных перевозок в пределах «пространства 1520». Она разработана на базе основных положений Транспортной стратегии Российской Федерации, Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ, Концепция создания сети ТЛЦ на территории РФ и др.

Системные решения, разработанные исходя из анализа мирового опыта, конъюнктуры целевого рынка и важнейших тенденций его развития, а также с учётом результатов проведения серии опытных поездок, определяют: полигон курсирования регулярных контрейлерных поездов с соответствующей классификацией маршрутов; типовые перевозочные и терминальные технологии; требования к системе «подвижной состав – терминалы»; подходы к формированию клиентоориентированной тарифной политики; модель взаимодействия участников проекта; перечень основных нормативных документов, требующих корректировки и т.д.

Технологический процесс эксплуатации контрейлерного терминала должен учитывать:

- тенденции интеграции национальной, европейской и азиатских транспортных систем, параметров используемых транспортных средств и тары, применяемых транспортных технологий и возможностей инфраструктуры и т.п.;
- необходимость обеспечения максимальной скорости терминальной обработки, высокого качества услуг, минимизации издержек, обеспечения сохранности груза и т.п.;
- контрейлерное сообщение организуется по принципу следования пассажирских поездов отправительскими или техническими маршрутами на регулярной основе без разрыва состава поезда на транзитных терминалах;
- состав контрейлерного поезда, а также структура объектов соответствующего терминального комплекса должны обеспечивать возможность осуществления сопровождаемых перевозок;

- доля сопровождаемых трейлеров при контрейлерных перевозках составляет 30%, несопровождаемых трейлеров – 70%;
- генеральная схема основных маршрутов контрейлерных перевозок определена с учётом формирования сети транспортно-логистических центров, в которых контрейлерный терминал является частью единого технологического комплекса;
- ОАО «РЖД» утверждены технические требования к контрейлерной платформе;
- длина состава контрейлерного поезда составляет для полигона Российских железных дорог в перспективе – 71 у.в., в сообщении с железными дорогами «пространства 1520» – 57 у.в.;
- подача/уборка состава контрейлерного поезда на терминал осуществляется тепловозной тягой;
- контрейлерные терминалы в зависимости от их расположения в сети подразделяются на транзитные и конечные.

Разработаны типовые схемы для терминалов с длиной грузового фронта 1 050 м и 525 м. Такие схемы позволяют в полной мере реализовать тезис о снижении нагрузки на железнодорожную инфраструктуру общего пользования за счёт переноса работы по поездообразованию на терминальные комплексы.

Выводы по шестой главе

1. Предложено создавать на сети специализированные «станции-отели» для отстоя порожних вагонов в ожидании требования подачи под погрузку.
2. Разработана концепция выбора оптимальных площадок для размещения «станций-отелей», предусматривающая систему приоритетов.
3. Предложены варианты компоновки «станций-отелей» и заложены основы аналитического расчёта их параметров.
4. Дополнены требования к инфраструктуре терминально-складских комплексов различных типов в части оснащения дополнительными путевыми ёмкостями, позволяющими формировать контейнерные поезда.
5. Предложены дополнения метода оценки эффективности инвестиций в создание контейнерных терминалов, объектов транспортно-логистической инфраструктуры.
6. Схемы контрейлерных и контейнерных терминалов должны предусматривать возможность формирования поездов длиной 71 у.в.

7. ВЛИЯНИЕ ЛЕТНИХ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СЕТИ ПРИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПУТИ

7.1. Проблемы, возникающие в организации движения поездов в период проведения летних путевых работ и постановка задач исследования

Период проведения летних путевых работ является самым сложным для эксплуатационной работы дороги. Предоставление «окон», т.е. перерывов в движении поездов по пути, отражается на всех сторонах работы региона, вызывая значительные дополнительные простои поездов (особенно при продолжительности более шести часов), как на технических станциях, так и на участке. Неравномерный подход поездов вызывает сложности в работе технических станций. При сгущении их в период после окончания «окна» возникают простои поездов в ожидании технического осмотра. Появляются затруднения и в обеспечении локомотивами и локомотивными бригадами. Кроме этого, резко возрастают расходы, связанные с работой локомотивных бригад, так как иногда возникает необходимость смены бригады в пути следования по окончании предельно допустимого времени непрерывной работы. Возникают трудности и в местной работе, так как смещается время отправления сборных поездов, вывозных локомотивов, а следовательно, увеличивается простой местного вагона, рабочий парк и другие важные показатели эксплуатационной работы. Короткие «окна» (до шести часов) менее затрудняют эксплуатационную работу дороги, но они не позволяют производительно использовать путевые машины, увеличивается их количество для выполнения плановых объёмов работ, что значительно повышает себестоимость выполнения капитального ремонта пути.

С ростом объёмов перевозок в начале нынешнего века проблемы обострились с новой силой. Работа по приведению технического оснащения дорог к объёмам перевозок, которая проводилась в период спада, в настоящее время вызывает ряд осложнений при проведении летних путевых работ:

- недостаточное путевое развитие промежуточных и участковых станций для стоянок снятых поездов и техники на станциях, ограничивающих место работ;
- недостаточное количество путей с длиной, соответствующей установленной на участке графиком движения;

- большая изношенность локомотивного парка;
- недостаточное количество локомотивных бригад для обеспечения сгущённого подхода поездов;
- перегоны большой протяжённости из-за закрытых в период спада перевозок промежуточных станций.

Всё это приводит к недостатку пропускной способности перегонов в период капитального ремонта пути, а, следовательно, к необходимости выбора мероприятий по её повышению.

В соответствии с этим, очень важно выбрать экономически целесообразные:

- мероприятия, необходимые для повышения пропускной способности перегона;
- продолжительность «окна».

Для выбора экономически целесообразной продолжительности «окна» необходимо комплексно рассмотреть затраты, связанные с выполнением работ по капитальному ремонту пути при различной продолжительности и дополнительные потери в эксплуатационной работе, вызванные их предоставлением. Поэтому требуется на основе типовой технологии установить затраты на выполнение работ по капитальному ремонту пути, в части зависящих от продолжительности «окна» расходов. Для определения затрат, связанных с пропуском поездов необходимо выполнить анализ возникающих дополнительных задержек поездов, установить факторы, влияющие на величину данных задержек и разработать методику определения величины задержек поездов. На величину дополнительных задержек поездов в период «окна» оказывает влияние неравномерность поездопотока, поэтому необходимо изучить внутрисуточную неравномерность движения поездов и оценить степень её влияния. В затраты, связанные с пропуском поездов, включить расходы на повышение пропускной способности перегона на период его капитального ремонта. Необходимо определить условие, при котором целесообразно применять то или иное мероприятие. Для этого нужно изучить характер изменения наличной и потребной пропускных способностей в период проведения капитального ремонта пути.

7.2. Изучение характера задержек поездов в период проведения работ по капитальному ремонту пути

7.2.1. Задержки поездов, вызванные недостатком пропускной способности

7.2.1.1. Построение модели процесса пропуска поездов через ремонтируемый перегон

В конце XX-го, начале XXI-го века в связи с изменением технологии производства работ по капитальному ремонту пути и ростом поездопотоков существенно обострилась проблема, связанная с большими простоями поездов в ожидании пропуска через ремонтируемый перегон. Это вызвано тем, что имеющийся резерв наличной пропускной способности поездоучастков в условиях роста поездопотока при предоставлении «окон» продолжительностью свыше шести часов не позволяет пропускать все поезда по ограничивающему перегону, на котором производятся работы по капитальному ремонту пути. Для решения задачи сокращения простоя поездов необходимо установить закон их изменения. Зная характер зависимости задержек поездов от различных факторов, можно планировать необходимые мероприятия для их снижения.

Для изучения характера задержек поездов предложена следующая модель. Для некоторого полигона сети железных дорог предложен некий план работ капитального ремонта пути. В качестве объекта исследования предложен полигон i -той железной дороги а-А-Б-л, конфигурация которого представлена на рисунке 29. Перегон двухпутный, оборудован односторонней автоблокировкой.

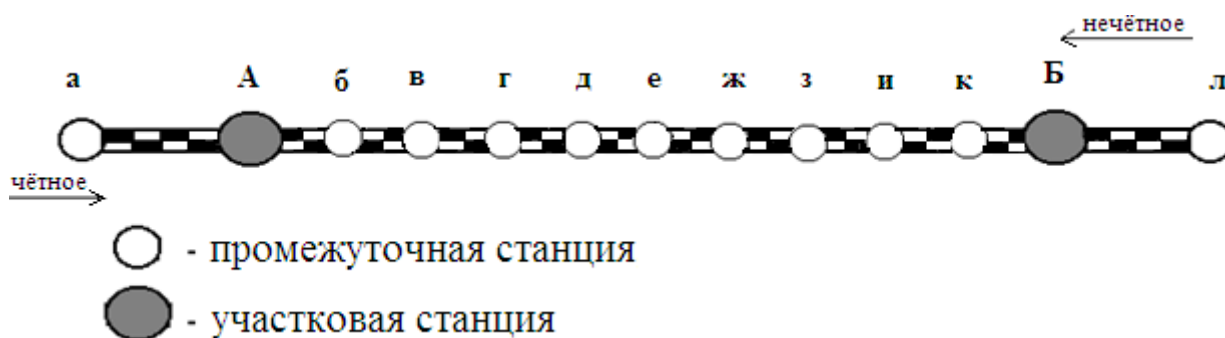


Рисунок 29

В план работ капитального ремонта пути включены перегоны:

- в-г (длина перегона 41,5 км, перегонное время хода грузовых поездов 35 мин);
- е-ж (длина перегона 20 км, перегонное время хода грузовых поездов 26 мин);
- з-и (длина перегона 15 км, перегонное время хода грузовых поездов 19 мин).

Графики движения поездов для выбранного полигона построены для интенсивности движения два поезда/ч (40 грузовых, восемь пассажирских поездов) и три поезда/ч (60 грузовых, 12 пассажирских поездов). При их разработке использовалась прикладная программа «Автоматизированное рабочее место (АРМ) инженера-графиста». Нитки поездов равномерно распределены в течение суток. На основе построенных графиков, принятых за нормативные, были разработаны варианты графики пропуска поездов в «окна» продолжительностью $T = \{6; 12\}$. Рассматривать «окна» продолжительностью менее шести часов нет необходимости, так как возникающие при этом затруднения незначительны и не требуют введения дополнительных мероприятий по усилению пропускной способности. В основном, работы, проводимые во время «окна» по капитальному ремонту пути, выполняются в светлое время суток, а средняя продолжительность светового дня составляет 12 ч, поэтому рассматривать более продолжительные «окна» при сравнении всех этапов применяемой технологии не нужно. В качестве основных мероприятий повышения пропускной способности во время «окна» рассмотрено устройство временных блок-постов. Вариантные графики выполнены при наличии его и без. На перегоне с-д построены графики и с устройством двух блок-постов при различной интенсивности поездопотока. Для упрощения модели принято, что время хода по перегонам чётных и нечётных поездов одинаково. Варианты отличаются интенсивностью поездопотока, перегонным временем хода грузовых поездов, количеством временных блок-постов и продолжительностью «окна». Анализ параметров вариантных графиков представлен в таблице 22. Необходимо отметить, что в рассмотрение приняты только задержки поездов, вызванные недостатком наличной пропускной способности ограничивающего перегона.

Таблица 22

Параметры вариантных графиков

№ варианта	Продолжительность «окна» $T_{ок}$, ч	$N_{потр}$, поездов/ч	Количество блок-постов $N_{бл}$	Перегонное время хода грузовых поездов $t_{гр}^x$, мин	Суммарные задержки поездов $\sum Nt$, поезде-ч	Задержки снятых поездов в период «окна» $\sum Nt'_{зад}$, поезде-ч	Задержки снятых поездов в период после «окна» $\sum Nt''_{зад}$, поезде-ч
1	6	4,286	0	19	14,23	1,03	1,12
2	7	4,286	0	19	19,17	3,6	1,87
3	8	4,286	0	19	23,19	1,95	1,8

№ вари- анта	Продол- житель- ность «окна» $T_{ок}$, ч	$N_{потр}$, поез- дов/ч	Количе- ство блок- постов $N_{бл}$	Перегон- ное время хода гру- зовых по- ездов $t_{зр}^x$, мин	Суммар- ные за- держки поездов $\sum Nt$, по- ездо-ч	Задержки снятых по- ездов в пе- риод «ок- на» $\sum Nt'_{зод}$, поездо-ч	Задержки снятых поез- дов в период после «окна» $\sum Nt''_{зод}$, поездо-ч
4	9	4,286	0	19	30,06	0,99	3,3
5	10	4,286	0	19	31,87	3,67	2,16
6	11	4,286	0	19	35,08	0,83	0,55
7	12	4,286	0	19	38,33	2,78	0,48
8	6	6,364	1	19	31,59	2	9,62
9	7	6,364	1	19	34,5	4,03	5,1
10	8	6,364	1	19	41,53	2	7,27
11	9	6,364	1	19	48,82	3,28	9,07
12	10	6,364	1	19	59,66	6	9,77
13	11	6,364	1	19	64,79	3,08	9,73
14	12	6,364	1	19	76,43	5,96	9,83
15	6	6,364	0	19	70,93	30,5	40,98
16	7	6,364	0	19	91,57	48,5	53,84
17	8	6,364	0	19	116,68	25,4	66,58
18	9	6,364	0	19	141,15	11,53	74,62
19	10	6,364	0	19	174,09	28,3	82,68
20	11	6,364	0	19	213,24	33,73	103,9
21	12	6,364	0	19	245,36	60,15	140,17
22	6	4,286	1	26	7,9	2,2	0,57
23	7	4,286	1	26	13,09	1,3	0,7
24	8	4,286	1	26	14,62	1,43	1,63
25	9	4,286	1	26	20,4	0,4	0,27
26	10	4,286	1	26	25,76	0,47	0,53
27	11	4,286	1	26	31,79	1,25	0,78
28	12	4,286	1	26	33,45	1,8	0,7
29	6	4,286	0	26	30,08	6,85	2,32
30	7	4,286	0	26	38,87	5,1	3023
31	8	4,286	0	26	40,68	9,85	2,58
32	9	4,286	0	26	46,5	13,03	3,13
33	10	4,286	0	26	56,98	9,28	3,62
34	11	4,286	0	26	68,08	5,85	4,4
35	12	4,286	0	26	82,62	10,38	3,28
36	6	6,364	1	26	51,58	21,18	18,22
37	7	6,364	1	26	66,05	27,63	22,25
38	8	6,364	1	26	89,25	36,85	33,02
39	9	6,364	1	26	97,62	48	29,73
40	10	6,364	1	26	121,08	67,78	30,38
41	11	6,364	1	26	139,6	77,8	35,3
42	12	6,364	1	26	155,02	81,58	39,28
43	6	6,364	0	26	78,78	39,93	29,62
44	7	6,364	0	26	109	53,87	44,35
45	8	6,364	0	26	141,1	69,68	57,9
46	9	6,364	0	26	196,38	87,42	91,17

№ вари- анта	Продол- житель- ность «окна» $T_{ок}$, ч	$N_{потр}$, поез- дов/ч	Количе- ство блок- постов $N_{бл}$	Перегон- ное время хода гру- зовых по- ездов $t_{зр}^x$, мин	Суммар- ные за- держки поездов $\sum Nt$, по- ездо-ч	Задержки снятых по- ездов в пе- риод «ок- на» $\sum Nt'_{зад}$, поездо-ч	Задержки снятых поез- дов в период после «окна» $\sum Nt''_{зад}$, поездо-ч
47	10	6,364	0	26	217,65	105,9	89,08
48	11	6,364	0	26	253,83	121,93	100,43
49	12	6,364	0	26	303,05	145,85	121,25
50	6	4,286	1	35	10,22	0,43	0,43
51	7	4,286	1	35	13,41	2,73	1,32
52	8	4,286	1	35	17,43	1,6	0,78
53	9	4,286	1	35	22,7	1,35	0,78
54	10	4,286	1	35	26,27	4,8	1,4
55	11	4,286	1	35	28,48	1,68	0,4
56	12	4,286	1	35	35,05	5,75	1,25
57	6	4,286	0	35	21,85	4,1	3,62
58	7	4,286	0	35	27,85	3,1	4,23
59	8	4,286	0	35	32,21	7,4	4,3
60	9	4,286	0	35	39,27	10,86	5,23
61	10	4,286	0	35	46,48	18,7	4,6
62	11	4,286	0	35	61,12	27,7	6,9
63	12	4,286	0	35	68,7	26,67	13,85
64	6	6,364	2	35	47,55	16,98	15,57
65	7	6,364	2	35	68,14	27,36	25,28
66	8	6,364	2	35	84,51	39,01	27,35
67	9	6,364	2	35	,48	47,5	32,47
68	10	6,364	2	35	123,93	64,4	35,5
69	11	6,364	2	35	146,22	77,45	41,41
70	12	6,364	2	35	174,29	94,35	53,87
71	6	6,364	1	35	52,9	20,68	20,87
72	7	6,364	1	35	81,84	36,13	33,22
73	8	6,364	1	35	100,98	49,27	37,71
74	9	6,364	1	35	108,68	55,09	36,26
75	10	6,364	1	35	142,14	71,36	49,3
76	11	6,364	1	35	176,61	88,46	67,28
77	12	6,364	1	35	203,07	105,8	75,15
78	6	6,364	0	35	114,35	57,53	51,57
79	7	6,364	0	35	149,4	71,08	72,1
80	8	6,364	0	35	186,82	95,83	83,77
81	9	6,364	0	35	244,98	114,07	118,99
82	10	6,364	0	35	287,89	153,16	121,56
83	11	6,364	0	35	359,42	178,37	160,93
84	12	6,364	0	35	392,49	198,05	159,32

7.2.1.2. Статистическое исследование задержек поездов при пропуске через ремонтируемый перегон

Статистические распределения задержек поездов, рассчитанных на основе вариантов графиков, характеризуются наличием значительной вариации в величине. Возникает вопрос о том, какие же причины формируют уровень задержек поездов, и какова степень влияния каждой из них. Изучение зависимости вариации признака от окружающих условий составляет содержание теории корреляции [207].

Изучение построенных графиков движения поездов показывает, что вариация каждого из рассматриваемых факторов находится в тесной связи и взаимодействии с вариацией других признаков, характеризующих исследуемую совокупность. Так, вариация задержек поездов во время проведения работ по капитальному ремонту пути зависит от интенсивности поездопотока, перегонного времени хода, продолжительности «окна», способов организации движения поездов, соотношений между числом грузовых, пассажирских и сборных поездов и других самых различных факторов.

При изучении конкретных зависимостей одни признаки выступают в качестве факторов, обуславливающих изменение других признаков. Их называют факторными признаками [207]. В рамках рассматриваемой задачи предлагается принять в их качестве:

- интенсивность поездопотока;
- перегонное время хода грузовых поездов;
- продолжительность «окна»;
- количество временных блок-постов.

Влияние соотношения между числом грузовых, пассажирских и сборных поездов косвенно исследовано через интенсивность поездопотока. В данном случае, интенсивность поездопотока – это часовая потребная пропускная способность, определяемая через количество грузовых, пассажирских, сборных поездов и коэффициенты съёма. Признаки, которые являются результатом влияния этих факторов, называются результативными в предлагаемой модели это – суммарные задержки поездов. Так как наблюдается зависимость результативного признака от нескольких факторов, имеет место множественная корреляция. На суммарные задержки поездов оказывает влияние и неравномерность поездопотока, но на данном этапе исследования оценкой этого влияния предлагается пренебречь.

Постановка задачи, приведенная в работе [208], 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:

$$y_1 = (x_1, x_2, x_3, x_4). \quad (63)$$

Одновременное воздействие на изучаемый признак большого количества самых разнообразных факторов приводит к тому, что одному и тому же значению фактора соответствует целое распределение значений результативного признака.

Поскольку в каждом конкретном случае прочие факторные признаки могут изменять силу и направленность своего воздействия, при корреляционной зависимости устанавливается тенденция изменения результативного признака при изменении величин факторных признаков [209].

На рисунке 30 представлено графическое изображение зависимости суммарных задержек поездов от рассматриваемых факторов, на котором явно выражены три сегмента. Большие скачки наблюдаются в точках 22, и 50, что соответствует смене одновременно всех факторов. Внутри каждого сегмента также имеются небольшие скачки, вызываемые изменением интенсивности поездопотока и количества временных блок-постов.

При исследовании корреляционных зависимостей между признаками решению подлежит широкий круг вопросов [209]:

- предварительный анализ свойств моделируемой совокупности;
- установление факта наличия связи, определение её направления и формы;
- измерение степени тесноты связи между признаками;
- построение регрессионной модели, т.е. нахождение аналитического выражения связи;
- оценка адекватности модели, её экономическая интерпретация и практическое использование.

Зависимость суммарных задержек поездов от продолжительности "окна", интенсивности поездопотока, количества временных блок-постов и перегонного времени хода грузовых поездов

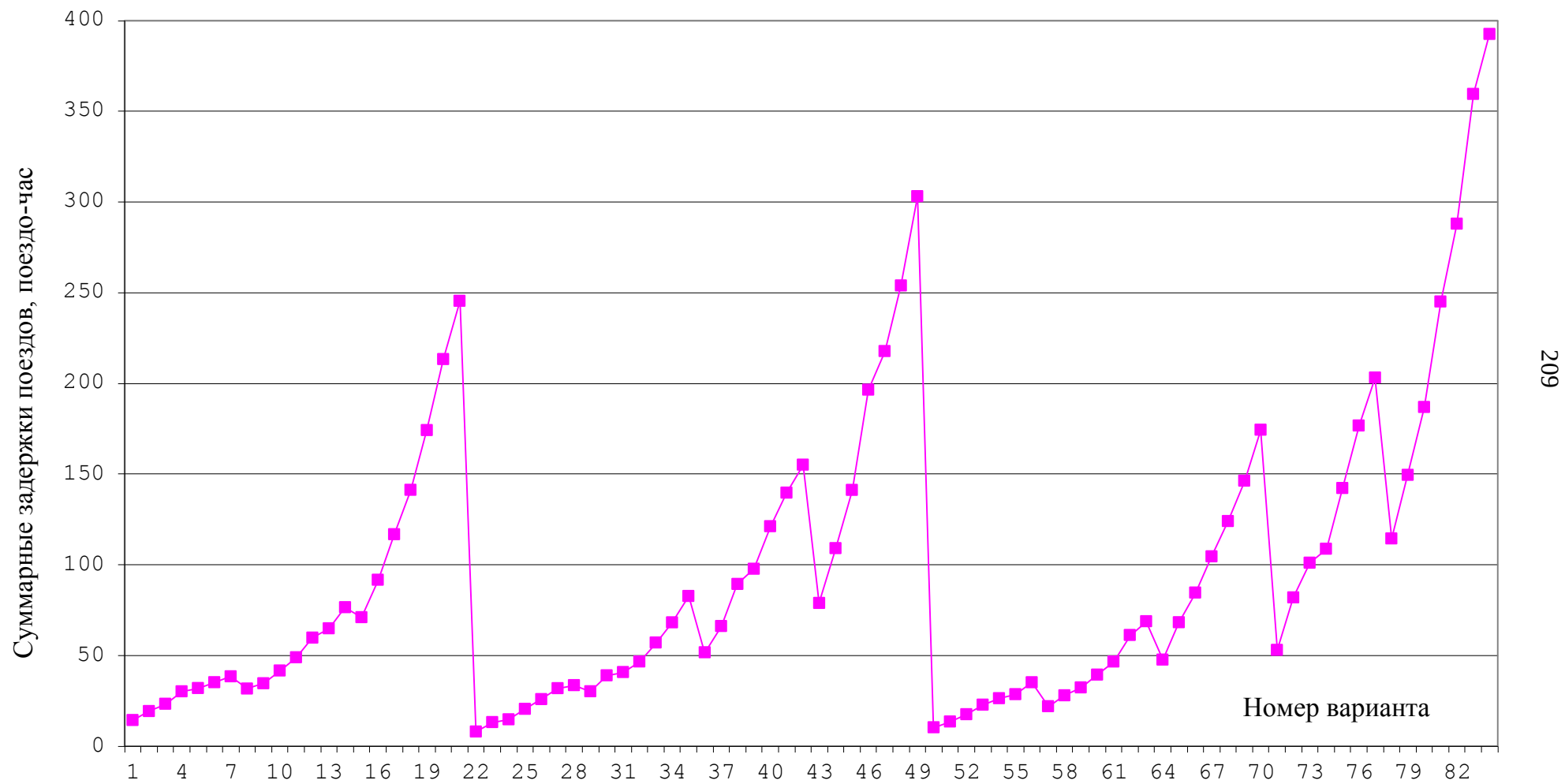


Рисунок 30

Важным требованием, обеспечивающим надёжность выводов корреляционного анализа, является требование достаточного числа наблюдений. Для получения статистически значимой модели требуется на один фактор объём выборки, равный пяти-восемью наблюдениям [210]. Таким образом, при включении в модель четырёх факторов требуется не менее 20 наблюдений, следовательно, объём рассматриваемой выборки (в данной модели 84 наблюдения) позволит обеспечить достаточную надёжность выводов.

Определённые требования существуют и в отношении факторов, включаемых в модель. Всё множество факторов, оказывающих влияние на величину результативного показателя, в действительности не может быть введено в рассмотрение, да практически в этом и нет необходимости, так как их роль и значение в формировании величины результативного показателя могут иметь существенные различия. Поэтому, при наложении ограничений на число факторов, наряду с качественным анализом целесообразно использовать определённые количественные оценки, позволяющие конкретно охарактеризовать влияние каждого отдельного фактора на результативный показатель. Для этого служат парные коэффициенты корреляции [210].

Парные коэффициенты корреляции рассчитываются [211] по формуле:

$$r_{x_j x_k} = \frac{n \sum_{j=1}^n x_j * x_k - \sum_{j=1}^n x_j * \sum_{k=1}^m x_k}{\sqrt{\left[n \sum_{j=1}^n x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2 \right] * \left[m \sum_{k=1}^m x_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m x_k \right)^2 \right]}}, \quad (64)$$

где n – число значений x_j ;

m – число значений x_k ;

$$x_j = \{y; x_1; x_2; x_3; x_4\}, \quad (65)$$

$$x_k = \{x_1; x_2; x_3; x_4\}, \quad (66)$$

Следует иметь в виду, что:

$$r_{x_j x_k} = r_{x_k x_j}, \quad (67)$$

$$r_{x_j x_j} = r_{x_k x_k} = 1. \quad (68)$$

Мультиколлинеарная зависимость присутствует, если коэффициент парной корреляции 0,70-0,80 [210]. Расчеты показали, что все коэффициенты парной корреляции менее 0,7. Это показывает отсутствие мультиколлинеарности, под которой понимается попарная корреляционная зависимость между факторами. Наличие мультиколлинеарности

усложняет вычисления при построении модели, снижает точность оценки параметров регрессии и приводит к снижению ее надёжности. Следовательно, как видно из таблицы 23 принят рациональный перечень факторов.

Таблица 23

Значения парных коэффициентов корреляции

r_{yx_1}	r_{yx_2}	r_{yx_3}	r_{yx_4}	$r_{x_1x_2}$	$r_{x_1x_3}$	$r_{x_1x_4}$	$r_{x_2x_3}$	$r_{x_2x_4}$	$r_{x_3x_4}$
0,4295	0,6268	-0,1987	0,1579	0	0	0	0,2420	-0,0260	0,3013

Включаемые в исследование факторы должны быть независимы друг от друга, так как наличие тесной связи между ними свидетельствует о том, что они характеризуют одни и те же стороны изучаемого признака и в значительной мере дублируют друг друга. Низкие значения парных коэффициентов корреляции между факторными признаками показывают малую зависимость между ними [210].

Наиболее сильное влияние на задержки поездов, вызванные недостатком пропускной способности, оказывает интенсивность поездопотока $r_{yx_2} = 0,6268$.

7.2.2. Анализ задержек поездов в ожидании технического осмотра

Кроме дополнительных задержек поездов из-за недостатка пропускной способности в период проведения капитального ремонта пути, появляется ещё одна проблема, связанная с дополнительным простоем поездов на технических станциях в ожидании технического осмотра. Причиной этого является сгущённый подход поездов в период проведения «окна» и после его окончания, который длится до тех пор, пока не будут пропущены все задержанные поезда. Привлекать дополнительный штат работников пункта технического осмотра (ПТО), как правило, нецелесообразно из-за сезонности данной проблемы.

Выполненный графоаналитическим методом анализ работы трёх технических станций Забайкальской железной дороги при различных размерах движения и количества поездов в пакете позволил сделать ряд выводов:

- задержки поездов определяются следующими факторами: интенсивностью поездопотока, продолжительностью осмотра, количеством одновременно осматриваемых поездов и их числом в пакете;

- с увеличением количества поездов в пакете, уменьшаются простои, связанные с недостатком пропускной способности, но возрастают простои в ожидании технического осмотра.

Результаты выполненного анализа простоев поездов в ожидании осмотра бригадами ПТО приведены в таблице 24.

Таблица 24

Простои поездов на технических станциях в ожидании осмотра бригадами ПТО

Наимено- вание станций	Время техни- ческого ос- мотра, мин		Количество од- новременно ос- матриваемых поездов		Суточный грузовой по- ездопоток, пар поездов	Количе- ство по- ездов в пакете	Простои по- ездов в ожи- дании осмот- ра, ч	
	неч	чёт	неч	чёт			неч	чёт
Хилок	35	35	3	3	45	3	0	0
						4	0,8	0,8
						5	1	1
						6	2,3	2,3
					55	3	0,3	0,3
						4	1,2	1,2
						5	2,4	2,4
						6	2,1	2,1
					65	3	0,7	0,7
						4	1,4	1,4
						5	2,7	2,7
						6	2,9	2,9
Чита-1	20	20	1	1	45	3	7,5	7,5
						4	11	11
						5	15	15
						6	18,1	18,1
					55	3	9	9
						4	13,1	13,1
						5	18,3	18,3
						6	22,5	22,5
					65	3	11	11
						4	16	16
						5	21,7	21,7
						6	26,7	26,7
Карымская	50	50	2	3	45	3	7,5	0
						4	11	3,7
						5	18	6
					55	3	9	0
						4	13,5	4,3
						5	25,4	7,4
					65	3		0
						4		5,3
						5		8,6

Пусть:

y_2 – дополнительные задержки поездов в ожидании технического осмотра;

x_5 – количество пар поездов в сутки;

x_6 – количество поездов в пакете;

x_7 – количество одновременно осматриваемых поездов;

x_8 – продолжительность технического осмотра.

Тогда:

$$y_2 = f(x_5; x_6; x_7; x_8), \quad (69)$$

Значения парных коэффициентов корреляции показывают, что наиболее сильное воздействие на задержки поездов в ожидании технического осмотра оказывает количество одновременно осматриваемых поездов и количество поездов в пакете.

Низкие значения парных коэффициентов корреляции между факторными признаками (таблица 25) показывают низкую связь между ними и отсутствие мультиколлинеарности.

Таблица 25

Значения парных коэффициентов корреляции

$r_{y_2 x_5}$	$r_{y_2 x_6}$	$r_{y_2 x_7}$	$r_{y_2 x_8}$	$r_{x_5 x_6}$	$r_{x_5 x_7}$	$r_{x_5 x_8}$	$r_{x_6 x_7}$	$r_{x_6 x_8}$	$r_{x_7 x_8}$
0,084	0,416	-0,795	-0,384	0,029	0,025	-0,108	-0,077	-0,206	0,5017

7.2.3. Определение аналитических зависимостей задержек поездов

7.2.3.1. От недостатка пропускной способности

Для определения теоретической закономерности изменения задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности, от выбранных факторов необходимо выполнить аппроксимацию эмпирического распределения. Критерием выбора оптимального варианта аппроксимирующей функции является минимум сумм квадратов среднеквадратических отклонений значений теоретического и эмпирического распределений [170, 194].

При изучении характера изменения суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности, был проведён сравнительный анализ функций различного вида на возможность их использования для аппроксимации эмпирического распределения:

- линейная множественная регрессия;
- квадратическая функция;
- степенная множественная регрессия;
- мультипликативная функция.

Линейная множественная регрессия даёт большое расхождение на конечных точках сегментов. И только для наблюдений, соответствующих продолжительностям «окна» восемь-девять часов кривая теоретической функции близко приближается к эмпирической. Вид отдельных сегментов соответствует виду квадратической функции, но в целом данная функция не позволяет описать резкие скачки в значениях суммарных задержек поездов. При степенной множественной регрессии наблюдаются большие расхождения на конечных точках сегментов. Ближе всего по виду подходит мультипликативная функция [212].

Таким образом, изучение характера зависимости позволило выдвинуть гипотезу о том, что суммарные задержки поездов подчиняются мультипликативному распределению и могут быть представлены уравнением вида:

$$y = a_0 * a_1^{x_1} * a_2^{x_2} * a_3^{x_3} * a_4^{x_4}, \quad (70)$$

где: y – суммарные задержки поездов, вызванные недостатком пропускной способности, поездо-ч;

x_1 – безразмерная численная величина, равная продолжительности «окна», ч;

x_2 – безразмерная численная величина, равная интенсивности поездопотока, поездов/ч;

x_3 – безразмерная численная величина, равная количеству временных блок-постов;

x_4 – безразмерная численная величина, равная перегонному времени хода грузовых поездов, определяемому в минутах;

a_1, a_2, a_3, a_4 – коэффициенты уравнения регрессии;

a_0 – свободный член, поездо-ч.

Методом наименьших квадратов определены параметры регрессии и установлен вид показательной зависимости. Данный метод предусматривает выбор неизвестных коэффициентов регрессии – a_1, a_2, a_3, a_4 и a_0 , при которых достигается минимум суммы квадратов отклонений [194]:

$$\sum_{k=1}^n [y_k - f(a_1; a_2; a_3; a_4; a_0)]^2 = \min \sum_{k=1}^n [y_k - f(a_1; a_2; a_3; a_4; a_0)]^2. \quad (71)$$

Уравнение мультипликативной функции для четырёхфакторной модели (70) логарифмируется:

$$\lg y = \lg a_0 * x_1 \lg a_1 * x_2 \lg a_2 * x_3 \lg a_3 * x_4 \lg a_4. \quad (72)$$

Выполняется подстановка $\lg y = z$; $\lg a_0 = b_0$; $\lg a_1 = b_1$; $\lg a_2 = b_2$; $\lg a_3 = b_3$; $\lg a_4 = b_4$ в уравнение (72) для получения линейной множественной регрессии:

$$z = b_0 + x_1 * b_1 + x_2 * b_2 + x_3 * b_3 + x_4 * b_4. \quad (73)$$

Для всех $x_j \in \{x_1; x_2; x_3; x_4\}$ находятся средние значения $\bar{x}_j$ и средние квадратические отклонения σ_{x_j} по формулам:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ji}}{n}, \quad (74)$$

где: n – число значений x_j ;

i – количество факторов.

$$\sigma_{x_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_{ji}^2}{n} - (\bar{x}_j)^2}. \quad (75)$$

Рассчитываются коэффициенты корреляции:

$$r_{x_j x_k} = \frac{n * \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 * x_{ki} - \sum_{i=1}^n x_{ji} * \sum_{i=1}^n x_{ki}}{\sqrt{\left[n * \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_{ji} \right)^2 \right] * \left[n * \sum_{i=1}^n x_{ki}^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_{ki} \right)^2 \right]}}. \quad (76)$$

По вычисленным коэффициентам корреляции составляется система линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} r_{x_1 y} &= \beta_1 + \beta_2 * r_{x_2 x_1} + \beta_3 * r_{x_3 x_1} + \beta_4 * r_{x_4 x_1}; \\ r_{x_2 y} &= \beta_1 * r_{x_1 x_2} + \beta_2 + \beta_3 * r_{x_3 x_2} + \beta_4 * r_{x_4 x_2}; \\ r_{x_3 y} &= \beta_1 * r_{x_1 x_3} + \beta_2 * r_{x_2 x_3} + \beta_3 + \beta_4 * r_{x_4 x_3}; \\ r_{x_4 y} &= \beta_1 * r_{x_1 x_4} + \beta_2 * r_{x_2 x_4} + \beta_3 * r_{x_3 x_4} + \beta_4. \end{aligned} \right\} \quad (77)$$

Решив систему уравнений, находятся коэффициенты:

$$\beta_1 = \frac{r_{x_1 y} - r_{x_2 y} * r_{x_1 x_2}}{1 - r_{x_1 x_2}^2}; \quad (78)$$

$$\beta_2 = \frac{r_{x_2 y} - r_{x_3 y} * r_{x_1 x_2}}{1 - r_{x_1 x_2}^2}; \quad (79)$$

$$\beta_3 = \frac{r_{x_3y} - r_{x_4y} * r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}; \quad (80)$$

$$\beta_4 = \frac{r_{x_4y} - r_{x_1y} * r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}. \quad (81)$$

Коэффициенты b_j находятся по формулам:

$$b_1 = \beta_1 * \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_1}}; \quad (82)$$

$$b_2 = \beta_2 * \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_2}}; \quad (83)$$

$$b_3 = \beta_3 * \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_3}}; \quad (84)$$

$$b_4 = \beta_4 * \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_4}}; \quad (85)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 * \bar{x}_1 - b_2 * \bar{x}_2 - b_3 * \bar{x}_3 - b_4 * \bar{x}_4. \quad (86)$$

Взяв антилогарифмы b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 находятся коэффициенты регрессии a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 .

Для анализа общего качества уравнения регрессии используется множественный коэффициент детерминации, который определяет долю вариации результативного признака, обусловленную изменением факторных признаков, входящих в многофакторную регрессионную модель. Методика его определения рассмотрена в [131], в соответствии с [213], он рассчитывается по формуле:

$$R^2 = \frac{\sigma_{\phi}^2}{\sigma_y^2}, \quad (87)$$

где σ_{ϕ}^2 – факторная дисперсия результативного признака, отображающая влияние только основных факторов:

$$\sigma_{\phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i' - \bar{y})^2}{n}; \quad (88)$$

σ_y^2 – общая дисперсия результативного признака y , отображающая влияние как основных, так и остаточных факторов:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}; \quad (89)$$

$\bar{y}$ – среднее значение результативного признака y .

Проверка статистической значимости коэффициента детерминации выполняется на основе F – критерия Фишера:

$$F_{расч} = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{n-m-1}{m}, \quad (90)$$

где n – число наблюдений;

m – число факторов в уравнении регрессии.

Проверка значимости коэффициентов регрессии выполняется с помощью t – критерия Стьюдента:

$$t = \frac{\ln(|a_i|)}{\sigma_{a_i}}, \quad (91)$$

где σ_{a_i} – стандартное значение ошибки для коэффициента регрессии a_i :

$$\sigma_{a_i} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (92)$$

где σ^2 – общая дисперсия фактических данных (дисперсия y):

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 * n_i}{n}. \quad (93)$$

По предлагаемой методике расчёт может быть проведён для любых полигонов сети железных дорог. В работе [131] определена зависимость суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности для Забайкальской железной дороги. Уравнение аналитической зависимости имеет вид:

$$\sum Nt = 0,091 * 1,212^{x_1} * 2,219^{x_2} * 0,555^{x_3} * 1,038^{x_4}. \quad (94)$$

Так как уравнение регрессии построено на основе выборочных данных, то возникает вопрос об адекватности построенного уравнения генеральным данным. Для этого проведена проверка статистической значимости коэффициента детерминации на основе F – критерия Фишера. Расчётный критерий (для степеней свободы $l=79$, $k=4$) значительно больше табличного, что показывает высокую значимость коэффициента детерминации.

Степени свободы определяются [213]:

$$k = m, \quad (95)$$

где m – число факторов в уравнении регрессии;

$$l = n - m - 1, \quad (96)$$

где n – число наблюдений (вариантных графиков).

Для анализа общего качества уравнения регрессии использован множественный коэффициент детерминации. Полученный в расчёте превышает 0,7, следовательно, в соответствии с [213], вариация результативного признака – суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности, обусловлена в основном влиянием изменения включенных в регрессионную модель факторов.

Значимость всех коэффициентов регрессии проверена с помощью t –критерия Стьюдента. Все расчётные больше табличных, что также показывает значимость рассчитанных коэффициентов регрессии.

Табличные значения критериев Фишера и Стьюдента определены для уровня значимости $\alpha = 0,05$. Результаты проверки приведены в таблице 26.

Таблица 26

Показатели проверки адекватности полученного уравнения регрессии суммарных задержек, вызванных недостатком пропускной способности поездов

Наименование параметров	Значение параметра
Коэффициент детерминации	0,9396
Расчётный F – критерий Фишера	307,669
Табличный F – критерий Фишера для степеней свободы $l=79$, $k=4$	5,63
Стандартное значение ошибки для коэффициентов регрессии:	
a_0	0,211
a_1	0,004
a_2	0,042
a_3	0,026
a_4	0,012
Расчётный t – критерий для коэффициентов:	
a_0	11,3597
a_1	9,324
a_2	14,0187
a_3	30,644
a_4	16,297
Табличный t – критерий для $\alpha = 0,05$; $l=79$	2,915

Таким образом, проверка значимости коэффициентов регрессии и коэффициента детерминации подтверждает адекватность полученного уравнения (94) и верность выдвинутой гипотезы о мультипликативном распределении суммарных задержек поездов.

В таблице 27 представлен сравнительный анализ эмпирических и теоретических значений суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности.

Таблица 27

Сравнительный анализ эмпирической и теоретической функции распределения

№ варианта	Продолжительность «окна» $T_{ок}$, ч	Интенсивность поездопотока $N_{потр}$, поездов/ч	Количество в блоках постов $N_{бл}$	Перегонное время хода грузовых поездов $t_{гп}^x$, мин	Суммарные задержки поездов $\sum Nt$, поездо-ч	
					Фактическое	Теоретическое
1	6	4,286	0	19	14,23	14,36
2	7	4,286	0	19	19,17	17,45
3	8	4,286	0	19	23,19	21,22
4	9	4,286	0	19	30,06	25,80
5	10	4,286	0	19	31,87	31,36
6	11	4,286	0	19	35,08	38,12
7	12	4,286	0	19	38,33	46,34
8	6	6,364	1	19	31,59	39,21
9	7	6,364	1	19	34,5	47,67
10	8	6,364	1	19	41,53	57,94
11	9	6,364	1	19	48,82	70,44
12	10	6,364	1	19	59,66	85,63
13	11	6,364	1	19	64,79	104,1
14	12	6,364	1	19	76,43	126,55
15	6	6,364	0	19	70,93	70,71
16	7	6,364	0	19	91,57	85,96
17	8	6,364	0	19	116,68	104,50
18	9	6,364	0	19	141,15	127,03
19	10	6,364	0	19	174,09	154,43
20	11	6,364	0	19	213,24	187,73
21	12	6,364	0	19	245,36	228,21
22	6	4,286	1	26	7,9	10,33
23	7	4,286	1	26	13,09	12,56
24	8	4,286	1	26	14,62	15,26
25	9	4,286	1	26	20,4	18,56
26	10	4,286	1	26	25,76	22,56
27	11	4,286	1	26	31,79	27,42
28	12	4,286	1	26	33,45	33,34
29	6	4,286	0	26	30,08	18,63
30	7	4,286	0	26	38,87	22,64
31	8	4,286	0	26	40,68	27,53
32	9	4,286	0	26	46,5	33,46

№ варианта	Продолжительность «окна» $T_{ок}$, ч	Интенсивность поездопотока $N_{потр}$, поездов/ч	Количество в блок-постов $N_{бл}$	Перегонное время хода грузовых поездов $t_{гр}^x$, мин	Суммарные задержки поездов $\sum Nt$, поездо-ч	
					Фактическое	Теоретическое
33	10	4,286	0	26	56,98	40,68
34	11	4,286	0	26	68,08	49,45
35	12	4,286	0	26	82,62	60,12
36	6	6,364	1	26	51,58	50,87
37	7	6,364	1	26	66,05	61,84
38	8	6,364	1	26	89,25	75,17
39	9	6,364	1	26	97,62	91,38
40	10	6,364	1	26	121,08	111,09
41	11	6,364	1	26	139,6	135,04
42	12	6,364	1	26	155,02	164,17
43	6	6,364	0	26	78,78	91,73
44	7	6,364	0	26	109,00	111,51
45	8	6,364	0	26	141,1	135,56
46	9	6,364	0	26	196,38	164,79
47	10	6,364	0	26	217,65	200,33
48	11	6,364	0	26	253,83	243,54
49	12	6,364	0	26	303,05	296,05
50	6	4,286	1	35	10,22	14,43
51	7	4,286	1	35	13,41	17,55
52	8	4,286	1	35	17,43	21,33
53	9	4,286	1	35	22,70	29,93
54	10	4,286	1	35	26,27	31,52
55	11	4,286	1	35	28,48	38,32
56	12	4,286	1	35	35,05	46,58
57	6	4,286	0	35	21,85	26,03
58	7	4,286	0	35	27,85	31,64
59	8	4,286	0	35	32,21	38,47
60	9	4,286	0	35	39,27	46,76
61	10	4,286	0	35	46,48	56,86
62	11	4,286	0	35	61,12	69,11
63	12	4,286	0	35	68,70	84,01
64	6	6,364	2	35	47,55	39,42
65	7	6,364	2	35	68,14	47,92
66	8	6,364	2	35	84,51	58,25
67	9	6,364	2	35	104,48	70,81
68	10	6,364	2	35	123,93	86,08
69	11	6,364	2	35	146,22	104,64
70	12	6,364	2	35	174,29	127,21
71	6	6,364	1	35	52,90	71,08
72	7	6,364	1	35	81,84	86,41
73	8	6,364	1	35	100,98	105,04
74	9	6,364	1	35	108,68	127,70
75	10	6,364	1	35	142,14	155,24
76	11	6,364	1	35	176,61	188,71
77	12	6,364	1	35	203,07	229,41

№ вар иан та	Продолжит ельность «окна» $T_{ок}$, ч	Интенсивно сть поездопоток а $N_{номр}$, поездов/ч	Количес тво блок- постов $N_{бл}$	Перегонное время хода грузовых поездов $t_{гр}^x$, мин	Суммарные задержки поездов $\sum Nt$, поездо-ч	
					Фактическое	Теоретиче- ское
78	6	6,364	0	35	114,35	128,19
79	7	6,364	0	35	149,4	155,83
80	8	6,364	0	35	186,82	189,44
81	9	6,364	0	35	244,98	230,29
82	10	6,364	0	35	287,89	279,95
83	11	6,364	0	35	359,42	340,32
84	12	6,364	0	35	392,49	413,71
Критерий Пирсона χ^2						2,97

Вид эмпирической и теоретической функций представлен на рисунке 31.

Практический интерес представляет и характер зависимостей задержек снятых поездов из-за недостатка наличной пропускной способности в периоды во время «окна» $\sum Nt'_{зад}$ и после его окончания $\sum Nt''_{зад}$. Под понятием «снятые поезда» приняты поезда, поступившие на ремонтируемый участок, но не проследовавшие, как принято в нормативном графике, ограничивающий перегон из-за недостатка его пропускной способности.

Графики зависимостей, полученных на основе анализа построенных вариантных графиков, представлены на рисунках 32 и 33.

Анализ полученных данных по вариантам графиков движения поездов позволил предположить, что задержки снятых поездов от выбранных факторов находятся в мультипликативной зависимости. Результаты расчёта коэффициентов регрессии и проверки адекватности установленных уравнений представлены в таблице 28.



Рисунок 31

Зависимость задержек снятых поездов во время "окна" от его продолжительности, интенсивности поездопотока, времени хода грузовых поездов и количества временных блок-постов

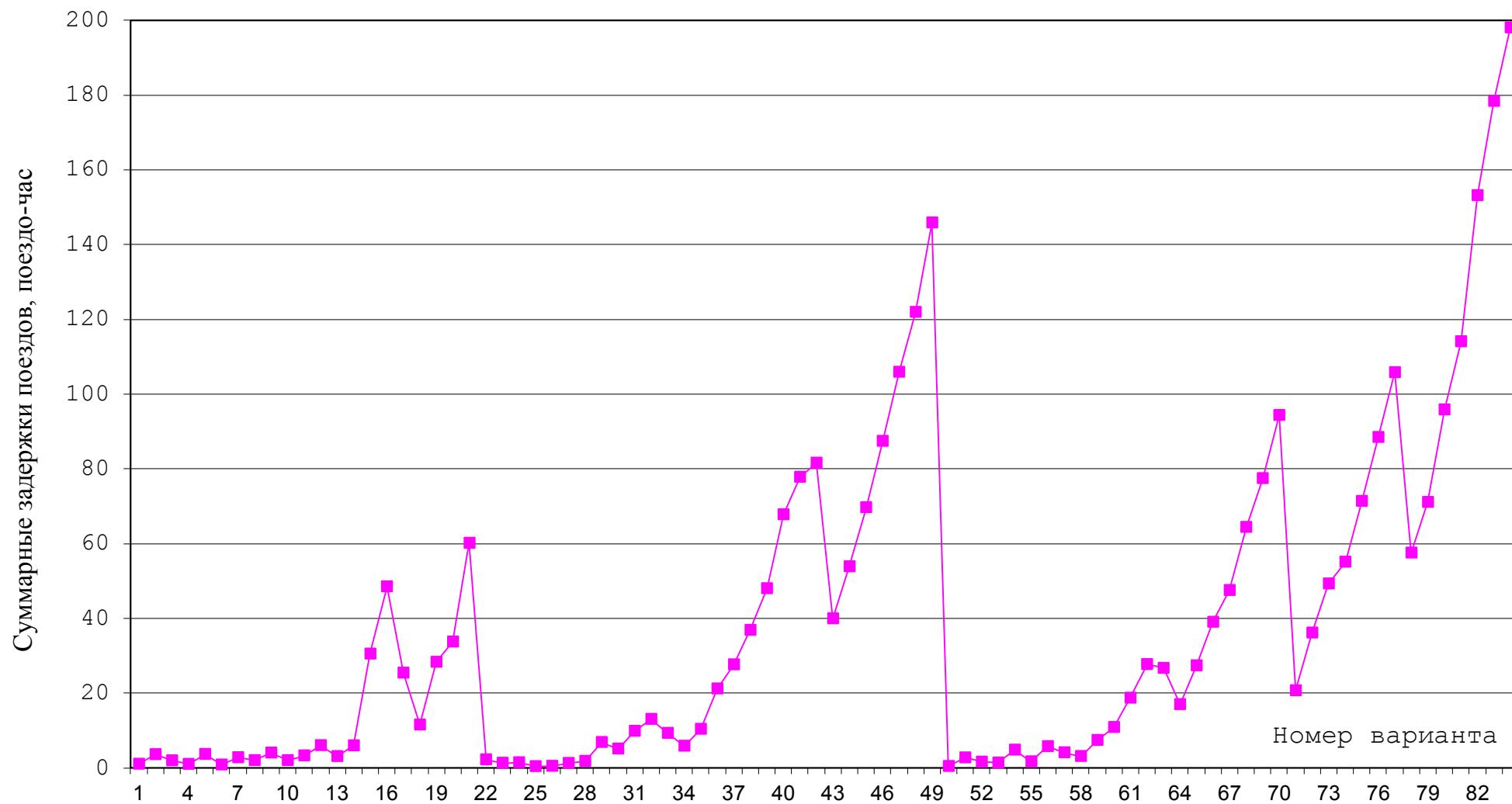


Рисунок 32

Зависимость задержек "снятых" поездов после "окна" от его продолжительности, интенсивности поездопотока, количества временных блок-постов и перегонного времени хода грузовых поездов

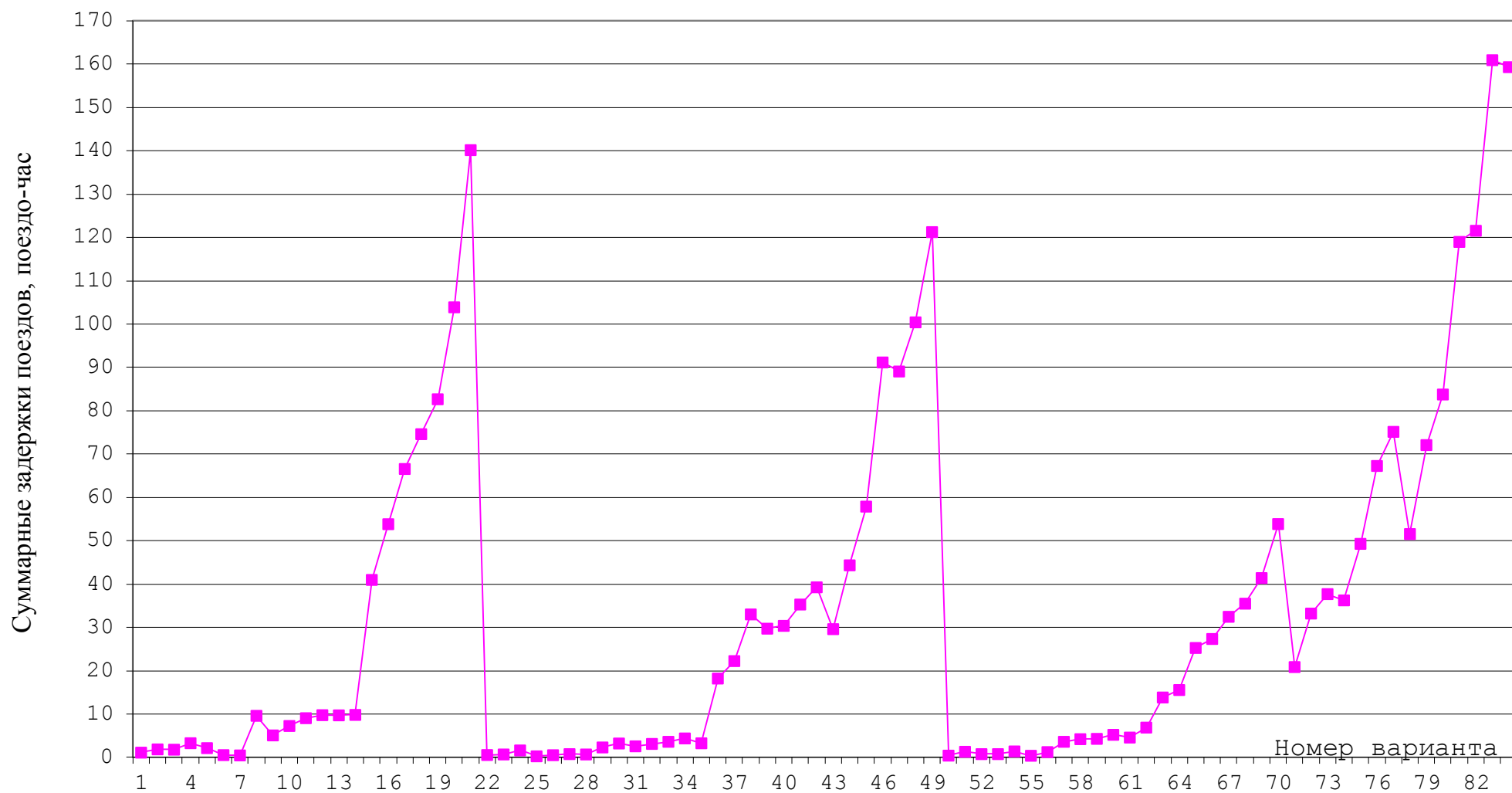


Рисунок 33

Результаты расчёта коэффициентов регрессии и проверки адекватности полученного уравнения регрессии задержек «снятых» поездов

Наименование параметров	Задержки «снятых» поездов	
	в период «окна»	в период после «окна»
Коэффициенты регрессии:		
a_0	0,0001	0,0001
a_1	1,188	1,1115
a_2	4,141	5,93
a_3	0,351	0,3336
a_4	1,125	1,07
Коэффициент детерминации	0,825	0,918
Расчётный F – критерий Фишера	93,21	219,88
Табличный F – критерий Фишера для степеней свободы $l=79$, $k=4$	5,63	5,63
Стандартное значение ошибки для коэффициентов регрессии:		
a_0	0,667	0,496
a_1	0,039	0,029
a_2	0,083	0,661
a_3	0,133	0,099
a_4	0,012	0,009
Расчётный t – критерий для коэффициентов:		
a_0	13,48	18,44
a_1	9,08	3,621
a_2	7,848	28,99
a_3	17,22	7
a_4	4,39	7,5
Табличный t – критерий для $\alpha = 0,05$; $l=79$	2,915	2,915

Проверка значимости коэффициентов регрессии и коэффициентов детерминации подтверждает адекватность полученных уравнений:

$$\sum Nt'_{\text{зад}} = 0,0001 * 1,188^{x_1} * 4,141^{x_2} * 0,351^{x_3} * 1,125^{x_4}, \quad (97)$$

$$\sum Nt''_{\text{зад}} = 0,0001 * 1,112^{x_1} * 5,93^{x_2} * 0,334^{x_3} * 1,07^{x_4}. \quad (98)$$

Графики эмпирических и теоретических задержек «снятых» поездов приведены на рисунках 34 и 35.

Сравнение теоретической и эмпирической функций задержек "снятых" поездов в период "окна"

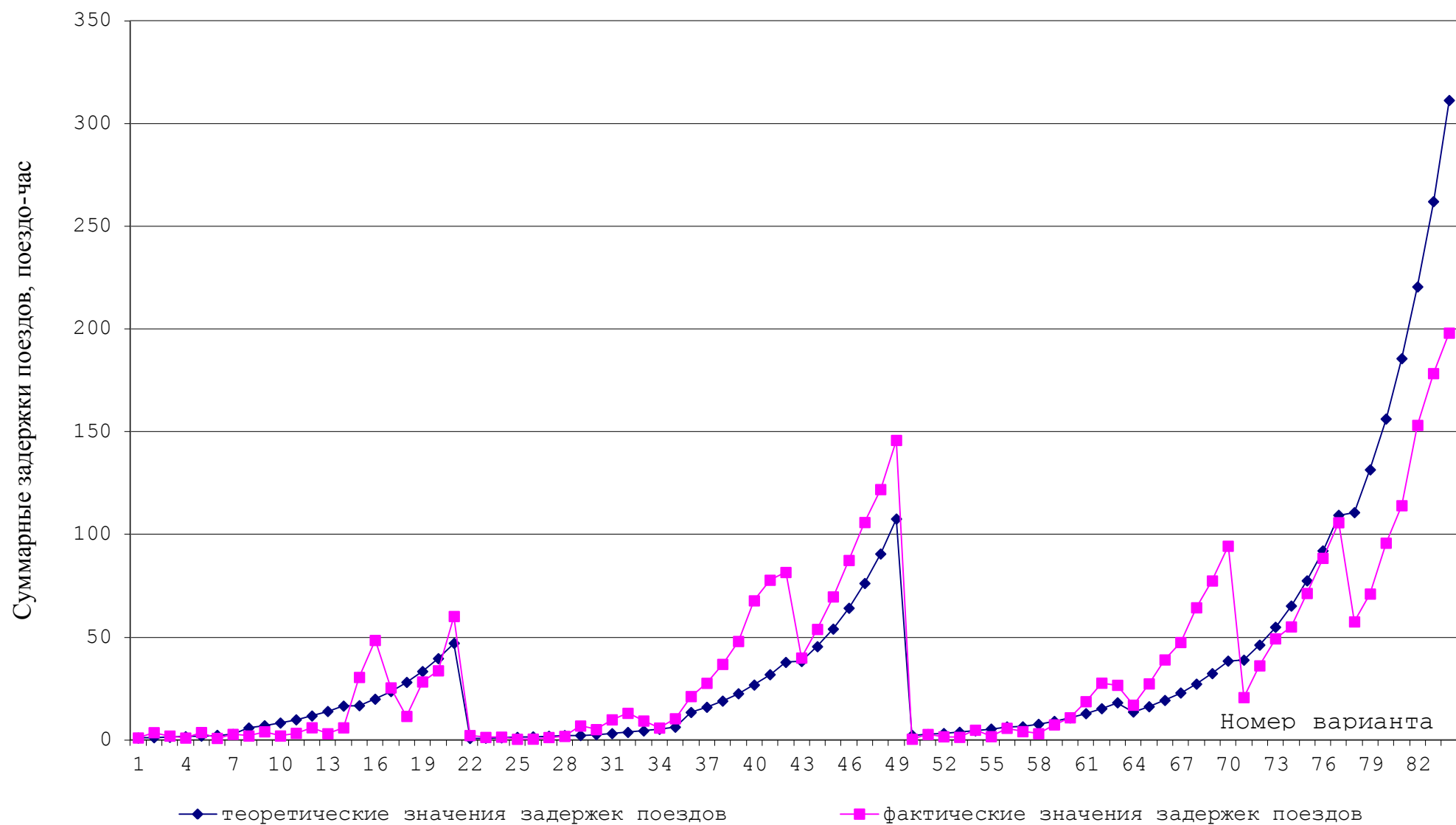


Рисунок 34

Сравнение теоретической и эмпирической функций задержек "снятых" поездов в период после "окна"

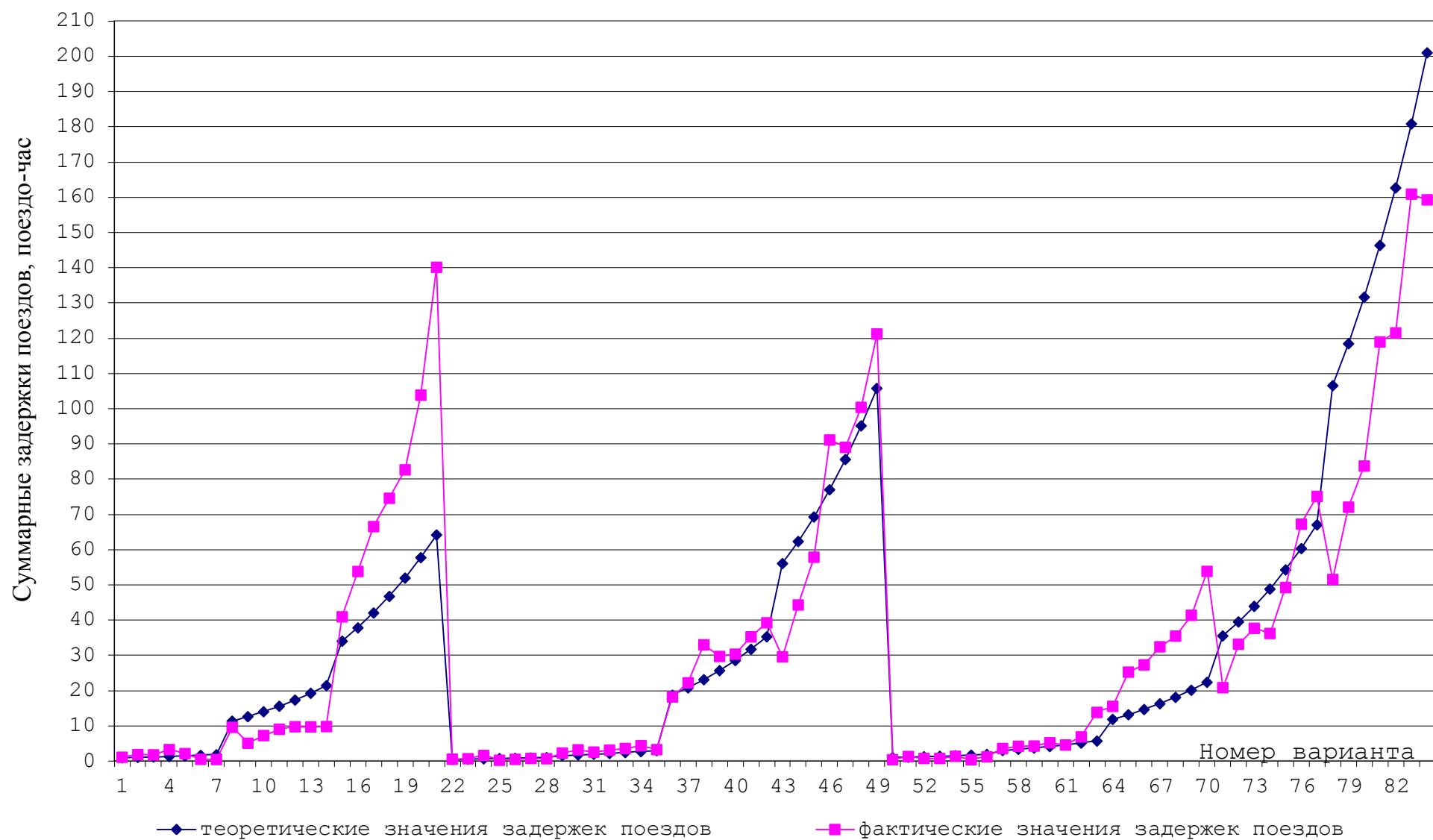


Рисунок 35

7.2.3.2. В ожидании технического осмотра

Изменение дополнительных задержек поездов в ожидании технического осмотра описывается линейной множественной регрессией [214]. Методика определения коэффициентов регрессии аналогична методике определения коэффициентов b_i при показательной регрессии. Зависимость задержек поездов в ожидании технического осмотра показана на рисунке 36.

Характер зависимости позволяет выдвинуть гипотезу о том, что это – линейная множественная регрессия.

В общем виде уравнение линейной множественной регрессии для четырехфакторной модели имеет вид:

$$y = a_1 * x_5 + a_2 * x_6 + a_3 * x_7 + a_4 * x_8 + a_0, \quad (99)$$

где x_5 – безразмерная численная величина, равная количеству пар поездов в сутки;

x_6 – безразмерная численная величина, равная количеству поездов в пакете;

x_7 – безразмерная численная величина, равная количеству одновременно осматриваемых поездов;

x_8 – безразмерная численная величина, равная продолжительности технического осмотра, определяемая в минутах;

a_1, a_2, a_3, a_4, a_0 – коэффициенты регрессии, поездо-ч.

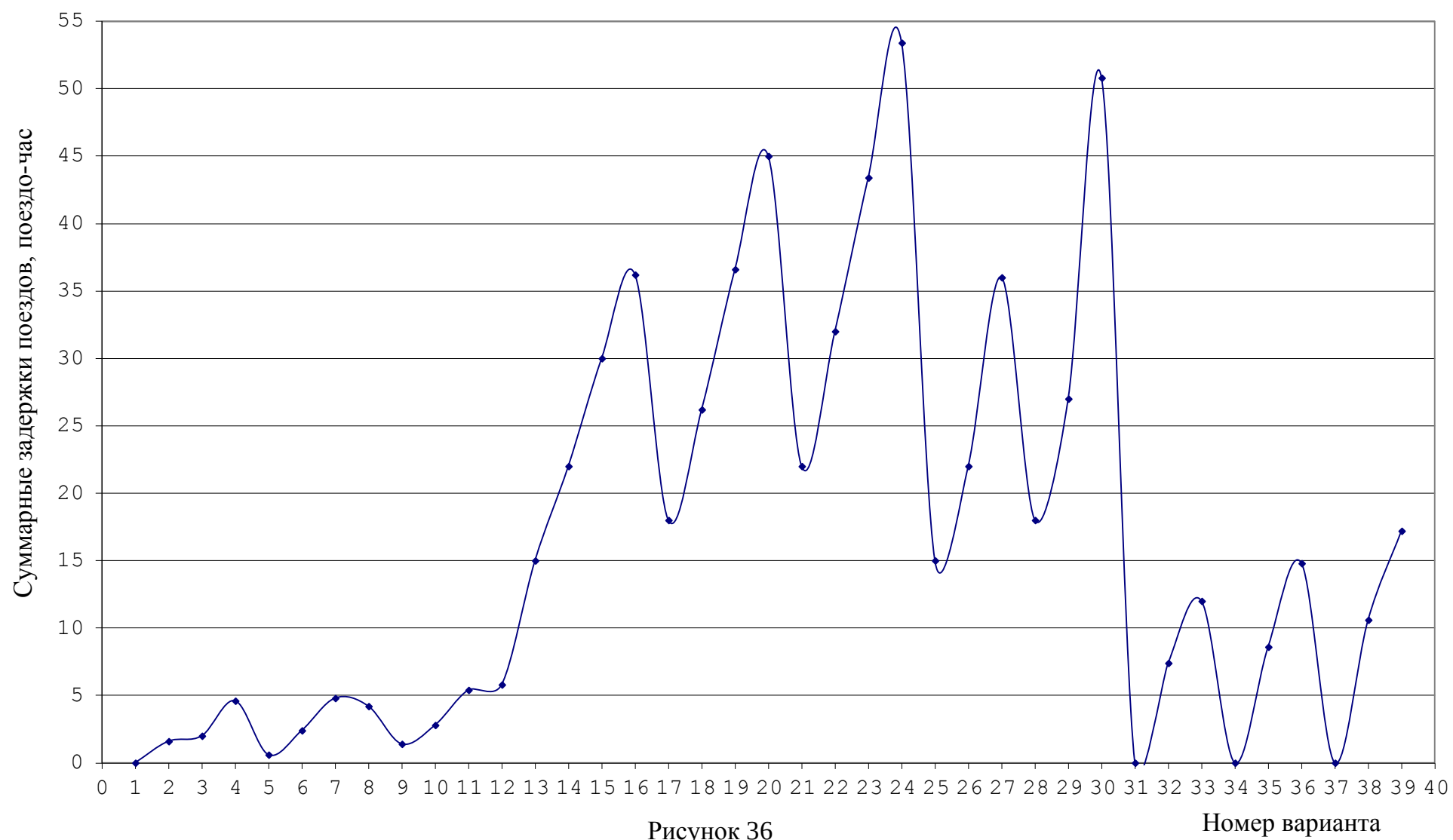
Методом наименьших квадратов рассчитаны параметры эмпирического распределения и установлен вид зависимости:

$$\sum Nt_{\text{пто}} = 0,303 * x_5 + 6,384 * x_6 - 19,11 * x_7 + 0,648 * x_8 - 6,834. \quad (100)$$

В таблице 29 приведён сравнительный анализ теоретической и эмпирической функций зависимости задержек поездов в ожидании технического осмотра от выбранных факторов.

График теоретических и эмпирических задержек поездов в ожидании технического осмотра представлен на рисунке 37. Показатели проверки приведены в таблице 30.

Задержки поездов в ожидании технического осмотра



Сравнительный анализ теоретической и эмпирической функций задержек поездов в
ожидании осмотра

№ варианта	Факторные признаки				Фактические значения задержек поездов	Теоретические значения задержек поездов
	x_5	x_6	x_7	x_8		
1	45	3	3	35	0	-10,616
2	45	4	3	35	1,6	-4,233
3	45	5	3	35	2	2,151
4	45	6	3	35	4,6	8,5346
5	55	3	3	35	0,6	-7,616
6	55	4	3	35	2,4	-1,233
7	55	5	3	35	4,8	5,151
8	55	6	3	35	4,2	11,535
9	65	3	3	35	1,4	-4,616
10	65	4	3	35	2,8	1,767
11	65	5	3	35	5,4	8,151
12	65	6	3	35	5,8	14,535
13	45	3	1	20	15	19,006
14	45	4	1	20	22	25,389
15	45	5	1	20	30	31,773
16	45	6	1	20	36,2	38,156
17	55	3	1	20	18	22,005
18	55	4	1	20	26,2	28,389
19	55	5	1	20	36,6	34,7773
20	55	6	1	20	45	41,156
21	65	3	1	20	22	25,006
22	65	4	1	20	32	31,389
23	65	5	1	20	43,4	37,773
24	65	6	1	20	53,4	44,157
25	45	3	2	50	15	18,594
26	45	4	2	50	22	24,978
27	45	5	2	50	36	31,362
28	55	3	2	50	18	21,595
29	55	4	2	50	27	27,979
30	55	5	2	50	50,8	34,362
31	45	3	3	50	0	-1,0162
32	45	4	3	50	7,4	5,367
33	45	5	3	50	12	11,751
34	55	3	3	50	0	1,983
35	55	4	3	50	8,6	8,367
36	55	5	3	50	14,8	14,751
37	65	3	3	50	0	4,984
38	65	4	3	50	10,6	11,367
39	65	5	3	50	17,2	17,751

Сравнение теоретической и эмпирической функций задержек поездов в ожидании технического осмотра

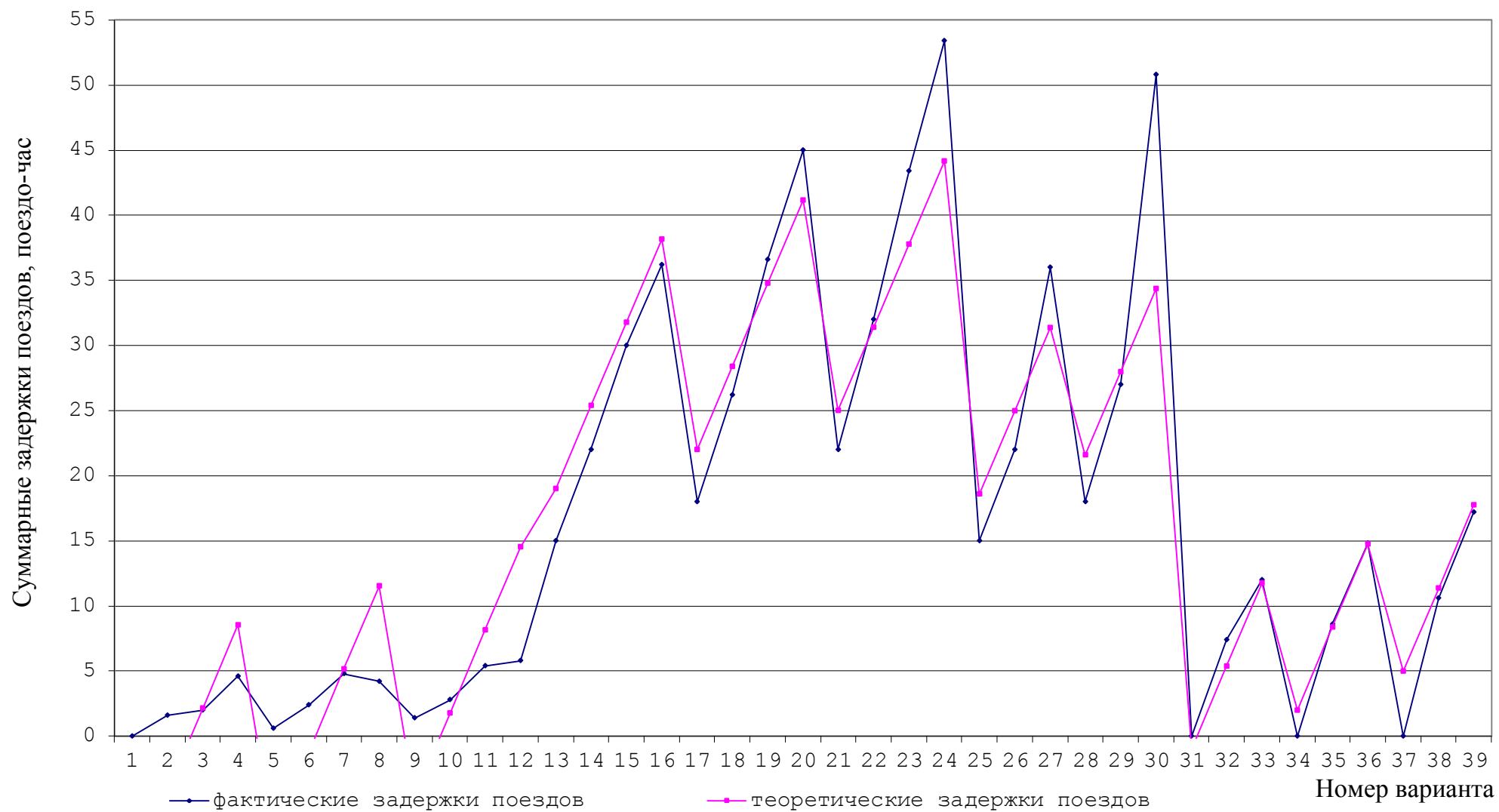


Рисунок 37

Показатели проверки адекватности полученного уравнения регрессии задержек поездов
в ожидании осмотра

Наименование параметров	Значение параметра
Коэффициент детерминации	0,89
Расчётный F – критерий Фишера	72,25
Табличный F – критерий Фишера для степеней свободы $l=34, k=4$	2,76
Стандартное значение ошибки для коэффициентов регрессии:	
a_0	7,86
a_1	0,109
a_2	0,84
a_3	1,37
a_4	0,101
Расчётный t – критерий для коэффициентов:	
a_0	4,546
a_1	1,321
a_2	5,322
a_3	3,789
a_4	6,454
Табличный t – критерий для $\alpha = 0,05; l=35$	9,7

Корреляционный анализ на основе парных коэффициентов корреляции показал, что наиболее сильное влияние оказывает количество одновременно осматриваемых поездов. Парный коэффициент корреляции данного фактора $r_{yx_7} = 0,795$.

Проверка адекватности полученного уравнения подтвердила верность выдвинутой гипотезы о линейной зависимости задержек поездов в ожидании технического осмотра от выбранных факторов.

7.3. Влияние неравномерности поездопотока на величину дополнительных задержек поездов в период проведения капитального ремонта пути

Рассмотренные выше модели не учитывают влияние неравномерности поездопотока на величину дополнительных задержек поездов. Для устранения этого недостатка

модели необходимо разработать методику оперативного расчёта коэффициентов неравномерности и скорректировать полученные модели определения суммарных задержек поездов с учётом неравномерности.

7.3.1. Определение внутрисуточной неравномерности поездопотока и её влияние на величину дополнительных задержек поездов

Наиболее существенный вклад в изучение неравномерности поездопотока внесли Угрюмов А.К., Кудрявцев В.А., Левин Д.Ю, Бодюл В.И.

Угрюмовым А.К. [165] проанализированы причины, вызывающие сезонные, суточные и внутрисуточные колебания размеров движения грузовых поездов, выявлены закономерности суточных колебаний и определена величина суточной неравномерности, которую следует учитывать в эксплуатационных расчётах. Показано влияние суточных колебаний на расчёт пропускной способности линий. Угрюмов А.К. установил, что суточные колебания размеров движения поездов подчиняются закону нормального распределения.

Левин Д.Ю. [215] указал причины изменения интенсивности движения поездов в течение суток и предложил формулы для определения коэффициентов годовой и суточной неравномерности. В работе [216] установлена взаимосвязь пропускной способности участка (интенсивности потока), скорости и плотности движения потока поездов.

При рассмотрении процессов, происходящих в сутки проведения работ по капитальному ремонту пути, необходимо исследовать изменение внутрисуточной неравномерности.

Кудрявцев В.А. в своей работе [86] отмечает, что в современных условиях возрастает фактор неопределённости и, как следствие, возрастает размах колебаний поездопотока. При рассмотрении внутрисуточной неравномерности им рекомендуется иметь резерв пропускной способности в размере 20%. В противном случае возникают задержки поездов, причём для устранения затора требуется значительный спад размеров движения. Автором даются рекомендации по выбору «окон» для работ по ремонту и текущему содержанию технических устройств, указывается на необходимость проведения специальных мероприятий (пропуск сдвоенных поездов, перевыполнение нормативов графика

движения поездов, ускорение операций на станциях и т.п.) при оперативном планировании работы в период «окон»

Изменение внутрисуточной неравномерности при подходе к стыковым пунктам на одной из дорог сети изучил Артемьев Н.И. [217]. Он показал, что потоки поездов можно рассматривать как случайные величины и установил, что колебания приёма поездов по стыковым пунктам дороги при небольших размерах поездопотока подчинены закону Пуассона или искажённому нормальному закону, а при больших размерах движения – нормальному закону.

В диссертации Бодюла В.И. [218] разработаны концепция упреждающего управления погрузкой, выгрузкой, передачей, развозом местного груза в условиях внутрисуточной неравномерности и ситуационная повагонная модель для прогнозного моделирования процессов и расчета показателей эксплуатационной работы железных дорог на временные периоды 3, 6 и 12 часов с выделением колебаний, обусловленных субъективными факторами. На её базе нормируются показатели и осуществляется оперативное управление эксплуатационной работой. Автором доказана необходимость учёта внутрисуточной неравномерности в системах технического нормирования и оперативного управления эксплуатационной работой железных дорог.

В диссертации Парамоновой Н.В. [219] выполнены расчёты расходов, связанных с задержками и остановками поездов при предоставлении «окон» при организации пропуска поездов на двухпутном перегоне, в зависимости от продолжительности «окна» и числа предоставляемых «окон» для заданного объема путевых работ. В работе предложена методика определения оптимальной продолжительности «окон» и их числа по критерию наименьших общих расходов, в которых учтены затраты: на ремонтно-строительные работы; задержки и остановки поездов. Методика позволяет оценить расходы при различных вариантах организации пропуска поездов и выбрать оптимальную продолжительность «окон» с рациональным вариантом пропуска поездов.

Поток поездов в течение суток характеризует интервал между поездами. При этом необходимо рассматривать минимальный, максимальный и средний интервал.

Для изучения внутрисуточной неравномерности были проанализированы графики исполненного движения за период проведения летних путевых работ 2004 г. семи диспетчерских участков главного хода Забайкальской железной дороги [220]. В расчёт приняты только графики, не имеющие «окон» в данные сутки на рассматриваемом и пред-

шествующем участках, так как «окна» искажают случайный характер колебаний поездопотока. Распределение временных интервалов между поездами и моменты их отправления определены в горизонтальном сечении исполненных графиков движения. Очень важно правильно выбрать место сечения. На выходе и на входе в один и тот же участок неравномерность движения различна.

Технические станции сглаживают неравномерность поездопотока. Как правило, при этом сглаживающим элементом является операция, лимитирующая время простоя поездов на этой станции. Чаще всего это – технический осмотр. При большой интенсивности поездопотока бригады ПТО загружены практически максимально, поэтому поезда отправляются по мере осмотра почти равномерно. Далее же по мере продвижения поездопотока по участку происходит воздействие различных факторов («окна», неисправности СЦБ или подвижного состава, обгон пассажирскими поездами и т.д.), что приводит к увеличению неравномерности. На нарушение равномерности отправления поездов с технических станций наибольшее влияние оказывают пассажирские поезда, из-за которых сдвигаются нитки грузовых поездов. В периоды сгущённого следования пассажирских поездов значительно снижается интенсивность грузового движения. Большую внутрисуточную неравномерность вызывает пригородное движение.

Грузовые же станции наоборот резко нарушают среднечасовой ритм работы из-за неравномерного характера погрузочно-выгрузочных и транспортно-экспедиционных операций.

Сгущается движение грузовых поездов к отчётному часу на участках, примыкающих к стыковым пунктам дорог.

В соответствии с этим, наибольший интерес представляет горизонтальное сечение графиков движения поездов на входе и выходе с участка. Результаты статистического анализа интервалов приведены в таблице 31.

Таблица 31

Параметры статистического анализа интервалов между поездами

Наименование показателей	Направление поездопотока	
	Чётное	Нечётное
Минимальный интервал, мин	7	7
Максимальный интервал, мин	210	220
Математическое	32,66	31,65

ожидание, мин		
Среднее квадратическое отклонение, мин	31,17	29,50
Коэффициент вариации	0,95	0,93
Коэффициент неравномерности	1,9	1,86

Коэффициенты неравномерности, рассчитанные на основе интервалов между поездами, недостаточно точно характеризуют неравномерность поездопотока в различные периоды суток. Полученные коэффициенты характеризуют неравномерность не в течение суток, а за период всех рассмотренных графиков выполненного движения. Поэтому необходимо продолжить исследование.

Интервал между поездами характеризуется интенсивностью поездопотока, под которой в работе понимается количество поездов, проходящих через сечение участка за единицу времени. В качестве расчётного периода времени можно принимать год, месяц, сутки, час в зависимости от поставленной задачи [215]. Согласно [165, 217, 221] интенсивность поездопотока подчиняется нормальному распределению.

Рассмотрены следующие периоды: один час, три часа, шесть часов, восемь часов, 10 часов, 12 часов, 14 часов, 24 часа. Интенсивность поездопотока определялась для данных периодов путём подсчёта количества поездов в каждый из интервалов времени.

В теории эксплуатационной работы известны несколько способов определения коэффициентов неравномерности.

Первый способ:

$$k_{\text{нер}} = \frac{N_{\text{макс}}}{N_{\text{ср}}}, \quad (101)$$

где: $N_{\text{макс}}$ – максимальное значение интенсивности поездопотока, поездов/ч;

$N_{\text{ср}}$ – среднее значение интенсивности поездопотока, поездов/ч.

На интервалы между поездами оказывает влияние огромное количество факторов, поэтому их можно рассматривать как случайные величины и исследовать методами математической статистики и теории вероятности. Целью определения неравномерности является её учёт при определении задержек поездов в период «окна». Ремонтируемый перегон рассматривается как система массового обслуживания. Колеблемость случайной величины характеризуется коэффициентом вариации ν , который определяется по формуле:

$$\nu = \frac{\sigma_x}{M_x}, \quad (102)$$

где: σ_x – среднее квадратическое отклонение;

M_x – математическое ожидание.

Второй способ:

$$k_{\text{нер}} = 1 + \nu. \quad (103)$$

Третий способ:

$$k_{\text{нер}} = 1 + \nu^2. \quad (104)$$

Результаты расчётов показателей для чётного и нечётного направлений, полученных на основе статистической обработки данных, для каждого способа приведены в таблице 32.

Таблица 32

Параметры статистического анализа интенсивности поездопотока

Наименование показателя	Период времени, ч							
	1	3	6	8	10	12	14	24
Чётное направление								
Среднее значение интенсивности поездопотока	2,05	6,16	12,32	16,4	20,53	24,59	29,56	49,11
Среднеквадратическое отклонение интенсивности поездопотока	1,27	2,14	2,91	3,8	3,98	4,37	4,11	7,09
Максимальное значение интенсивности поездопотока	6	12	21	26	30	35	41	65
Коэффициент неравномерности (1 способ)								
Коэффициент вариации	0,62	0,35	0,24	0,23	0,19	0,18	0,17	0,14
Коэффициент неравномерности (2 способ)	1,62	1,35	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,14
Коэффициент неравномерности (3 способ)	1,38	1,12	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02
Нечётное направление								
Среднее значение интенсивности поездопотока	1,82	5,44	10,89	14,51	18,15	21,76	25,86	43,37

Наименование показателя	Период времени, ч							
	1	3	6	8	10	12	14	24
Среднеквадратическое отклонение интенсивности поездопотока	1,16	2,1	3,16	3,51	4,19	4,29	5,23	6,21
Максимальное значение интенсивности поездопотока	6	11	18	24	26	30	35	56
Коэффициент неравномерности (1 способ)								
Коэффициент вариации	0,64	0,39	0,29	0,24	0,23	0,197	0,2	0,14
Коэффициент неравномерности (2 способ)	1,64	1,39	1,29	1,24	1,23	1,197	1,2	1,14
Коэффициент неравномерности (3 способ)	1,41	1,15	1,08	1,06	1,05	1,04	1,04	1,02

Максимальное количество поездов в час зависит от минимального интервала между поездами. При интервале десять минут – 6 поездов/ч, при интервале семь минут – 6 поездов/ч, следовательно, максимальная интенсивность находится в интервале 6-8 поездов/ч. Минимальная интенсивность равна нулю. Чем меньше рассматриваемый период, тем больше неравномерность, по мере приближения его величины к 24 ч влияние колебаний на величину интенсивности поездопотока уменьшается, и коэффициент неравномерности снижается. Сравнительный анализ результатов расчета в чётном и нечетном направлениях, позволяет сделать вывод, что чем меньше интенсивность поездопотока, тем больше коэффициенты неравномерности.

На рисунках 38-43 представлены графики изменения коэффициентов внутрисуточной неравномерности поездопотока для каждого способа расчета в зависимости от рассматриваемого периода.

Чтобы убедиться в достаточной надёжности полученных данных, необходимо определить минимальный объём выборки для оценки среднего значения интенсивности поездопотока с заданной допустимой погрешностью Δ_x и надёжностью $P_t = 0,95$ ($t = 5$) [212, 222].

$$N = \frac{t^2 * \sigma_x^2}{\Delta_x^2}, \quad (105)$$

где: t – параметр нормального распределения, характеризующий размах рассеивания случайной величины x при заданной достоверности γ ;

σ_x^2 – дисперсия.

Параметр t находится по таблице функции Лапласа [222] из соотношения:

$$2\Phi(t) = \gamma. \quad (106)$$

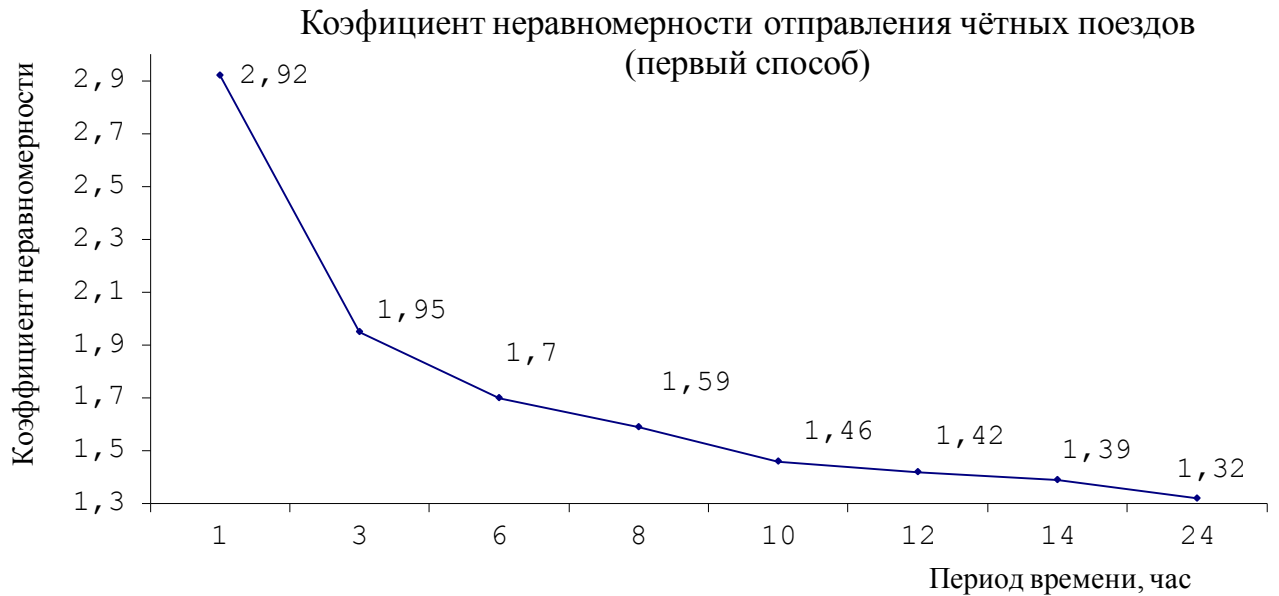


Рисунок 38



Рисунок 39

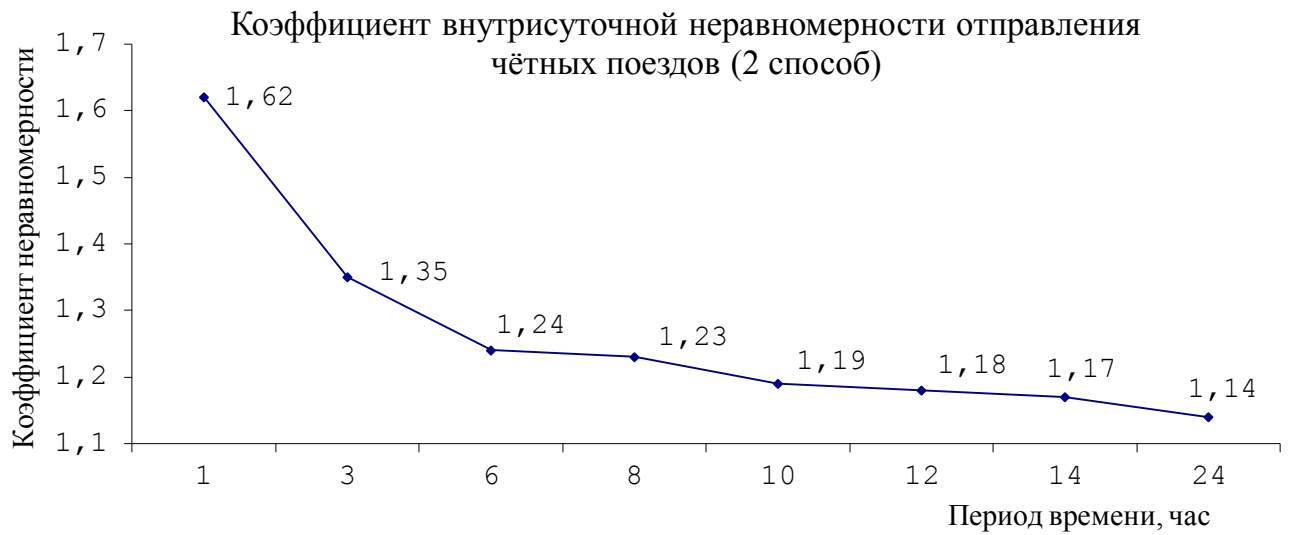


Рисунок 40

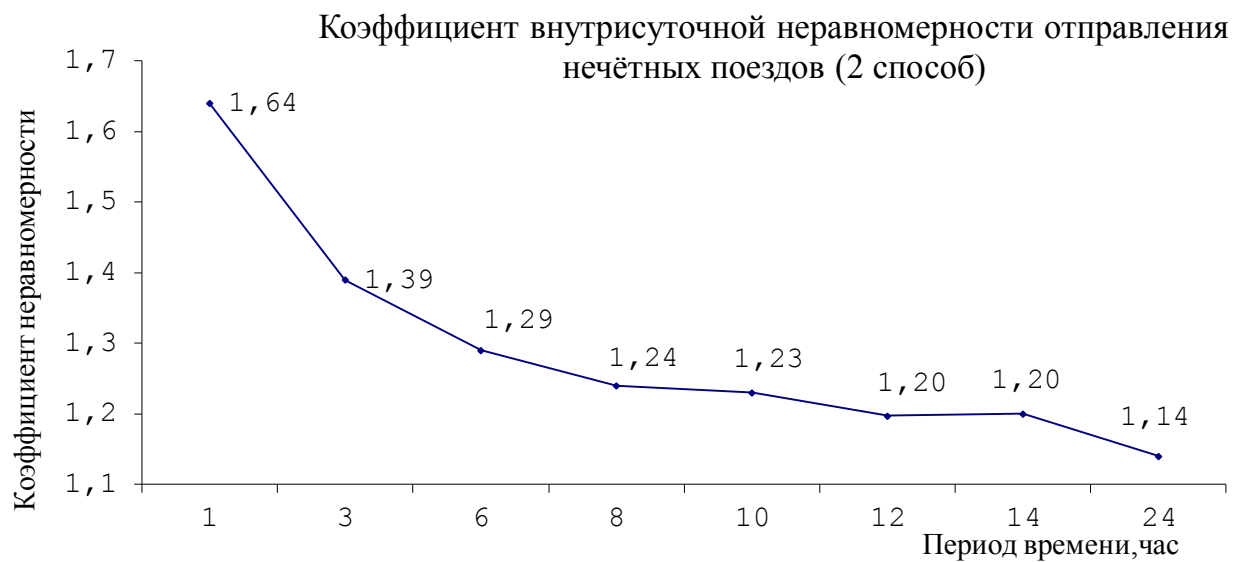


Рисунок 41

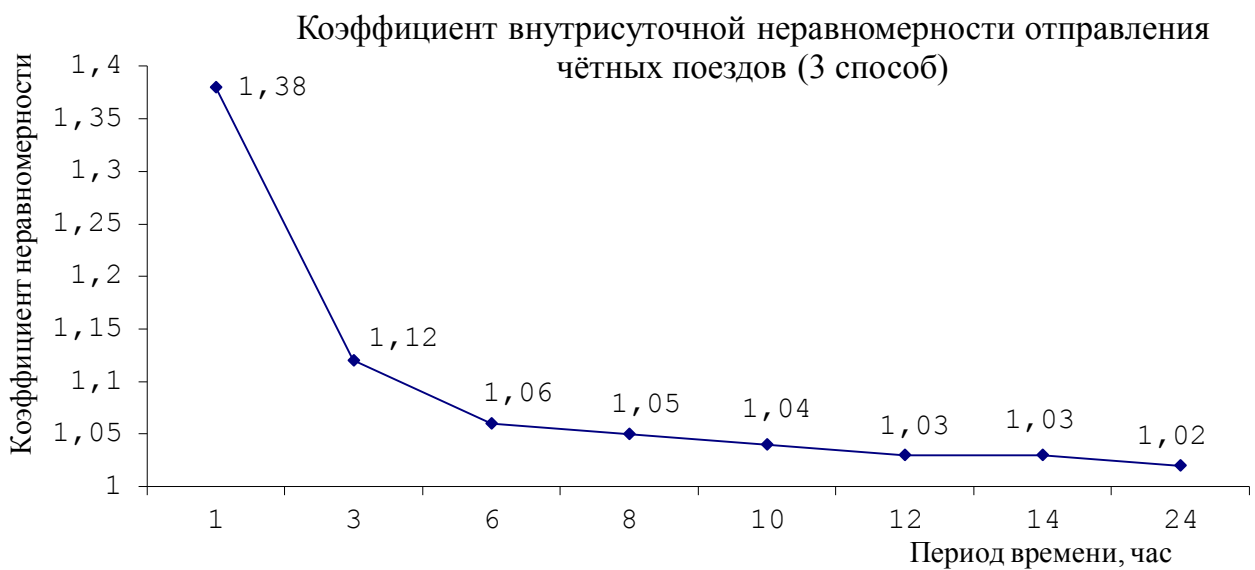


Рисунок 42

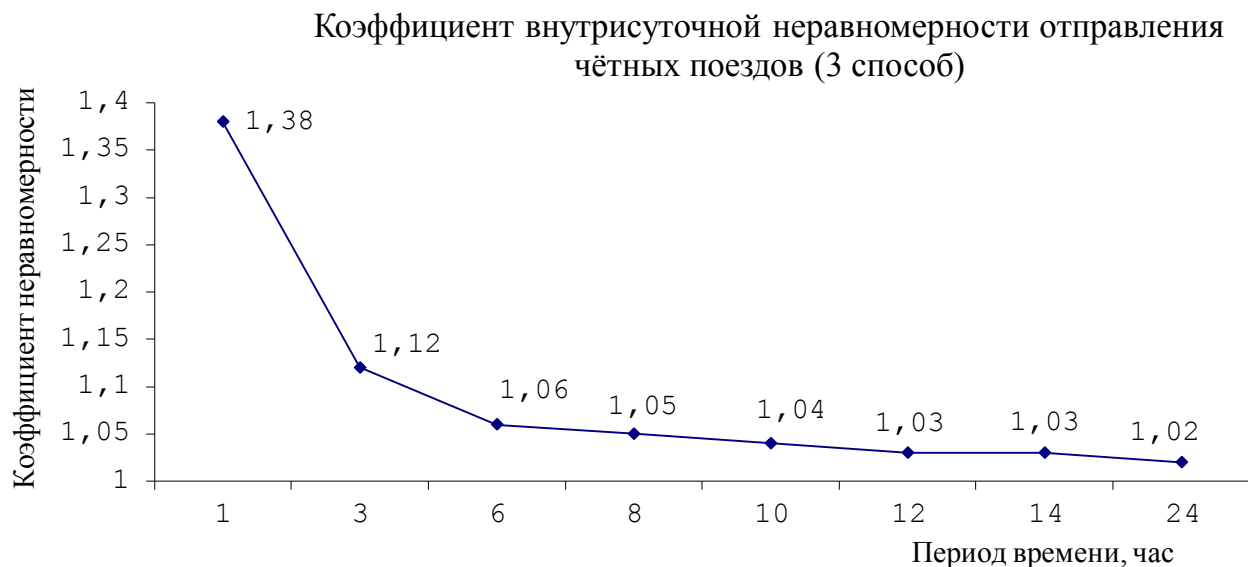


Рисунок 43

При заданной надёжности оценки 0,95, $t=1,96$. Допустимая абсолютная погрешность принята в зависимости от продолжительности рассматриваемого периода в интервале от 0,1 до двух поездов. Минимальный объём выборки определён для периода 24 ч, так как он имеет самое высокое значение среднего квадратического отклонения.

Для нечётного направления: $N = \frac{1,96^2 * 6,21^2}{2^2} = 37$. Фактически выборка составляет 46. Для чётного направления: $N = \frac{1,96^2 * 7,09^2}{2^2} = 48$. Фактическая выборка составляет 53.

Аналогично рассчитаны объёмы выборки для каждого периода, результаты приведены в таблице 33.

Таблица 33

Минимальный объём выборки

Наименование показателей	Период времени, час							
	1	3	6	8	10	12	14	24
Чётное направление поездопотока								
Допустимая абсолютная погрешность, поезда	0,1	0,25	0,5	0,6	0,7	1	1,2	2
Среднее квадратическое отклонение	1,27	2,14	2,91	3,8	3,98	4,37	5,11	7,09
Расчётный минимальный объём выборки	619	282	130	154	124	74	70	49
Фактический объём выборки	1272	424	212	159	127	106	91	53
Нечётное направление поездопотока								
Допустимая абсолютная	0,1	0,25	0,5	0,6	0,7	1	1,2	2

Наименование показателей	Период времени, час							
	1	3	6	8	10	12	14	24
погрешность, поезда								
Среднее квадратическое отклонение	1,16	2,1	3,16	3,51	4,19	4,29	5,23	6,21
Расчётный минимальный объём выборки	516	271	154	131	108	71	73	37
Фактический объём выборки	1104	368	184	138	110	92	79	46

Таким образом, фактические выборки для каждого периода больше расчётных, следовательно, можно утверждать, что количество наблюдений обеспечит достаточную степень надёжности. С вероятностью 0,95 максимальная погрешность не превысит двух поездов в сутки.

Чтобы выбрать наиболее приемлемый способ определения коэффициентов неравномерности для поставленной задачи учета её влияния на величину дополнительных задержек поездов в период проведения капитального ремонта пути, необходимо выполнить сравнительный анализ фактических задержек поездов в реальных условиях «окна» и задержек, рассчитанных с использованием модели, учитывающей коэффициенты неравномерности, определенные разными способами.

7.3.2. Корректировка моделей задержек поездов с учётом внутрисуточной неравномерности поездопотока

Для учёта внутрисуточной неравномерности в моделях (94), (97) и (98) интенсивность поездопотока должна определяться с применением рассчитанных коэффициентов неравномерности. Предельная интенсивность поездопотока принята равной часовой потребной пропускной способности перегона и может быть определена:

$$N_{потр} = N_{потр}^{чет} + N_{потр}^{неч}, \quad (107)$$

где: $N_{потр}^{чет}$; $N_{потр}^{неч}$ – часовая потребная пропускная способность, соответственно, в чётном и нечётном направлениях:

$$N_{потр}^{чет(неч)} = \frac{N_{гр}^{чет(неч)} * K_{нер}^{чет(неч)} + N_{нс}^{чет(неч)} * \varepsilon_{нс} + N_{сб}^{чет(неч)} * \varepsilon_{сб}}{24}, \quad (108)$$

где: $N_{гр}^{чет(неч)}$ – суточные размеры движения грузовых поездов, соответственно, в чётном и нечётном направлениях;

$N_{nc}^{чет(неч)}$ – суточные размеры движения пассажирских поездов, соответственно, в чётном и нечётном направлениях;

$N_{сб}^{чет(неч)}$ – суточные размеры движения сборных поездов, соответственно, в чётном и нечётном направлениях;

ε_{nc} – коэффициент съёма грузовых поездов пассажирскими;

$\varepsilon_{сб}$ – коэффициент съёма грузовых поездов сборными;

$k_{нер}^{чет(неч)}$ – коэффициент неравномерности движения грузовых поездов, соответственно, в чётном и нечётном направлениях.

7.3.3. Экспериментальная проверка разработанной модели суммарных задержек поездов

При составлении модели суммарных задержек поездов, вызванных недостатком пропускной способности, для её упрощения приняты некоторые допущения:

- нитки грузовых и пассажирских поездов равномерно распределены в течение суток;
- времена хода поездов в чётном и нечётном направлениях одинаковы.

Для проверки того, насколько качественно полученная модель работает в реальных условиях эксплуатационной работы, при предоставлении «окон» для капитального ремонта пути, в едином дорожном центре управления (ЕДЦУ) Забайкальской железной дороги проведён эксперимент. Цель эксперимента – на основе разработанной моделей (94), (97) и (98), сделать прогноз задержек поездов при различных способах расчета коэффициента неравномерности для конкретного «окна» и сравнить его с фактическими задержками.

Эксперимент проводился на полигоне Забайкальской железной дороги. Время проведения – июнь-июль 2004 г.

На каком-либо из десяти диспетчерских участков, в соответствии с планом летних путевых работ, выбиралось одно из «окон». Его основные параметры:

- участок проведения Петровский Завод-Могзон;
- перегон Бада-Хохотуй (разделен на две части временным блок-постом, организованным на месте закрытого раздельного пункта);

- планируемые размеры движения поездов и времена хода грузовых, пассажирских и сборных поездов приведены в таблице 34;
- планируемая продолжительность «окна», число блок-постов и прогноз задержек поездов в «окно» приведён в таблице 35.

Таблица 34

Планируемые размеры движения поездов и времена их хода для экспериментального перегона

Направление	Потребная пропускная способность в сутки проведения «окна», поездов/стуки		Времена хода поездов по участку, мин		
	Грузовых	Пассажирских	Грузовых	Пассажирских	Сборных
Чётное	38	11	38,5	36	38,5
Нечётное	36	11	38,5	36	38,5

Таблица 35

Прогноз задержек поездов в «окно» на экспериментальном перегоне

Потребная пропускная способность		Время окна, ч	Число блок-постов	Ожидаемые поездо-часы задержек при расчёте по формулам:		
суточная	часовая			(102)	(103)	(104)
110,02	4,52	10	0	147	120	105

На основе перегонных времён хода грузовых, пассажирских поездов, размеров движения определены суточная, а затем и часовая потребная пропускная способность. По формуле (94) сделаны прогнозы ожидаемых задержек поездов в предстоящее «окно».

Фактические задержки поездов снимались в ЕДЦУ Забайкальской железной дороги непосредственно на рабочем месте поездного диспетчера участка Петровский Завод-Могзон в период проведения «окна», которое началось в 7-00 местного времени. Во время его проведения фиксировались номер поезда, время остановки поезда и его отправления. При этом не учитывались остановки поездов:

- вызванные неисправностями локомотива или вагонов;
- вызванные окончанием предельно-допустимой продолжительности работы локомотивной бригады, причиной которого являлось не данное «окно»;
- вызванные неисправностями пути или устройств СЦБ.

Наблюдение продолжалось до тех пор, пока все задержанные в «окно» поезда не были отправлены.

На характер работы диспетчерского участка большое влияние оказывает его месторасположение на полигоне дороги. Этот фактор определяет приоритетность в пропуске

поездов: на восточном участке Забайкальской железной дороги в первую очередь пропускаются чётные поезда, сдаваемые на Дальневосточную дорогу, на западном участке, наоборот, нечётные поезда, сдаваемые на Восточно-Сибирскую железную дорогу. Это в свою очередь отражается на пропуске поездов в период «окна» и характере задержек. Так, например, первый рассматриваемый участок является стыковым с Восточно-Сибирской железной дорогой, поэтому при пропуске через ограничивающий перегон приоритет имели нечётные поезда. Кроме того, на размеры задержек поездов оказывает влияние путевое развитие на станциях участка, наличие путей, вмещающих поезда длиной 71 условный вагон и более. Поезда останавливались как на станциях участка, так и на перегоне перед станцией скрещения пакетов. «Окно» закончилось в 14-30 минут. Расчёт задержек поездов представлен в таблице 36.

Таблица 36

Расчёт фактических задержек поездов в «окно» для экспериментального перегона

№ поезда	Станция остановки	Время		Фактические поезде-часы задержек
		остановки	отправления	
2917	Хилок	6-45	9-30	2,75
2810	Петровский Завод	8-15	8-35	0,33
2187	Хилок	9-05	9-50	0,75
2265	Хилок	9-55	12-40	2,75
2906	Петровский Завод	10-16	21-10	10,9
2305	Хилок	10-20	12-50	2,5
2303	Хушенга	10-20	12-00	1,6
2251	Хилок	10-35	14-10	3,25
2311	Гыршелун	10-40	12-15	1,58
2365	Хушенга	10-40	12-10	1,5
3401	Тайдут	11-00	12-45	1,75
2822	Петровский Завод	11-25	21-20	9,9
2020	Декабристы	12-30	21-30	9
2311	Хилок	12-50	14-20	1,5
2251	Жипхеген	13-10	16-58	3,8
2311	Жипхеген	13-20	17-07	3,78
2303	Хилок	13-20	14-30	2,2
2303	Жипхеген	13-30	17-16	3,77
2365	Жипхеген	13-40	17-26	3,77
918	Новопавловка	13-40	16-30	2,8
2801	Жипхеген	13-50	17-36	3,77
2863	Жипхеген	14-00	17-46	3,77
2365	Хилок	14-00	14-40	0,67
2404	Баляга	14-10	23-00	8,8
3401	Хилок	14-15	15-15	1
1463	Жипхеген	16-15	18-05	1,8

№ поезда	Станция остановки	Время		Фактические поездо-часы задержек
		остановки	отправления	
2361	Жипхеген	16-40	18-17	1,6
2151	Жипхеген	17-44	18-37	1,88
2907	Жипхеген	17-55	18-24	0,48
2303	Жипхеген	18-00	18-48	0,8
СУММА:				93,5

Для экспериментальной проверки статистической модели требуется объём выборки, равный пяти-восьми наблюдениям на один фактор [222]. Так как в данной модели четыре фактора, необходимо проанализировать не менее 20 «окон».

Аналогично определены фактические задержки поездов ещё по девятнадцати «окнам» разной продолжительности на различных участках Забайкальской железной дороги. Расчеты показали, что наименьшее расхождение расчетных и фактических задержек поездов при определении коэффициентов неравномерности по формуле (104). Организация блок-постов, не применялась ни в одном из контрольных случаев, поэтому для всех вариантов принято $N_{\text{бл}} = 0$. Оценка результатов эксперимента и сравнительный анализ теоретических и фактических задержек поездов представлены в таблице 37.

Соответствие прогнозируемых задержек поездов фактическим проверено по критерию Пирсона для третьего способа определения коэффициентов неравномерности.

На рисунке 44 показано сравнение теоретических и фактических задержек поездов.



Рисунок 44

Таблица 37

Оценка результатов эксперимента

№	Участок	Перегон		N_{ep}	$N_{пс}$	$t_{пс}^x$, мин	t_{ep}^x , мин	$k_{нер}$, по формуле			$N_{потр}$, п/ч	$T_{ок}$, ч	$\sum Nt_{\phi}$	$\sum Nt_{расч}$, при расчёте $k_{нер}$ по формуле		
								(101)	(103)	(104)				(101)	(103)	(104)
1	Белогорск-Архара	Тур-Завитая	чёт	37	11	11	13	1,65	1,24	1,06	4,54	6	12,2	28,76	21,61	18,48
			неч	35	11	11	13	1,7	1,29	1,08						
2	П-Завод-Могзон	Бада-Хохотуй-Блок-пост	чёт	38	11	36	38,5	1,46	1,19	1,04	4,58	10	93,5	147,51	120,23	105,08
			неч	36	11	36	38,5	1,48	1,23	1,05						
3	Могзон-Чита	Могзон-Гонгота	чёт	51	12	19	23	1,46	1,2	1,04	5,84	9	119,0	185,44	152,42	132,10
			неч	46	12	19	23	1,48	1,24	1,06						
4	П-Завод-Могзон	Бада-Хохотуй	чёт	44	11	18,5	22,5	1,32	1,19	1,03	4,78	13	121,5	153,22	138,13	119,56
			неч	33	11	18,5	22,5	1,32	1,2	1,04						
5	Чита-Карымская	Туринская-Карымская	чёт	40	13	26,5	30	1,59	1,23	1,05	5,32	8	82,92	142,78	110,45	94,29
			неч	44	12	26,5	30	1,66	1,24	1,06						
6	Шимановская-Белогорск	Свободный-Усть-Пера	чёт	33	12	7	9	1,65	1,24	1,06	4,66	6	14,20	27,33	20,54	17,56
			неч	39	12	7	9	1,7	1,29	1,08						
7	Магдагачи-Шимановская	Берея-Шимановская	чёт	35	11	18	20	1,65	1,24	1,06	4,81	6	25,40	46,36	34,84	29,79
			неч	43	11	18	20	1,7	1,29	1,08						
8	Магдагачи-Шимановская	Берея-Шимановская	чёт	30	11	19	25	1,32	1,18	1,03	4,62	12	80,15	122,07	109,12	95,25
			неч	40	11	19	25	1,32	1,2	1,04						
9	Карымская-Чернышевск	Карымская-Тарская	чёт	40	14	16	17	1,59	1,23	1,05	5,03	8	40,25	69,99	54,14	46,22
			неч	38	14	16	17	1,66	1,24	1,06						
10	Карымская-Чернышевск	Зубарево-Размахнино-Солнцева	чёт	46	11	29	35	1,59	1,23	1,06	4,67	7	49,50	84,68	65,50	56,45
			неч	23	11	29	35	1,66	1,24	1,08						
11	Карымская-Чернышевск	Зубарево-Размахнино	чёт	38	10	16,5	20	1,59	1,23	1,05	4,29	8	32,33	43,38	33,56	28,65
			неч	30	10	16,5	20	1,66	1,24	1,06						
12	Чернышевск-Могоча	Блок-пост-Кислый ключ	чёт	30	10	17	18	1,46	1,19	1,04	3,76	11	22,83	43,10	35,13	30,70
			неч	30	10	17	18	1,48	1,23	1,05						

№	Участок	Перегон		N_{ep}	$N_{пс}$	$t_{пс}^x$, мин	t_{ep}^x , мин	$k_{нер}$, по формуле			$N_{потр}$, п/ч	$T_{ок}$, ч	$\sum Nt_{\phi}$	$\sum Nt_{расч}$, при расчёте $k_{нер}$ по формуле		
								(101)	(103)	(104)				(101)	(103)	(104)
13	Уруша-Магдагачи	Ковали-Ульручи-Ангариц	чёт	30	10	22	29	1,65	1,24	1,06	4,87	6	27,75	68,13	51,20	43,77
			неч	45	10	22	29	1,7	1,29	1,08						
14	Уруша-Магдагачи	Сковородино-Большой Невер	чёт	36	6	18	22,5	1,59	1,23	1,05	4,44	8	40,00	53,49	41,38	35,33
			неч	40	10	18	22,5	1,66	1,24	1,06						
15	Уруша-Магдагачи	Большой Невер-Ковали	чёт	35	9	17	23	1,32	1,18	1,03	4,42	12	70,17	96,44	86,21	75,25
			неч	37	9	17	23	1,32	1,2	1,04						
16	Уруша-Магдагачи	Талдан-Гудачи	чёт	41	8	36	45	1,65	1,24	1,06	4,48	6	52,60	90,87	68,29	58,38
			неч	30	8	36	45	1,7	1,29	1,08						
17	Могоча-Уруша	Малые Ковали-Аячи	чёт	39	8	21	24	1,59	1,23	1,05	3,92	8	28,10	37,43	28,96	24,72
			неч	27	8	21	24	1,66	1,24	1,06						
18	Могоча-Уруша	Колокольный-Чичатка	чёт	30	9	20,5	25,5	1,32	1,18	1,03	3,89	12	49,58	69,32	61,97	54,09
			неч	31	9	20,5	25,5	1,32	1,2	1,04						
19	Белогорск-Архара	Тюкан-Буря	чёт	26	8	18	23,5	1,46	1,18	1,04	4,09	11	45,90	69,06	55,82	49,19
			неч	40	9	18	23,5	1,48	1,2	1,05						
20	Могоча-Уруша	Возжаевка-Поздеевка	чёт	37	8	17	23,5	1,65	1,24	1,06	4,81	6	28,67	52,88	39,74	33,97
			неч	44	8	17	23,5	1,7	1,29	1,08						
													1036,55	1632,24	1329,24	1148,83

Критерий Пирсона $\chi^2 = 16,0$

$P(\chi^2) = 0,4528$

В соответствии с [194, 222] при $P(\chi^2) > 0,1$ гипотеза считается достоверной. Значение вероятности 0,4528 показывает высокую степень согласованности и позволяет рекомендовать полученную модель (94) к использованию в практических целях на любом участке сети дорог.

7.3.4. Определение вида зависимости коэффициентов неравномерности от продолжительности рассматриваемого периода

Методом наименьших квадратов определены коэффициенты регрессии и установлен вид зависимостей четного и нечетного коэффициента неравномерности от рассматриваемого периода:

$$k_{\text{неч}}^{\text{чет}} = 1 + \frac{0,37722}{T}, \quad (109)$$

$$k_{\text{неч}}^{\text{неч}} = 1 + \frac{0,40276}{T}. \quad (110)$$

Согласованность теоретической и эмпирической зависимостей коэффициентов неравномерности от продолжительности рассматриваемого периода проверена с помощью критерия Пирсона (таблица 38). Проверка показала высокую согласованность эмпирической и теоретической функций.

Таблица 38

Результаты проверки согласованности теоретического и эмпирического закона распределения коэффициентов неравномерности

Период времени, час	Эмпирическое значение коэффициента неравномерности		Теоретическое значение коэффициента неравномерности	
	Чётное направление	Нечётное направление	Чётное направление	Нечётное направление
1	1,38	1,41	1,38	1,41
3	1,12	1,15	1,13	1,14
6	1,06	1,08	1,06	1,08
8	1,05	1,06	1,05	1,06
10	1,04	1,05	1,04	1,05
12	1,03	1,04	1,03	1,04
14	1,03	1,04	1,03	1,04
24	1,02	1,02	1,02	1,03
Критерий Пирсона χ^2 $P(\chi^2)$			0,0006	0,0008
			1	1

7.4. Оптимизация пропуска поездов в период капитального ремонта пути

7.4.1. Условие недопущения суточного съёма поездов

В теории эксплуатационной работы понятие наличной и потребной пропускной способности распространяется на период времени, как правило, равный одним суткам. При рассмотрении процессов, происходящих с наличной и потребной пропускной способностями в дни проведения работ по капитальному ремонту пути, предлагается использовать не суточный период, а период в один час, а также рассчитывать часовую пропускную способность не в парах поездов, а в поездах.

Необходимость кратковременного усиления пропускной способности и выбор способа организации поездной работы определяется разницей наличной и потребной пропускной способностей.

Для построения модели (рисунок 45) вводятся обозначения:

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

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

Динамика наличной и потребной пропускных способностей при проведении капитального ремонта пути

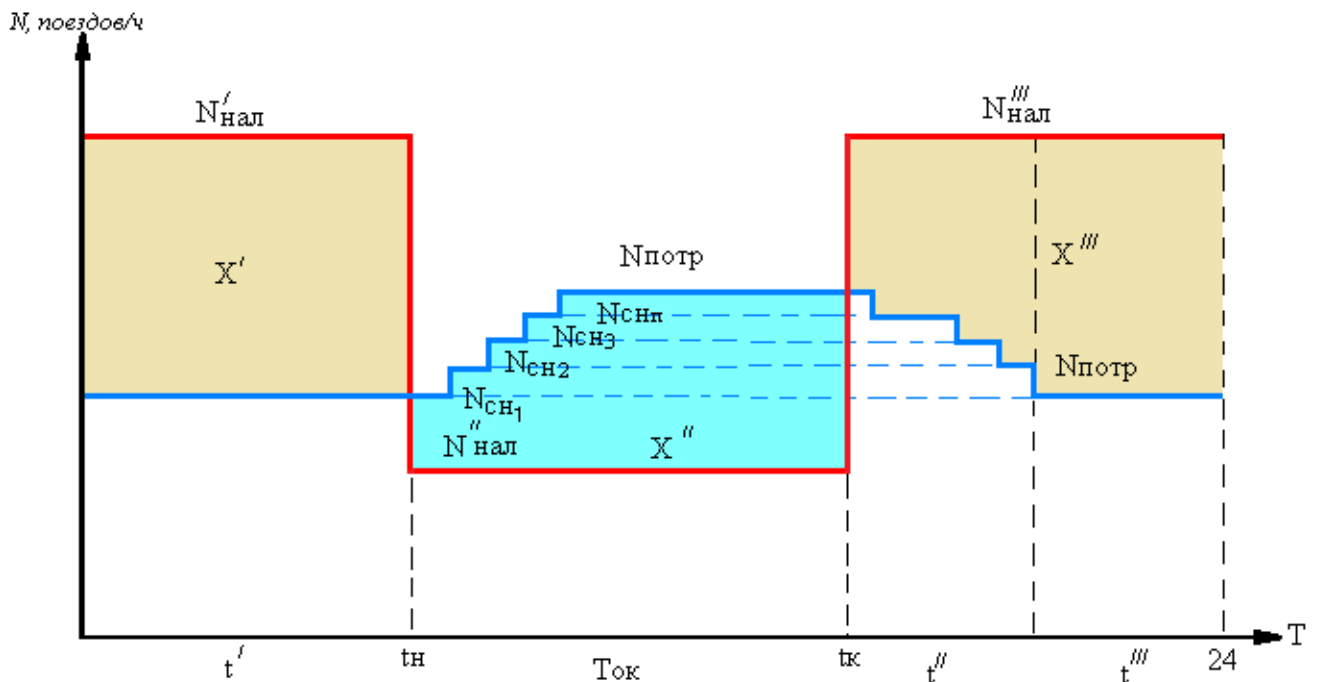


Рисунок 45

где: $N_{\text{сн}}$ – 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».

При предоставлении «окна» для капитального ремонта пути технические параметры перегона до, во время его проведения и после – различны, следовательно, и часовая наличная пропускная способность будет определяться в эти периоды по-разному. Поэтому целесообразно разделить часовую наличную пропускную способность на три вида: $N'_{нал}$, $N''_{нал}$, $N'''_{нал}$ – средняя часовая наличная пропускная способность, соответственно, до «окна», во время его проведения и после.

Для примера на рисунке 46 показана динамика наличной и потребной пропускной способностей при проведении капитального ремонта пути на перегоне 3–И, на котором, хорошо виден механизм процесса.

Интенсивность поездопотока составляет три поезда в час в каждом направлении. Таким образом, потребная пропускная способность составит шесть поездов/ч. Запланировано «окно» продолжительностью 8 ч.

При интервале между поездами 10 минут наличная пропускная способность до начала «окна» $N'_{нал}$ будет равна 12 поездам/ч.

В период до начала «окна» (t'), практически всегда, имеется резерв пропускной способности, т.е. наличная пропускная способность $N'_{нал}$ больше потребной, в данном примере резерв составляет шесть поездов/ч. С началом «окна» часовая наличная пропускная способность $N''_{нал}$ снижается из-за закрытия одного из путей.

Динамика наличной и потребной пропускных способностей

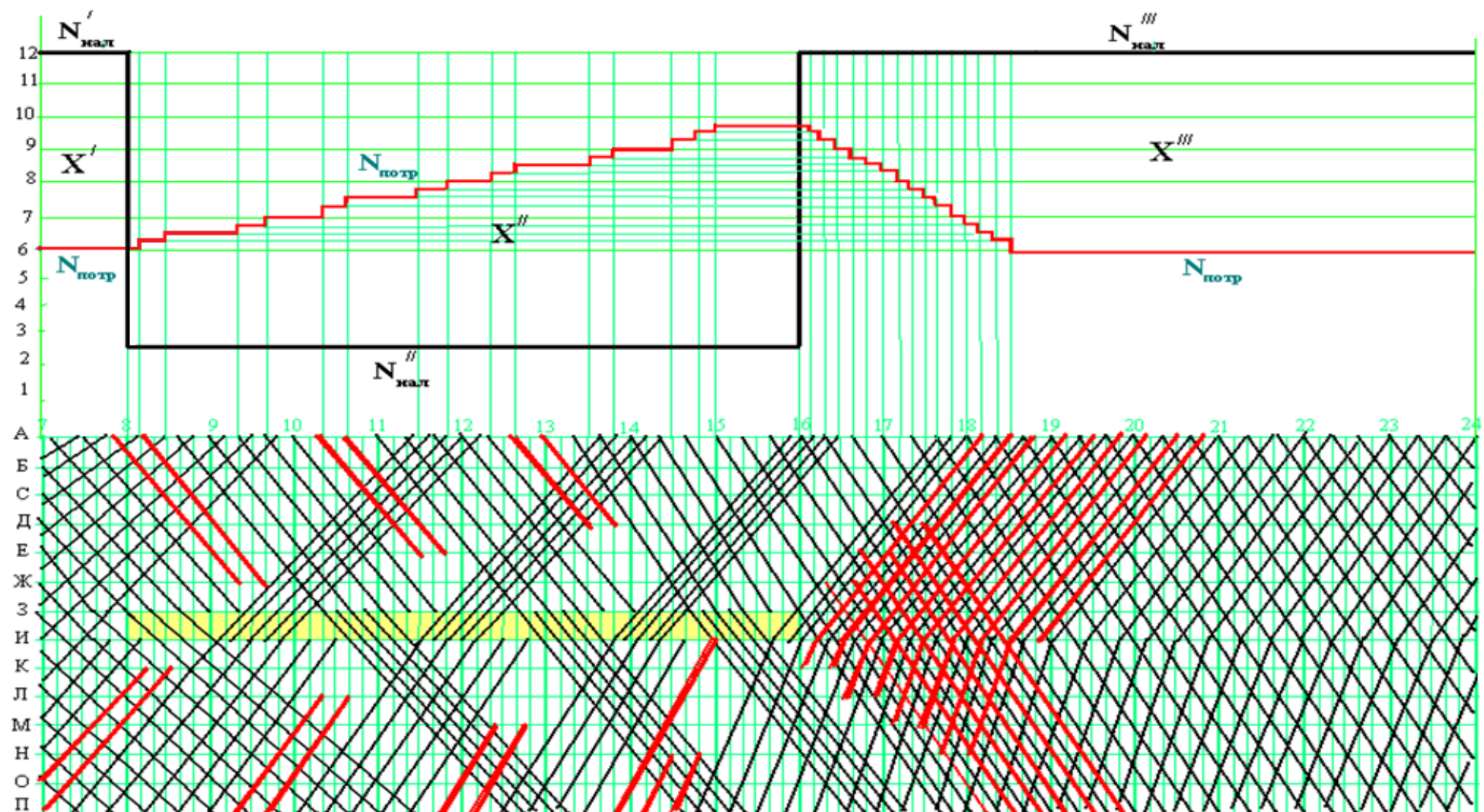


Рисунок 46

При использовании пакетного графика с пятью поездами в пакете $N''_{нал}$ составляет четыре поезда/ч. Недостаток пропускной способности – два поезда/ч. Следовательно, каждый час будут сниматься два поезда. По окончании «окна» часовая наличная пропускная способность $N'''_{нал}$ повышается и возвращается до уровня начала суток. Поведение часовой потребной пропускной способности $N_{потр}$ носит иной характер. В среднем она составляет 1/24 суточной. Её превышение над $N''_{нал}$ с началом «окна» вызывает съём поездов, что приводит к росту $N_{потр}$ с каждым снятым поездом на 0,25 поездов/ч ($N_{сн_1}$). По окончании «окна» часовая потребная пропускная способность падает с каждым дополнительно пропущенным, помимо плановых, поездом и постепенно принимает среднесуточное значение.

Период, в течение которого пропускаются снятые во время «окна» поезда (t''), представлен как период форсированного пропуска поездов. В примере он составил три часа.

Главная задача организации движения при проведении капитального ремонта пути – недопущение съёма поездов, т.е. весь суточный поездопоток должен быть пропущен в текущие сутки, при невозможности этого – пропущен с минимальными задержками поездов. Из рисунка 45 видно, что условие выполнения задачи недопущения съёма формулируется как:

$$X'' + \sum_{i=1}^n N t'''_{зад_i} \leq X' + X''' \quad (111)$$

Теоретически это условие верно, но практически использовать резерв пропускной способности в период до «окна» (X') очень сложно. Для этого необходимо заранее планировать подвод поездов к участку производства работ. Для дорог с транзитным характером работы эта задача не может быть выполнена без выхода за пределы дороги. Только планирование перевозок на уровне региона или даже сети дорог позволит это сделать. Поэтому, при существующей организации эксплуатационной работы вернее будет представить данное условие в виде:

$$X'' + \sum_{i=1}^n N t'''_{зад_i} \leq X''' \quad (112)$$

На рисунке 47 показан процесс формирования поездо-часов задержек в период «окна». Для интерпретации в терминах теории эксплуатации железных дорог необходи-

мо определить площади фигур X'' и X''' . Площадь фигуры X'' складывается из суммы площадей $X_1'', X_2'', X_3'', \dots, X_{n+1}''$. Таким образом, она определяется следующим образом:

$$X'' = (N_{\text{потр}} - N_{\text{нал}}) * T_{\text{ок}} + \sum_{i=1}^n N t_{\text{зад}_i}'' . \quad (113)$$

Формирование поездо-часов задержек в период «окна»

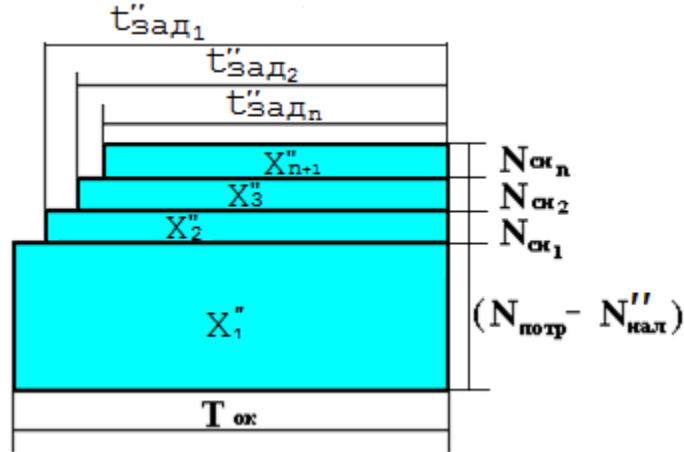


Рисунок 47

На рисунке 48 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:

$$X''' = (N_{\text{нал}}''' - N_{\text{потр}}) * (t'' + t''') - \sum_{i=1}^n N t_{\text{зад}_i}''' . \quad (114)$$

После определения площадей фигур X'' и X''' и простейших преобразований условие (112) примет вид:

$$(N_{\text{потр}} - N_{\text{нал}}) * T_{\text{ок}} + \sum_{i=1}^n N t_{\text{зад}_i}'' + 2 \sum_{i=1}^n N t_{\text{зад}_i}''' \leq (N_{\text{нал}}''' - N_{\text{потр}}) * (t'' + t''') , \quad (115)$$

где: $\sum_{i=1}^n N t_{\text{зад}_i}''$, $\sum_{i=1}^n N t_{\text{зад}_i}'''$ – задержки снятых поездов соответственно в период «окна» и после окончания «окна».

Резерв пропускной способности в период после «окна»

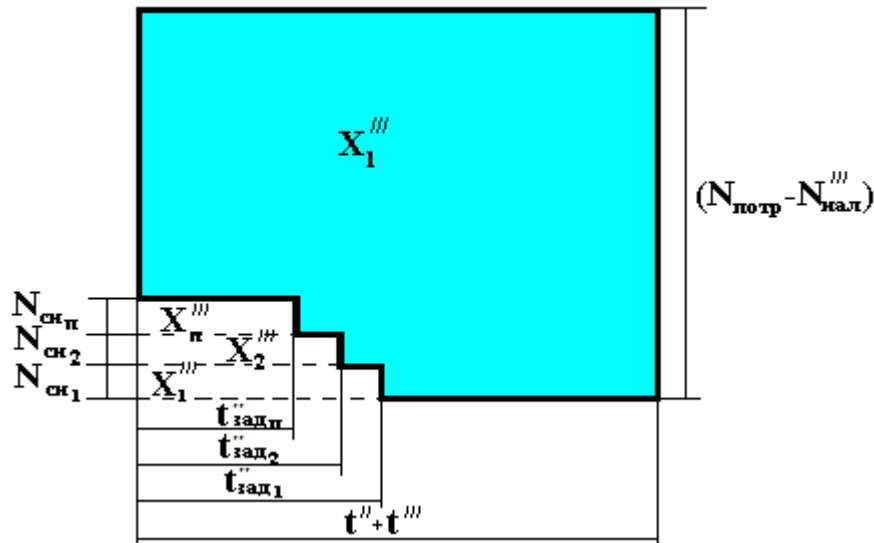


Рисунок 48

Задержки снятых поездов определяются на основе установленных уравнений множественной регрессии (97) и (98).

Так как:

$$t'' + t''' = 24 - T_{ок} - t', \quad (116)$$

при подстановке в (115) получается неравенство:

$$(N_{потр} - N_{нал}'') * T_{ок} + \sum_{i=1}^n N t_{зад_i}'' + 2 \sum_{i=1}^n N t_{зад_i}''' \leq (N_{нал}''' - N_{потр}) * (24 - T_{ок} - t'). \quad (117)$$

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.

Под техническими условиями приняты длина перегона и продолжительность «окна». В противном случае, необходимо использовать те или иные мероприятия по повышению наличной пропускной способности перегона в период «окна» и после него.

Добиться выполнения условия можно различными способами, используя различные мероприятия по повышению пропускной способности и сочетание их в разные периоды суток – во время «окна» и после него [223].

7.4.2. Организация пропуска поездов в период технологических «окон»

Наращивание объёмов работ по капитальному ремонту пути и других объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» требует увеличения количества и продолжительности

предоставляемых для проведения ремонтных работ технологических «окон». В связи с этим особенно актуальной становится задача совершенствования в эти периоды системы пропуска поездопотоков.

Существующая система организации эксплуатационной работы при предоставлении «окон» предусматривает разработку двух типов графиков движения [216, 224, 225]: технологические, составляемые за 3–4 месяца до времени предоставления «окна», а также вариантные при той же нормативной базе, что и у технологического.

До начала «окна» определяется количество и продолжительность перерывов в движении поездов, время проведения «окон», а также порядок пропуска поездов по графику. При составлении технологического графика используются те же значения станционных и межпоездных интервалов и других параметров, что и в нормативном графике.

Нередко складывающаяся эксплуатационная обстановка не позволяет выделить «окно» в соответствии с технологическим графиком без серьезного ущерба для перевозочного процесса. В этом случае выбирают другие сутки и время предоставления «окна» для которого разрабатывается вариантный график при той же нормативной базе, что и у технологического графика. Он может разрабатываться за несколько суток до предоставления «окна».

В случае существенного превышения размеров движения в сутки предоставления «окна» предусмотренных технологическим или вариантным графиками, поездной диспетчер вынужден корректировать ранее составленный технологический (вариантный) график. Применение современных информационных технологий позволяет решить задачу создания автоматизированной системы разработки оперативного графика движения поездов в период предоставления «окон» (АС ОГДПО) непосредственно перед их проведением. При этом роль заблаговременно разрабатываемых технологического или вариантного графиков не снижается, поскольку именно они определяют продолжительность «окна», плановое время его начала, порядок пропуска по участку тяжелой ремонтной техники и вывода ее после завершения работ, а также пропускную способность временно однопутного перегона. Конкретный же порядок пропуска складывающегося на данные сутки поездопотока определяет оперативный график.

Система АС ОГДПО построена на основе использования цифровой модели участка, спутникового позиционирования поездных локомотивов, данных системы АСОУП-2. При принятии управляющего решения диспетчер учитывает множество параметров, не-

обходимых для разработки исходного оперативного графика движения и его корректировки в дальнейшем, данные, поступающие из подсистемы обратной связи о фактическом выполнении разработанного оперативного графика, а также о возмущающих воздействиях.

Параметры для разработки оперативного графика включают в себя:

- данные заблаговременно разрабатываемых технологического или вариантного графиков (время начала и продолжительности «окна», расписание движения пассажирских поездов, порядок подвода тяжелой путевой техники и др.);
- цифровую модель участка, где в цифровом виде представлены технические данные перегонов (длина, уклоны, радиусы кривых, блок-участки и др.) и станций (число путей, их длина, расположение стрелок и др.);
- описание технологии работы участка — «правильные» направления движения по путям, различные условия следования поездов по перегонам и станциям, специализацию станционных путей и др.;
- расчётное время следования грузовых поездов по различным отрезкам пути участка в зависимости от веса поезда и фактических ограничений скорости движения; расчёт этого времени позволяет более точно определять интервалы попутного следования для поездов различного веса, что повышает пропускную способность временно однопутного перегона;
- переменные данные о количестве и порядке подхода грузовых поездов к участку и перегону, где предоставляется «окно», получаемые из данных навигационного позиционирования и системы АСОУП-2.

Контроль выполнения управляющих решений в виде расписаний оперативного графика осуществляется подсистемой обратной связи по данным навигационного позиционирования поездных локомотивов и системы АСОУП-2. По цифровым каналам связи, в том числе и по радиоканалам, поступают два вида данных: информация о времени проследования блок-участков и станций поездами, которые находятся на участке, где предоставлено «окно» (передаются с использованием навигационного позиционирования), и сведения о поездах, находящихся за пределами рассматриваемого участка (на основе данных системы АСОУП-2).

Если величина отклонения текущих фактических данных о времени хода поездов в оперативном графике от плановых значительна и составленный исходный оперативный

график не может быть выполнен, необходима его корректировка. При «окнах» большой продолжительности их может быть несколько.

Значение величин возмущающих воздействий определяет их влияние на выполнение оперативного графика. Важно определять те возмущающие воздействия, которые необходимо и возможно учитывать при разработке исходного оперативного графика или его корректировках. Среди них — фактические отклонения от расписания пассажирских поездов, дополнительные ограничения скоростей движения поездов и др.

При составлении оперативных графиков движения целесообразно устанавливать время хода поездов с учетом их фактического веса, что позволяет более точно определять величину межпоездных интервалов. Как правило, пропускная способность временно однопутного перегона при проведении технологического «окна» на двухпутной линии определяется интервалом попутного отправления I_{om} . При его расчёте, как норматива заблаговременно разрабатываемого графика (технологического или вариантного), он определяется по максимальному весу поезда. Однако, поскольку поезда, следующие по участкам, имеют разный вес, то и значение интервала попутного отправления для них будет отличаться от нормативного в графике движения. Использование методов навигационного позиционирования и данных системы АСОУП-2 позволяет в оперативном графике учитывать это различие, которое как показали тяговые расчеты, выполненные для типичных условий, существенно.

Основной целью управления поездопотоками в период проведения технологических «окон» является минимизация потерь поездо-часов. Ф.А. Шевелевым [226] предложено в качестве целевой функции условие построения оперативного максимального графика для временно однопутного перегона на участке предоставления «окна». Причем чем больше будет пропущено поездов по временно однопутному перегону, тем меньше будут их простои на подходах к нему. В МИИТе В.Л. Феокистовым продолжено развитие развития метода [227, 228], что позволило предложить для внедрения технологию, автоматизирующую составление для сети железных дорог комплекса из двух планов: плана ремонтно-строительных работ и плана управления движением поездов в условиях ремонта.

При реализации необходимо учитывать ряд ограничений и условий. Общее время предоставления технологического «окна» при разработке оперативного графика включает в себя время, в течение которого проведение «окна» оказывает влияние на органи-

зацию движения поездов. До предоставления «окна» важно обеспечить пропуск тяжелых путевых машин и максимально возможного числа пассажирских и грузовых поездов с использованием пропускной способности двухпутного перегона. При этом возможна некоторая небольшая (не оказывающая заметного влияния на условия выполнения работ в «окно») сдвигка (корректировка) времени начала «окна» для снижения потерь пропускной способности временно однопутного перегона. Это особенно актуально при наличии опаздывающих пассажирских поездов. После проведения «окна» необходимо организовать максимальный пропуск поездов, что позволит минимизировать потери поездочных часов в этот период.

Пропуск поездов по временно однопутному перегону организуется с включением в пакет максимального числа поездов. При этом следует учитывать следующие ограничения:

- необходимость обеспечения первоочередного пропуска пассажирских поездов любых категорий, грузовых поездов, следующих по твердым ниткам графика, или других грузовых поездов по указанию верхнего иерархического уровня управления;
- количество поездов в пакете не должно превышать число свободных путей на станциях прибытия пакета поездов;
- формирование последующего пакета завершается при исчерпании фактического числа поездов (чётного или нечётного направлений);
- максимальное сгущение числа поездов в пакете ограничивается условиями организации оборота локомотивов и локомотивных бригад с определением максимально допустимой непарности.

При прочих равных условиях преимущество в пропуске предоставляется пакетам поездов того направления движения, для которого данные о поездном положении указывают на следование большего числа поездов. Количество корректировок оперативного графика не ограничивается и определяется в основном влиянием возмущающих воздействий.

7.4.3. Определение себестоимости выполнения работ по капитальному ремонту пути в части зависящих расходов

Типовая технология выполнения работ по усиленному капитальному ремонту звеньевого пути в современных условиях жёстко регламентирована [229, 230]. Основные работы по усиленному капитальному ремонту пути, выполняемые в «окна» можно разделить на четыре этапа [131, 136, 214, 220].

Одним из самых важных показателей, характеризующих производительность работы машин в «окно» является длина фронта работ т.е количество километров пути, отремонтированных за одно «окно». Именно этот показатель определяет количество «окон» и период в сутках, необходимые для выполнения капитального ремонта всего перегона.

Длина фронта работ зависит от технологии производства работ и продолжительности «окна». Характер зависимости позволяет предположить, что она имеет вид линейной регрессии:

$$L_{\text{фр}} = a_1 * T_{\text{ок}} + a_0. \quad (118)$$

где: $T_{\text{ок}}$ – безразмерная величина, равная продолжительности «окна»;

a_0 , a_1 – коэффициенты регрессии, м.

Результаты расчётов коэффициентов регрессии методом наименьших квадратов и проверки по критерию Пирсона представлены в таблице 39. На рисунках 49-52 приведены графики теоретических и расчетных функций зависимости длины фронта работ каждого этапа от продолжительности «окна».

Таблица 39

Коэффициенты регрессии и вероятность согласованности полученного уравнения

№ этапа	a_0	a_1	$P(\chi^2)$
1	-695,22	356	1
2	-152,6	80,33	1
3	-828,88	903,61	1
4	-859,88	448,46	0,9598

Сравнение расчетной и теоретической функций зависимости длины фронта работ первого этапа от продолжительности "окна"

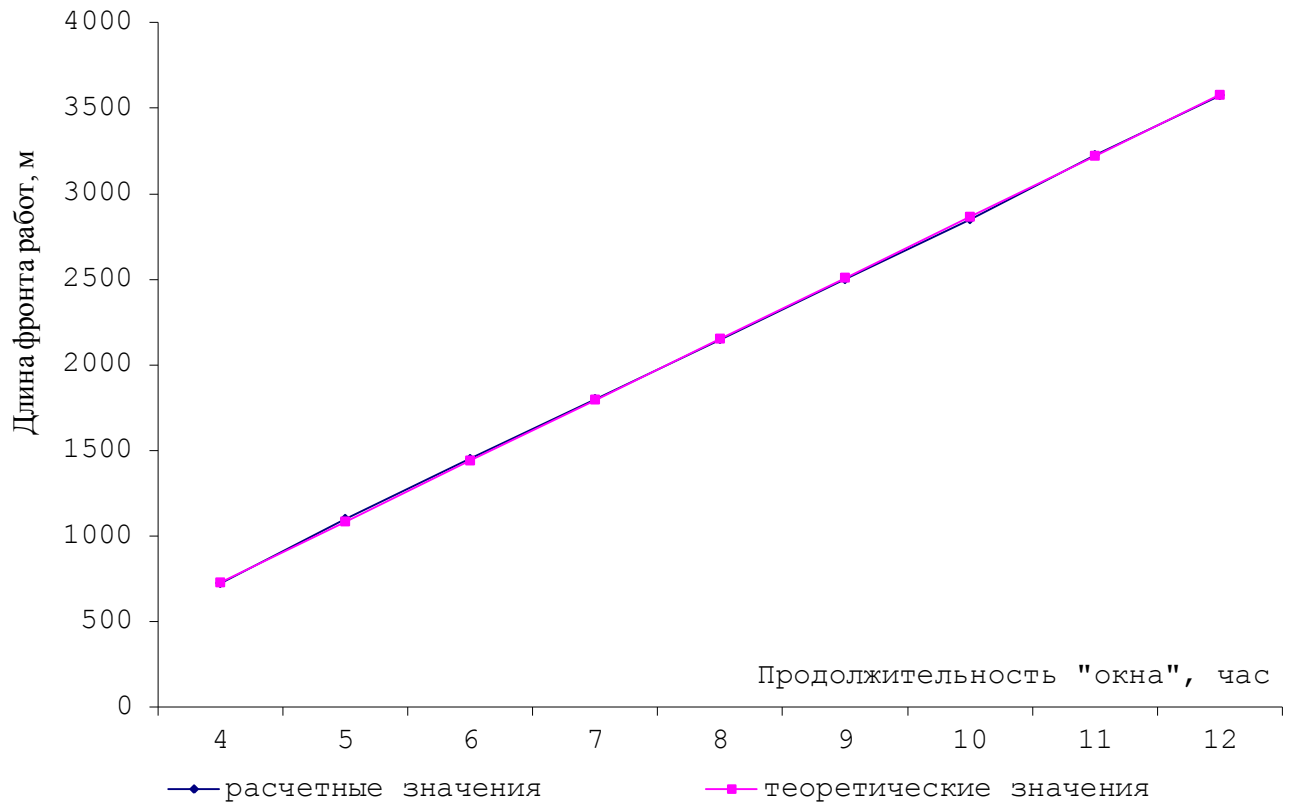


Рисунок 49

Сравнение расчетной и теоретической функций зависимости длины фронта работ второго этапа от продолжительности "окна"

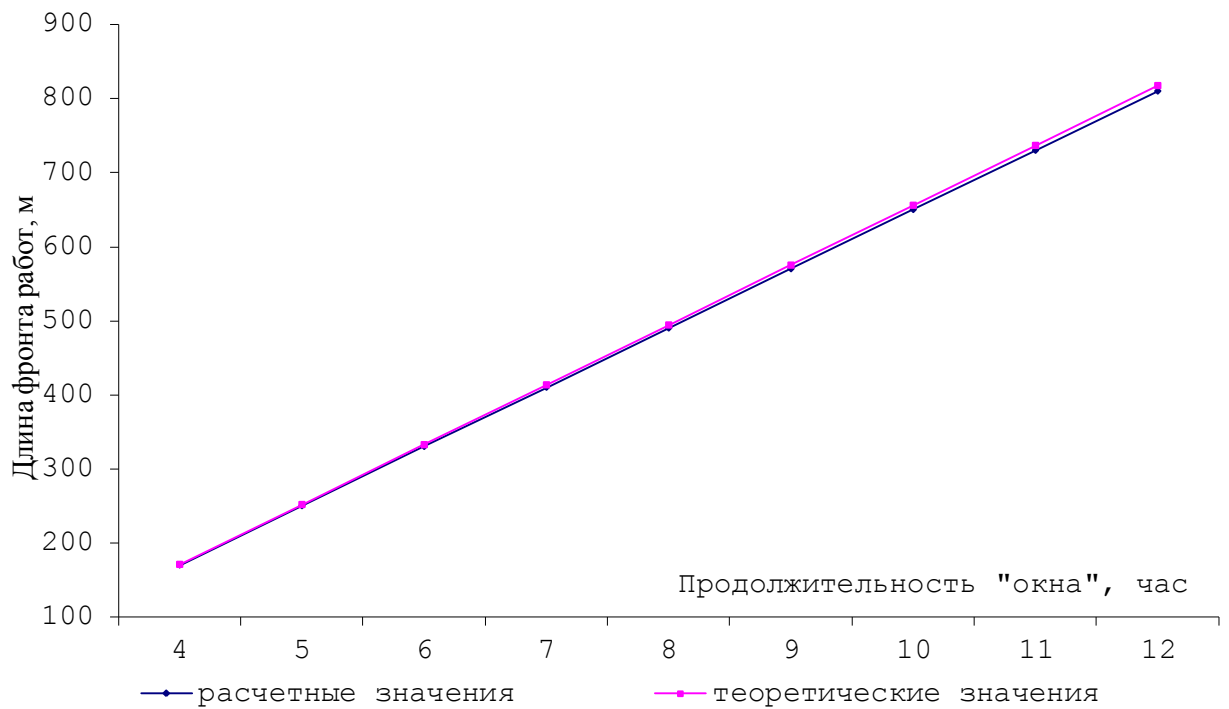


Рисунок 50

Сравнение расчетной и теоретической функций зависимости длины фронта работ
третьего этапа от продолжительности "окна"

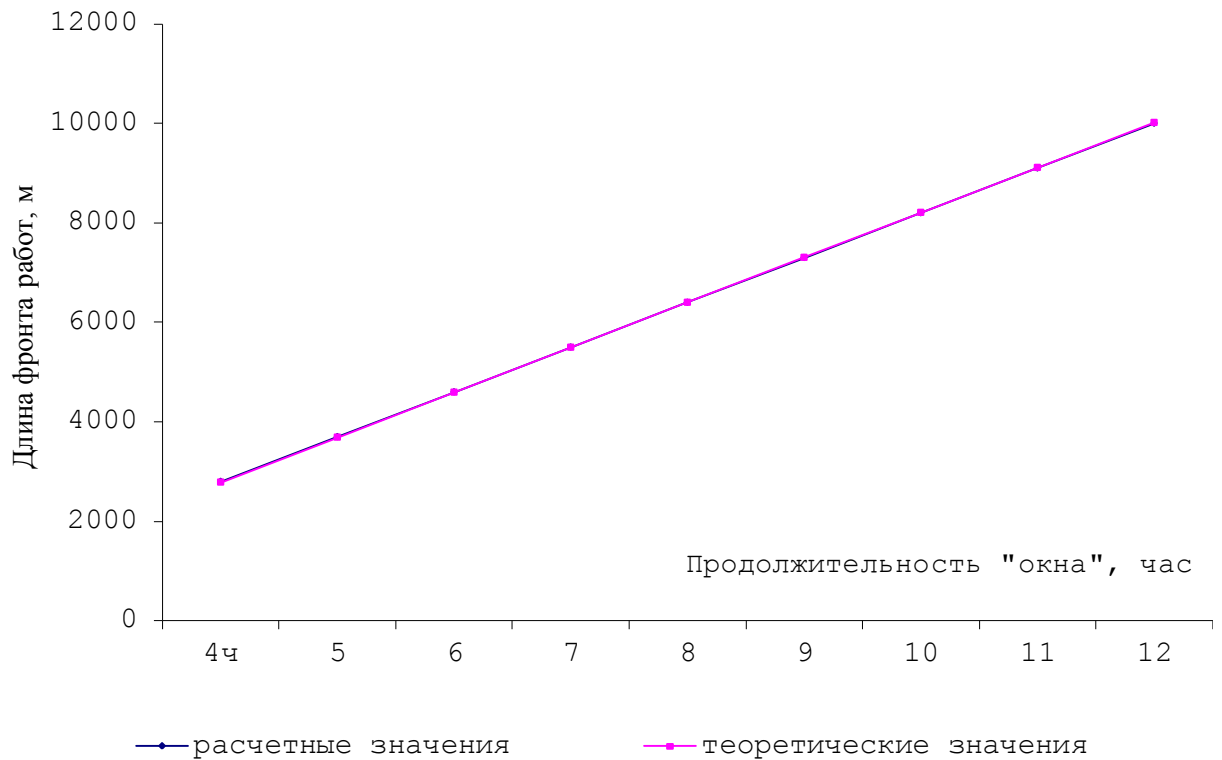


Рисунок 51

Сравнение расчетной и теоретической функций зависимости длины фронта работ чет-
вёртого этапа от продолжительности "окна"

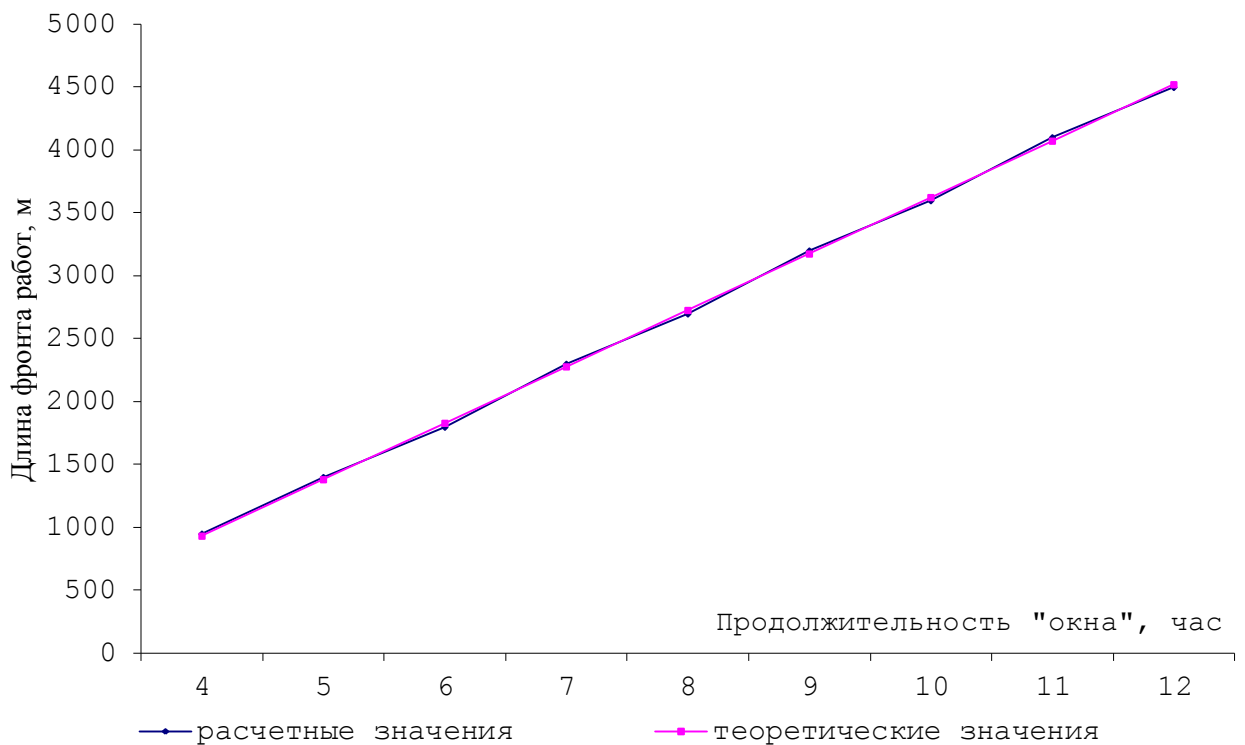


Рисунок 52

Высокие значения вероятности критерия Пирсона показывают значительную степень согласованности теоретических и расчетных значений длины фронта работ, а значит, полученные уравнения могут быть использованы в практических целях.

Себестоимость производства капитального ремонта пути в части зависящих от продолжительности «окна» расходов определяется как сумма расходов:

$$C_{кан} = \sum_{i=1}^{10} \mathcal{E}_i, \quad (119)$$

где: $\mathcal{E}_i$ – зависящие от продолжительности «окна» расходы, связанные с организацией и проведением капитального ремонта пути для рассмотренной технологии, приходящиеся на один километр пути.

Расходы на заработную плату монтеров пути, приходящиеся на один километр пути $\mathcal{E}_1$ определяются:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{R_{МП} * t_{раб} * e_{МП-ч} * K_{ок} * \alpha}{L_{пер}}, \quad (120)$$

где: $R_{МП}$ – количество монтеров пути, выполняющих работы в «окно»;

$t_{раб}$ – время работы монтеров пути во время «окна», 12 ч/сутки;

$e_{МП-ч}$ – стоимость одного человека-часа для монтеров пути;

$K_{ок}$ – количество «окон», необходимое для выполнения ремонта на всём перегоне;

$L_{пер}$ – длина ремонтируемого перегона, км;

α – поправочный коэффициент, учитывающий отдых, пропуск поездов по соседнему пути и переходы.

Расходы на заработную плату бригад, обеспечивающих работы в «окно» $\mathcal{E}_2$, приходящиеся на один километр пути определяются как:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{K_{ок} * t_{раб} * \sum_{j=1}^6 R_j * e_j}{L_{пер}}, \quad (121)$$

где: R_j – количество работников, участвующих в работах в «окно»: ЭЧК (R_1), ШЧ (R_2), вагонного хозяйства (R_3), составителей поездов (R_4), сигналистов (R_5), подсобных работников обеспечения питанием (R_6);

e_j – стоимость одного чел-ч для каждой из бригад, участвующих в работах в «окно».

Расходы на доставку монёров пути на место работ и обратно в дни предоставления «окон», приходящиеся на один километр пути $\mathcal{E}_3$:

$$\mathcal{E}_3 = \frac{R_{МП} * e_{дост} * K_{ок}}{L_{пер}}, \quad (122)$$

где: $e_{дост}$ – расходы в среднем, приходящиеся на доставку одного человека.

Расходы по эксплуатации машин и механизмов, приходящиеся на один километр пути $\mathcal{E}_4$:

$$\mathcal{E}_4 = \frac{K_{ок} * C_k * \sum_{k=1}^n Mt_k}{L_{пер}}, \quad (123)$$

где: k – тип машины или механизма, $k \in \{1, n\}$.

Mt_k – время работы машин k -го типа, используемых на путевых работах в «окно»;

C_k – стоимость одного машино-часа работы k -го типа.

Расходы на эксплуатацию тепловозов, обеспечивающих работу машин в «окно», приходящиеся на один километр пути $\mathcal{E}_5$ определяются как:

$$\mathcal{E}_5 = \frac{K_{ок} * C_{л-ч} * \sum Mt_{лок}}{L_{пер}}, \quad (124)$$

где: $\sum Mt_{лок}$ – сумма локомотиво-часов работы в «окно»;

$C_{л-ч}$ – стоимость одного локомотиво-часа работы локомотива.

Расходы на оформление открытия и закрытия перегона, приходящиеся на один километр пути ($\mathcal{E}_6$):

$$\mathcal{E}_6 = \frac{t_{оз} * e_{окна} * K_{ок}}{L_{пер}}, \quad (125)$$

где: $t_{оз}$ – время на оформление открытия и закрытия «окна», 0,5 ч на «окно»;

$t_{окна}$ – потери в денежном выражении от одного часа окна.

Расходы на заготовку и укладку рубок в конце укладки, приходящиеся на один километр пути ($\mathcal{E}_7$):

$$\mathcal{E}_7 = \frac{k_{рубок} * e_{рубки} * K_{ок}}{L_{пер}}, \quad (126)$$

где: $k_{рубок}$ – количество рубок, две штуки на «окно»;

$e_{рубки}$ – стоимость рубки, учитывающая стоимость рельса и расходы на её укладку.

Расходы на устройство отводов в начале и в конце укладки, приходящиеся на один километр пути ($\mathcal{E}_8$):

$$\mathcal{E}_8 = \frac{k_{отв} * (e_{отв} + c_{щ}) * K_{ок}}{L_{пер}}, \quad (127)$$

где: $k_{отв}$ – количество отводов на «окно», два отвода;

$e_{отв}$ – стоимость укладки отводов, протяжённостью 50 погонных метров);

$c_{щ}$ – расходы на щебень для отводов:

$$c_{щ} = W_{щ}^{отв} * e_{щ}, \quad (128)$$

где: $e_{щ}$ – стоимость одного кубического метра щебня;

$W_{щ}^{отв}$ – расход щебня на один отвод, 20 м³ на один отвод.

Расходы на снятие последнего звена предыдущей укладки и повторную укладку, приходящиеся на один километр пути ($\mathcal{E}_9$):

$$\mathcal{E}_9 = \frac{(A_1 * e_{МП-ч} + W_{щ}^{зв} * e_{щ}) * K_{ок}}{L_{пер}}, \quad (129)$$

где: A_1 – трудовые затраты на одно звено, 10 чел-ч на звено;

$W_{щ}^{зв}$ – расход щебня на одно звено, 20 м³ на звено.

Расходы на содержание турных вагонов, приходящиеся на один километр пути ($\mathcal{E}_{10}$):

$$\mathcal{E}_{10} = \frac{k_{тур} * T_{пер} * c_{тур}}{L_{пер}}, \quad (130)$$

где: $k_{тур}$ – количество турных вагонов для проживания рабочих, три вагона;

$T_{пер}$ – расчётный период времени, необходимый для выполнения капитального ремонта на всём перегоне, сут.;

$c_{тур}$ – стоимость содержания одного турного вагона в сутки.

Себестоимость производства капитального ремонта пути зависит от продолжительности «окна» и технологии работ. При изучении характера изменения себестоимости в части зависящих от продолжительности «окна» для работ по усиленному капитальному ремонту пути был проведён сравнительный анализ полиномиальной, показа-

тельной, степенной функций на возможность их использования для аппроксимации эмпирического распределения.

Лучшие показатели оказались при использовании экспоненциальной функции. Её уравнение для однофакторной модели имеет вид:

$$y = c * e^{a * T_{ок}}, \quad (131)$$

где: $T_{ок}$ – безразмерная величина, равная продолжительности «окна», определяемой в часах;

a – безразмерная величина неизвестного коэффициента регрессии;

c – неизвестный коэффициент регрессии, рублей;

Коэффициенты регрессии определены методом выравнивания по экспоненциальной функции. Полученная зависимость имеет вид:

$$c_{кан} = 210889,6 * e^{-0,0767 * T_{ок}}. \quad (132)$$

На рисунке 53 показано сравнение эмпирической и теоретической функций зависимости себестоимости выполнения работ по капитальному ремонту пути от продолжительности «окна».

Для оценки адекватности полученного уравнения регрессии использован показатель средней ошибки аппроксимации [213]:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{|c_{кан} - c'_{кан}|}{c_{кан}} * 100\%. \quad (133)$$

Средняя ошибка составляет 4,44%, что позволяет использовать полученное уравнение регрессии в практических целях.

Сравнение расчетной и теоретической функций зависимости себестоимости выполнения работ по капитальному ремонту пути от продолжительности "окна"

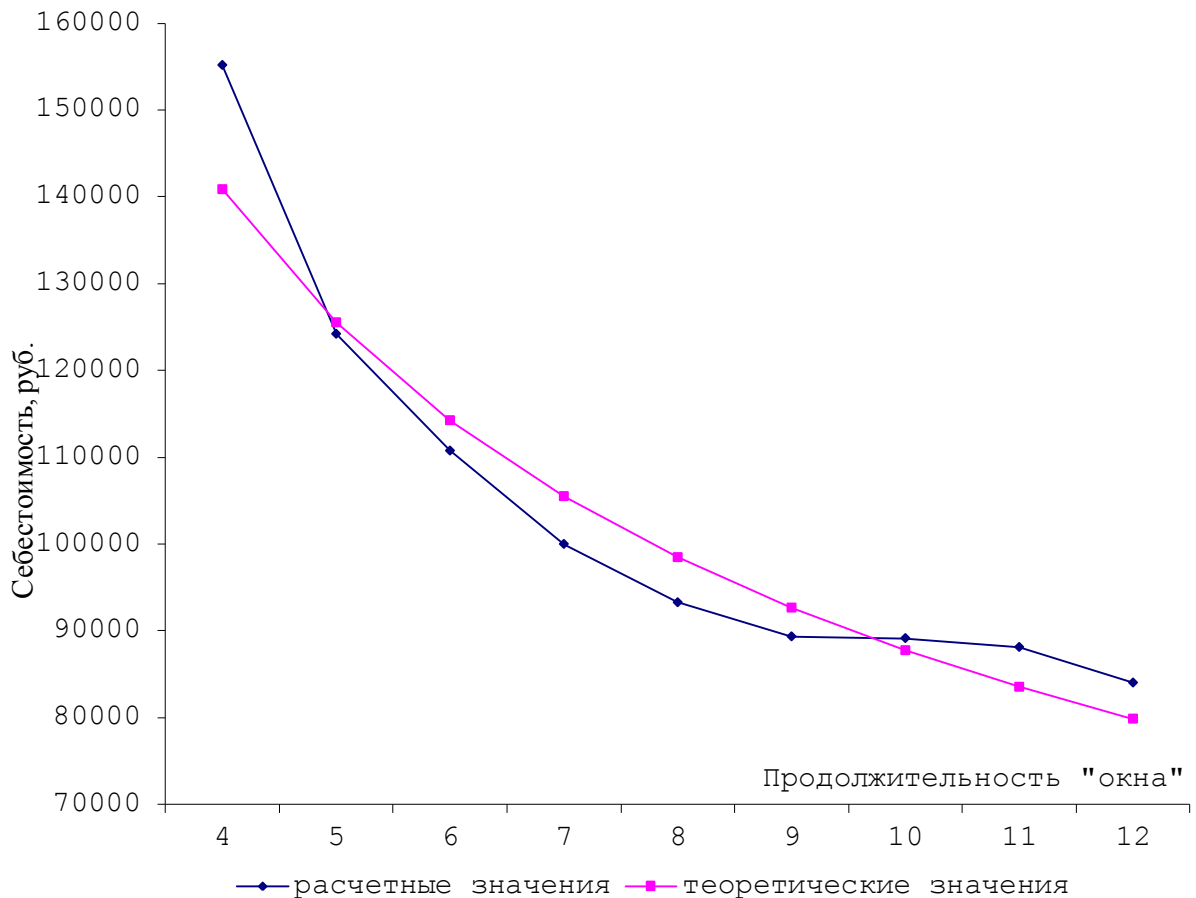


Рисунок 53

7.4.4. Выбор оптимальных параметров «окна»

Разработана оптимизационная программа в среде *Delphi*, которая при заданных размерах движения грузовых, пассажирских и сборных поездов, длины ремонтируемого перегона позволяет:

- выбрать наиболее целесообразные с экономической точки зрения: время начала «окна», его продолжительность, коэффициент пакетности, количество поездов в пакете и временных блок-постов;
- рассчитать все возможные варианты для заданных условий, при которых не будет допущен суточный съём поездов.

Алгоритм программы приведён в монографии [131].

На рисунке 54 представлен пример выбора оптимальной продолжительности «окна» для перегона протяженностью 30 км, размеры движения – 10 пар пассажирских поездов, 45 пар грузовых поездов.

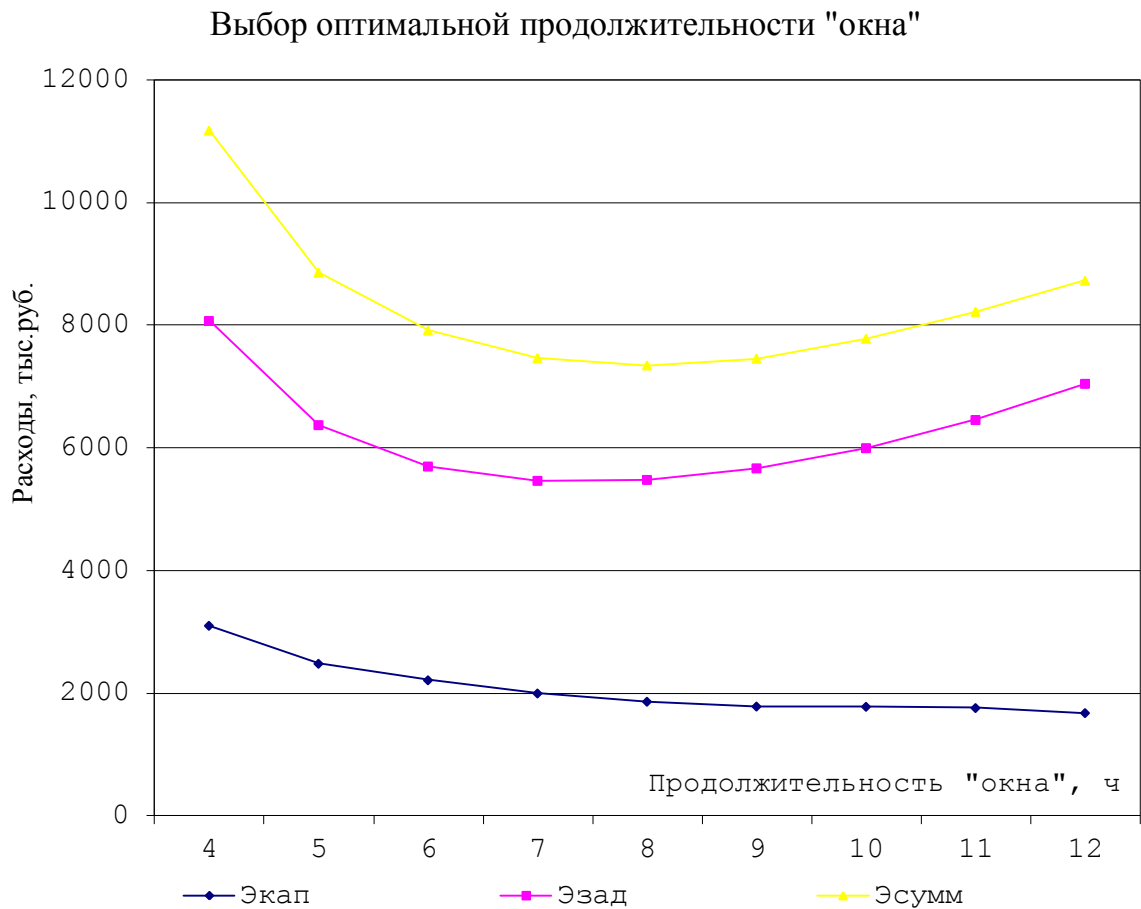


Рисунок 54

С использованием разработанной программы в рамках исследований Иркутского государственного университета путей сообщения «Фундаментальные и поисковые научно-исследовательские работы на 2004 год» (19.10.00ЦТех) [220] выполнены многовариантные расчёты для условий Забайкальской железной дороги, результаты расчёта оптимальных параметров «окна» представлены в таблице 40.

Приняты обозначения: t_n – время начала окна; α_n – коэффициент пакетности графика; k_n – количество поездов в пакете.

Оптимальные параметры «окна»

Размеры движения, пар поездов/сутки			Длина перегона, км	Параметры «окна» с минимальными суммарными расходами		Максимальные параметры «окна» при условии недопущения суточного съёма поездов				
N_{ep}	N_{nc}	N_{cb}		$T_{ок}$	$N_{бл}$	$T_{ок}$	$N_{бл}$	t_n	α_n	k_n
40	10	2	10	10	0	11	0	7	1	3-5
45	10	2		9	0	10	0	6	1	3-5
						9	0	7	1	3-5
50	10	2		8	0	8	0	7	1	3-5
55	10	2		6	0	6	0	8	1	3-5
60	10	2		4	0	7	1	6	1	2-5
65	10	2		4	0	6	2	9	1	3-5
						6	2	8	0,2-1	2-5
				3	0	5	2	7	1	5
40	10	2	15	10	0	10	0	7	1	3-5
45	10	2		9	0	9	0	7	1	3-5
50	10	2		8	0	7	0	7	0,8-1	3-5
55	10	2		5	0	7	1	7	1	3-5
60	10	2		4	0	6	1	6	1	2-5
65	10	2		4	0	6	2	7	1	3-5
70	10	2		3	0	4	2	6	0,1-1	2-5
40	10	2	20	9	0	9	0	8	1	2-5
						10	1	8	1	2-5
						11	1	7	1	3-5
						12	1	6	1	3-5
45	10	2		9	0	7	0	6	1	2-5
						10	1	7	1	2-5
50	10	2		7	0	7	0	6	1	2-5
						8	1	8	1	2-5
55	10	2		4	0	7	1	6	0,8-1	4-5
						7	1	7	1	5
60	10	2		5	1	7	2	7	1	3-5
65	10	2		5	1	5	2	7	1	2-5
70	10	2		3	1	3	2	6	0,1-1	2-5
40	10	2	25	9	0	8	0	6	0,1-1	2-5
						11	1	7	1	2-5
45	10	2		8	0	8	0	6	1	3-5
						9	1	7	0,8-1	3-5
						9	1	8	1	3-5
50	10	2		6	0	6	0	6	1	3-5
						8	1	6	0,8-1	3-5
						8	1	7	1	3-5
55	10	2		6	1	6	1	7	1	2-5
						6	1	6	0,4-1	3-5
60	10	2		6	1	6	2	8	1	3-5
60	10	2		5	1	6	2	7	0,6-1	3-5
65	10	2		4	1	4	2	8	1	2-5
70	10	2	25	3	1	нет вариантов				

Размеры движения, пар поездов/сутки			Длина перегона, км	Параметры «окна» с минимальными суммарными расходами		Максимальные параметры «окна» при условии недопущения суточного съёма поездов				
N_{zp}	N_{nc}	$N_{сб}$		$T_{ок}$	$N_{бл}$	$T_{ок}$	$N_{бл}$	t_n	α_n	k_n
40	10	2	30	9	0	9	0	6	1	4-5
						10	1	7	1	2-5
45	10	2		7	0	6	0	8	0,9-1	2-5
						9	1	7	1	4-5
						10	2	7	1	2-5
50	10	2		7	1	7	1	7	1	2-5
						9	2	7	1	3-5
55	10	2		6	1	7	2	8	1	3-5
60	10	2		5	1	6	2	6	1	5
65	10	2		3	1	3	2	8	1	2-5
70	10	2		3	1	нет вариантов				
40	10	2	35	8	0	8	0	6	1	3-5
						10	1	7	1	5
						10	1	6	1	2-5
45	10	2		6	0	6	0	6	1	4-5
						8	1	8	1	2-5
						10	2	7	1	5
50	10	2		6	1	6	1	8	1	4-5
						8	2	8	1	4-5
55	10	2		7	2	7	2	6	1	3-5
60	10	2		4	2	5	2	6	1	4-5
65	10	2		4	2	нет вариантов				
70	10	2		3	2	нет вариантов				
40	10	2	40	7	0	7	0	6	1	4-5
						9	1	7	1	3-5
45	10	2		7	1	7	1	8	1	4-5
						9	2	7	1	2-5
50	10	2		8	2	8	2	6	1	3-5
55	10	2		6	2	6	2	6	1	2-5
60	10	2		3	2	3	2	8	0,1-1	3-5
65	10	2		3	2	нет вариантов				
70	10	2		3	2	нет вариантов				

7.4.5. Анализ экономической эффективности оптимизационной модели

Для установления экономической эффективности оптимизационной модели выполнен анализ предоставленных «окон» для проведения капитального ремонта пути перегонов Могзон-Гонгота, Сохондо-Тургутуй Забайкальской железной дороги.

Для определения экономического эффекта по каждому фактическому «окну» определены общие затраты, включающие расходы на выполнение работ по капитальному ремонту пути и потери в эксплуатационной работе, вызванные дополнительными задержками поездов.

Для условий каждого «окна» (размеры движения грузовых, пассажирских и сборных поездов, длина перегона) с использованием оптимизационной программы установлена оптимальная продолжительность «окна». Для неё рассчитаны расходы на выполнение работ по капитальному ремонту пути, а также затраты, связанные с дополнительными задержками поездов и общие расходы.

Разница между общими фактическими и общими расходами при оптимальной продолжительности «окна» составляет экономический эффект по каждому отдельному «окну». Алгебраическая сумма по всем предоставленным «окнам» даёт экономический эффект от применения оптимальных параметров «окна» при выполнении капитального ремонта перегона. Расчёты показали, что в среднем применение оптимальных параметров «окна» даёт экономический эффект в размере чуть более двух миллионов рублей на ремонтируемый перегон в ценах 2004 года [220]. Расчет экономической эффективности представлен в таблицах 41 и 42.

При внимательном изучении тех строк этих таблиц, по которым имеется отрицательное значение разности прогнозируемых и фактически понесённых затрат, видно что это всегда короткие окна $T_{ок} \leq 8$ ч, а расходы на оплату труда монтеров пути $\mathcal{E}_1$ и их доставку $\mathcal{E}_3$ ниже прогнозных. Иначе говоря, в этих случаях не выполнялся полный комплекс работ, что, естественно, не требовало присутствия на ремонтируемом участке полного штата работников, и, соответственно, принесло сиюминутную экономию, потребовав дополнительного «окна». Расходы, неизбежно возникающие при этом, не могут быть оценены в рамках используемой модели. Вопросы оптимального планирования капитального ремонта пути рассмотрены в [136].

Таблица 41

Динамика наличной и потребной пропускных способностей перегона Могзон-Гонгота ($L_{пер}=21$ км)

Фактические параметры												Оптимальные параметры							
$T_{ок}$	$\mathcal{E}_1$	$N_{бл}$	$e_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$N_{зр}$	N_{nc}	$N_{сб}$	$N_{номр}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_{общ}$	$T_{ок}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$N_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_{общ}$	Эффект
8	303185	0	7000	0	42	10	2	5,46	77,56	106958,8	410143,8	9	94,01	129634	0	0	354508,3	484142,3	-73998,5
12	513539,2	0	7000	0	51	10	2	6,21	303,56	418616,1	932155,3	9	170,5	235130	0	0	354508,3	589638,3	342517
12	513539,2	0	7000	0	44	10	2	5,63	191,04	263445,8	776985,0	9	107,3	147973	0	0	354508,3	502481,6	274503,4
10	405192,8	0	7000	0	41	10	2	5,38	106,64	147058,4	552251,2	9	87,99	121335	0	0	354508,3	475843,6	76407,59
11	458627,2	0	7000	0	48	10	2	5,96	205,38	283215,5	741842,7	9	139,8	192802	0	0	354508,3	547310,4	194532,3
12	513539,2	0	7000	0	51	10	2	6,21	303,56	418616,1	932155,3	9	170,5	235130	0	0	354508,3	589638,3	342517
12	513539,2	0	7000	0	55	10	2	6,54	395,53	545436,6	1058975,8	7	151,2	208560	0	0	255723,9	464284	594691,8
11	458627,2	0	7000	0	44	10	2	5,63	157,62	217364,5	675991,7	9	107,3	147973	0	0	354508,3	502481,6	173510,1
11	458627,2	0	7000	0	60	10	2	6,96	454,29	626472,6	1085099,8	7	210,5	290330	0	0	255723,9	546053,7	539046,1
11	458627,2	0	7000	0	63	10	2	7,21	554,03	764008,8	1222636,0	7	256,7	354069	0	0	255723,9	609792,9	612843,1
12	513539,2	0	7000	0	58	10	2	6,79	482,37	665182,1	1178721,3	7	184,4	254347	0	0	255723,9	510071,4	668649,9
12	513539,2	0	7000	0	51	10	2	6,21	303,56	418616,1	932155,3	9	170,5	235130	0	0	354508,3	589638,3	342517
11	458627,2	0	7000	0	53	10	2	6,38	285,90	394255,2	852882,4	9	194,6	268394	0	0	354508,3	622901,9	229980,5
11	458627,2	0	7000	0	56	10	2	6,63	348,67	480810,3	939437,5	7	161,5	222825	0	0	255723,9	478548,6	460888,9
9	353338,3	0	7000	0	63	10	2	7,21	377,16	520107,5	873445,8	7	256,7	354069	0	0	255723,9	609792,9	263652,9
6	208605,1	0	7000	0	60	10	2	6,96	173,71	239546,0	448151,1	7	210,5	290330	0	0	255723,9	546053,7	-97902,6
12	513539,2	0	7000	0	60	10	2	6,96	550,61	759284,8	1272824,0	7	210,5	290330	0	0	255723,9	546053,7	726770,3
12	513539,2	0	7000	0	55	10	2	6,54	395,53	545436,6	1058975,8	7	151,2	208560	0	0	255723,9	464284	594691,8
4	123157	0	7000	0	57	10	2	6,71	96,97	133717,3	256874,3	7	172,6	238065	0	0	255723,9	493788,8	-236915
4	123157	0	7000	0	56	10	2	6,63	90,76	125157,1	248314,1	7	161,5	222825	0	0	255723,9	478548,6	-230234
6	208605,1	0	7000	0	63	10	2	7,21	211,85	292136,1	500741,2	7	256,7	354069	0	0	255723,9	609792,9	-109052
5	164593,6	0	7000	0	63	10	2	7,21	174,79	241036,4	405630,0	7	256,7	354069	0	0	255723,9	609792,9	-204163
6	208605,1	0	7000	0	51	10	2	6,21	95,77	132068,8	340673,9	9	170,5	235130	0	0	354508,3	589638,3	-248964
6	208605,1	0	7000	0	52	10	2	6,29	102,32	141101,7	349706,8	9	182,1	251212	0	0	354508,3	605720,1	-256013
7	254879,9	0	7000	0	56	10	2	6,63	161,58	222824,7	477704,6	7	161,5	222825	0	0	255723,9	478548,6	-843,97
4	123157	0	7000	0	53	10	2	6,38	74,42	102626,4	225783,4	7	132,5	182712	0	0	255723,9	438435,9	-212652
6	208605,1	0	7000	0	49	10	2	6,04	83,90	115700,7	324305,8	9	149,3	205989	0	0	354508,3	560497,2	-236191
6	208605,1	0	7000	0	49	10	2	6,04	83,90	115700,7	324305,8	9	149,3	205989	0	0	354508,3	560497,2	-236191
5	164593,6	0	7000	0	47	10	2	5,88	60,65	83631,4	248225,0	9	130,8	180459	0	0	354508,3	534967,7	-286743

Фактические параметры												Оптимальные параметры							
$T_{ок}$	$\mathcal{E}_1$	$N_{бл}$	$e_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$N_{ср}$	$N_{нс}$	$N_{сб}$	$N_{нотр}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_{общ}$	$T_{ок}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$N_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_{общ}$	Эффект
7	254879,9	0	7000	0	49	10	2	6,04	101,69	140229,2	395109,1	9	149,3	205989	0	0	354508,3	560497,2	-165388
7	254879,9	0	7000	0	60	10	2	6,96	210,54	290329,8	545209,7	7	210,5	290330	0	0	255723,9	546053,7	-843,97
6	208605,1	0	7000	0	50	10	2	6,13	89,64	123614,1	332219,2	9	159,5	220078	0	0	354508,3	574585,9	-242367
4	123157	0	7000	0	62	10	2	7,13	134,98	186143,5	309300,5	7	240,3	331403	0	0	255723,9	587126,4	-277826
6	208605,1	0	7000	0	56	10	2	6,63	133,32	183848,7	392453,8	7	161,5	222825	0	0	255723,9	478548,6	-86094,7
4	123157	0	7000	0	61	10	2	7,04	126,34	174227,2	297384,2	7	224,9	310187	0	0	255723,9	565911	-268527
4	123157	0	7000	0	59	10	2	6,88	110,68	152634,1	275791,1	7	197,0	271744	0	0	255723,9	527467,6	-251677
6	208605,1	0	7000	0	51	10	2	6,21	95,77	132068,8	340673,9	9	170,5	235130	0	0	354508,3	589638,3	-248964
5	164593,6	0	7000	0	51	10	2	6,21	79,02	108967,6	273561,2	9	170,5	235130	0	0	354508,3	589638,3	-316077
7 985,61										6 643,2				Сумма:				2 150 091	

Таблица 42

Динамика наличной и потребной пропускных способностей перегона Сохондо-Тургутуй ($L_{пер}=11$ км)

Фактические параметры												Оптимальные параметры							
$T_{ок}$	$\mathcal{E}_1$	$N_{бл}$	$e_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$N_{ср}$	$N_{нс}$	$N_{сб}$	$N_{нотр}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_{общ}$	$T_{ок}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$N_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_{общ}$	Эффект
10	323436,5	0	7000	0	56	10	2	6,48	288,94	398453	721 890	8	133,9	184657	0	0	210130,1	394 787	327 102
12	255198	0	7000	0	57	10	2	6,56	210,15	289803	545 001	8	118,0	162778	0	0	210130,1	372 908	172 093
10	255198	0	7000	0	61	10	2	6,89	273,82	377600	632 798	7	153,8	212092	0	0	176651	388 743	244 055
12	323436,5	0	7000	0	59	10	2	6,73	352,38	485929	809 366	7	134,7	185806	0	0	176651	362 457	446 908
9	222539	0	7000	0	61	10	2	6,89	225,93	311551	534 090	7	153,8	212092	0	0	176651	388 743	145 347
12	323436,5	0	7000	0	39	10	2	5,06	93,84	129399	452 836	11	77,42	106765	0	0	317863,2	424 628	28 207
12	323436,5	0	7000	0	48	10	2	5,81	170,20	234703	558 140	9	95,6	131829	0	0	244890,1	376 719	181 420
12	323436,5	0	7000	0	57	10	2	6,56	308,71	425705	749 142	8	143,0	197287	0	0	210130,1	407 417	341 724
10	255198	0	7000	0	49	10	2	5,89	123,79	170705	425 903	9	102,1	140846	0	0	244890,1	385 736	40 167
4	77566,56	0	7000	0	50	10	2	5,98	41,73	575397	652 964	9	109,1	150479	0	0	244890,1	395 369	257 594
11	288851	0	7000	0	57	10	2	6,56	254,71	351242	640 093	8	143,0	197287	0	0	210130,1	407 417	232 676
11	288851	0	7000	0	51	10	2	6,06	171,26	236164	525 015	9	116,5	160771	0	0	244890,1	405 661	119 354
11	288851	0	7000	0	52	10	2	6,14	182,97	252316	541 167	9	124,5	171767	0	0	244890,1	416 657	124 509
7	160528	0	7000	0	56	10	2	6,48	110,48	152357	312 885	8	133,9	184657	0	0	210130,1	394 787	-81 903
7	160528	0	7000	0	64	10	2	7,14	187,57	258654	419 182	5	127,6	176082	0	0	114075,8	290 158	129 024
12	323436	0	7000	0	49	10	2	5,89	181,84	250756	574 192	9	102,1	140846	0	0	244890,1	385 736	188 456

Фактические параметры												Оптимальные параметры							
$T_{ок}$	$\mathcal{E}_1$	$N_{бл}$	$e_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$N_{зр}$	$N_{нс}$	$N_{сб}$	$N_{нотр}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_{общ}$	$T_{ок}$	$\sum Nt$	$\mathcal{E}_3$	$N_{бл}$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_{общ}$	Эффект
7	160528	0	7000	0	65	10	2	7,23	200,40	276345	436 873	5	136,4	188125	0	0	114075,8	302 201	134 672
9	222539	0	7000	0	58	10	2	6,64	185,25	255466	478 005	7	126,1	173911	0	0	176651	350 562	127 443
7	160528	0	7000	0	54	10	2	6,31	96,79	133475	294 003	9	142,1	196067	0	0	244890,1	440 957	-146 954
8	190951	0	7000	0	67	10	2	7,39	277,24	382313	573 264	5	155,7	214739	0	0	114075,8	328 815	244 449
5	103664	0	7000	0	56	10	2	6,48	75,21	103719	207 383	8	133,9	184657	0	0	210130,1	394 787	-187 405
6	131383	0	7000	0	62	10	2	6,98	135,58	186962	318 345	7	164,3	226598	0	0	176651	403 249	-84 904
6	131383	0	7000	0	59	10	2	6,73	111,17	153305	284 688	7	134,7	185806	0	0	176651	362 457	-77 769
6	131383	0	7000	0	54	10	2	6,31	79,86	110127	241 510	8	117,3	161772	0	0	210130,1	371 902	-130 392
8	190951	0	7000	0	50	10	2	5,98	90,03	124157	315 108	9	109,1	150479	0	0	244890,1	395 369	-80 261
9	222539	0	7000	0	53	10	2	6,23	133,08	183515	406 054	9	133,0	183516	0	0	244890,1	428 406	-22 352
6	131383	0	7000	0	54	10	2	6,31	79,86	110127	241 510	8	117,3	161772	0	0	210130,1	371 902	-130 392
7	160528	0	7000	0	58	10	2	6,64	126,11	173911	334 439	7	126,1	173911	0	0	176651	350 562	-16 124
6	131383	0	7000	0	53	10	2	6,23	74,75	103077	234 460	9	133,0	183516	0	0	244890,1	428 406	-193 946
4 843,65												3 698,0		Сумма:				2 332 798	

Выводы по седьмой главе

1. При отыскании границ применимости технологий с устройством временных блок-постов необходимо исследование характера изменения потребной и наличной пропускных способностей при производстве капитального ремонта пути.

2. Установлена зависимость длины фронта работ и себестоимости выполнения капитального ремонта пути от продолжительности «окна». Разработан метод, позволяющий выбрать наиболее эффективные с экономической точки зрения параметры окна: продолжительность; способ организации пропуска поездов в этот период; мероприятия по усилению пропускной способности перегона.

3. Установлено, что величина данных задержек определяется в основном изменением: интенсивности поездопотока, продолжительности «окна», количеством временных блок-постов и величиной перегонных времён хода грузовых поездов. Наибольшее влияние на величину данного вида задержек оказывает интенсивность поездопотока.

4. 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.

5. Доказано, что дополнительные задержки поездов в ожидании технического осмотра находятся в линейной зависимости от четырёх факторов: количества пар поездов в сутки; количества поездов в пакете; количества одновременно осматриваемых поездов; продолжительности технического осмотра. Наибольшее влияние на величину данных задержек оказывает количество одновременно осматриваемых поездов.

6. Установлено, что коэффициенты внутрисуточной неравномерности находятся в пределах 1,02-1,41 в зависимости от продолжительности рассматриваемого периода. Аналитическая зависимость коэффициентов внутрисуточной неравномерности от величины рассматриваемого периода описывается уравнением гиперболы.

7. 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.

8. 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.

9. 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. Зависимость длины фронта работ имеет вид линейной регрессии, а себестоимости – степенной.

10. Предложены алгоритмы выбора наиболее целесообразных с экономической точки зрения вариантов, при которых не будет допущен суточный съём поездов:

- времени начала «окна»;
- его продолжительности;
- количество временных блок-постов;
- количество поездов в пакете;
- коэффициент пакетности.

11. Экономический эффект от предоставления «окон» оптимальных параметров для капитального ремонта пути составляет в среднем два миллиона рублей на один ремонтируемый перегон.

8. ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СЕТИ ПРИ РОСТЕ НОРМ ДЛИНЫ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

8.1. Анализ соответствия длины блок-участков сети железных дорог колеи 1520 мм нормам длины грузовых поездов по условиям безопасности

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.

На основных магистральных направлениях используется автоматическая блокировка, считающаяся наиболее современной из всего многообразия систем интервального регулирования движением поездов. В массовом порядке происходит переход на стандартную длину состава поезда в 71 у.в. На протяжении последних десяти лет происходит:

- постепенное удлинение главных и приёмо-отправочных путей на сортировочных, участковых и промежуточных станциях;
- реконструируются системы станционной электрической сигнализации;
- претерпевают изменения конструкции рельсовых цепей и изостыков;
- внедрены системы ДЦ «Тракт», «Сетунь», «Дон» и др., позволившие использовать информацию о фактической занятости/свободности блок-участков в АСУ ГИД «Урал-ВНИИЖТ».

При этом перегонные системы модернизируются только в части элементной базы. Проходные светофоры на перегонах расставлялись исходя из требования ПТЭ о минимальном расстоянии между ними, которое должно быть не меньше тормозного пути и всегда не менее 1000 м [231]. Компоновка перегонов в части разделения на блок-участки осталась неизменной. А между тем, при проектировании была заложена определённая

расчётом минимальная длина блок-участка. Далее при привязке к реальным условиям перегона, руководствуясь условиями видимости сигналов проходных светофоров из кабины локомотива,двигающегося по правильному пути, длина блок-участков корректировалась в сторону увеличения. Рельсовые цепи, как правило, имеют длину кратную 25 м, что позволяет избежать рубок рельсов при строительстве. И тем не менее, подавляющее большинство участков сети построены для обращения составов поездов в 57 у.в. Кроме того, если длина блок-участка оказывается менее длины поезда, производится объединение соседних блок-участков.

С точки зрения безопасности движения поездов по условиям торможения существующая система интервального регулирования обеспечивает главное – исключает возможность столкновения при следовании в потоке двух последовательно движущихся поездов, но цена, которой это достигается – увеличение межпоездного интервала.

8.2. Использование цифровых моделей железных дорог для решения задач эксплуатационной работы

8.2.1. Модель путевого развития

В настоящий момент на сети железных дорог создана единая база данных техническо-распорядительных актов станций (ТРА). Для её создания и оперативного ведения разработан и внедрён на всех дорогах программно-технологический комплекс (ПТК АС ТРА). В базе данных содержится описание всех станций сети. При исполнении требования своевременного внесения сведений о проведенных работах по реконструкции любых станционных подсистем: пути, СЦБ, опор контактной сети, на выходе системы формируется цифровая модель путевого развития станции.

На основе АС ТРА создана и успешно функционирует геоинформационная база данных (ГБД), представляющая организованную совокупность пространственных и табличных данных, которые описывают некоторую территорию и расположенные на ней объекты [232, 233]. В качестве обслуживающей системы используется программный комплекс *ObjectLand* (ГИС *ObjectLand*).

Современный уровень развития информационных технологий на транспорте требует не расширения информационной среды, а повышения её интеллектуального уровня [234]. Проектирование переустройства железнодорожных станций должно осуществляться на основе выгрузки цифровой модели из ГБД. При необходимости выполняется

дополнительная топографо-геодезическая съёмка территории, сведения о которой отсутствуют в базе, вследствие её неполноты. После завершения проектирования возможна обратная загрузка цифровой модели станции проекта переустройства, что даёт возможность сохранить сведения невизуального характера параметризованного цифрового проекта переустройства в ГБД [235]. Статус проекта должен отличаться от фактической информации. В проектной деятельности принято выделять проектные значения красным цветом, фактические чёрным. Наличие «красной» модели даёт возможность контролировать заказчику (собственнику инфраструктуры) соответствие данных исполнительной съёмки по факту завершения переустройства проектным решениям. Контроль на этапе, предшествующему приёмке реконструируемого объекта, позволяет решить, как минимум две проблемы:

- установить степень соответствия эксплуатационных параметров реконструированного объекта проектным;
- проверить качество выполнения исполнительной съёмки реконструированного объекта [236].

Своевременное выявление несоответствий между фактическими и проектными параметрами объекта после реконструкции позволит до внесения информации в ГБД установить место ошибки. Если она допущена при производстве строительных работ, а уровень точности при их производстве кратно ниже проектных, то очень важно установить оказывает ли ошибка влияние на важнейшие эксплуатационные характеристики объекта реконструкции. Например, длина пути после реконструкции оказалась менее технологически необходимой, – тем самым не решена главная задача реконструкции горловины при удлинении станционных путей. В таком случае должен следовать мотивированный отказ в приёмке в постоянную эксплуатацию, и, как следствие, устранение несоответствия за счёт средств подрядной организации. Для снижения совокупных строительных издержек цифровые модели проектов должны использоваться для контроля на всех этапах строительства: при производстве инженерно-геологических изысканий, при линейной привязке объектов нового строительства, монтаже фундаментов устройств, завершении строительства или реконструкции.

В случае выявления ошибок результатов топографо-геодезической съёмки необходима проверка правильности привязки к реперной сети. Как правило, точность современной аппаратуры (электронных тахеометров) очень высока. Поэтому появление оши-

бок – следствие человеческого фактора (недостаточная плотность съёмки, излишне дальние промеры), т.к. зачастую измерения выполняются в тяжёлых полевых условиях. Иначе говоря, до ввода данных в цифровую модель необходимо принять все возможные меры для проверки достоверности данных исполнительной съёмки. Полное совпадение проектных и фактических данных невозможно, более того их полное совпадение тоже вызывает подозрение к качеству съёмки, поэтому должно наблюдаться незначительное расхождение в значениях данных.

Ввод тщательно проверенных данных по результатам исполнительной съёмки позволит повысить уровень качества цифровой модели путевого развития. Сказанное в полной мере можно отнести и к описанию перегонов.

К перспективам развития цифровой модели путевого развития следует отнести создание базы данных электронных паспортов подъездных путей необщего пользования. Такая работа разворачивается в настоящее время под эгидой Федерального агентства железнодорожного транспорта РФ (Росжелдора). К сожалению, в настоящий момент времени метки динамических объектов в ряде случаев теряют привязку к ЦМПР. Например, при подаче на подъездной путь это произойдёт как с меткой маневрового локомотива, так и всех следующих с ним вагонов.

8.2.2. Модели динамических объектов

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 фиксированной длины. Под сплайном (от англ. *spline* — планка, рейка) обычно понимают кусочно-заданную функцию, совпадающую с функциями более простой природы на каждом элементе разбиения своей области определения. Динамичность сплайна означает, что в любой момент времени для сплайна существует система уравнений описывающая размещение в пространстве поезда. Графически сплайн – кривая фиксированной длины. Динамический сплайн – «извивающийся червяк».

Принцип бионического (биомиметического) подхода достаточно широко используется в современной науке, в т.ч. и при отыскании аналогов в природе. Достаточно привести в качестве примеров летательные аппараты и принципы их конструкций. Сходство поезда с кольцевым червем достаточно велико, например, он меняет свою

длину в процессе движения. Конструктивный ход пружинно-фрикционного поглощающего аппарата автосцепного устройства СА-3, необходимый для смягчения ударов и рывков, предохранения подвижного состава от опасных динамических воздействий – 90 мм. Разница в длине поезда, между предельными случаями: при нахождении на затяжном подъёме (автосцепки предельно растянуты) и при спуске в режиме торможения (максимальное сжатие), при составе поезда в 71 вагон с одиночным локомотивом составит:

$$71 * 0,09 = 6,39 \text{ (м)}.$$

Движение кольцевого червя в толще почвы иной природы, значительно более сложной. Каждое из его колец постоянно меняет свою геометрию, в то время как изменение длины вагона по осям автосцепок обеспечивается наличием полостей в конструкции поглощающих аппаратов. Более того, при прохождении червем плотных участков он регулирует плотность своих колец посредством перемещения физиологической жидкости между ними. Очевидно, что в чистом виде нет необходимости использования модели движения кольцевого червя для описания движения поезда. Достаточно существенно упрощённого аналога.

В качестве другого аналога можно использовать движение цепи по направляющей. Отличие от таких моделей в том, что направляющая (железнодорожный путь) постоянно меняет свою конфигурацию. Т.е. модели, описывающие цепную передачу, не пригодны. Более того, наличие собственной системы управления у поезда ставит его значительно ближе к «живым» объектам. В качестве ещё одного из ограничений выступает путь. Если червь в любой момент времени может двигаться в произвольном направлении, при этом лишь незначительная часть пространства, занятая его телом, исключает достаточно малый сегмент направлений (нельзя двигаться внутрь себя), то поезд всегда движется по направляющей, размещение которой в пространстве жёстко регламентировано.

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 последними понимаются воздействия систем тягового электроснабжения и диспетчерского управления, погодные условия, перемещения динамических объектов в пространстве габарита подвижного состава на пути следования поезда и др. Звенья цепи – вагоны. Состав поезда легко описывается на основе информации из автоматизированной системы оператив-

ного управления перевозками (АСОУП). По номеру вагона устанавливается главный параметр для модели – его фактическая длина по осям автосцепок. Этот параметр описывает максимальную длину, т.к. при измерениях вагон расцеплен, а значит и поглощающие аппараты автосцепок предельно разжаты.

Подбор сплайна не зависит от поведения поезда. Положения головной и хвостовых меток транспордера определяют привязку поезда к цифровой модели пути. С неё снимается, на каких элементах в плане и профиле находится состав поезда. Например, одна часть поезда проходит круговую кривую известного радиуса на спуске, другая находится на переходной кривой, расположенной на площадке, а третья часть находится на прямой и на подъёме. В таком случае сплайн будет содержать три функции: по одной для каждого из участков. Число сплайнов в модели определяется точностью цифровой модели пути.

В цифровой модели путь описывается как линия, что соответствует пространственному размещению оси пути 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 [237], 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 задачи, которую требуется решить. 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), очевидно, что при построении виртуального туннеля шаг построения поперечных сечений должен быть менее этой величины. В противном случае препятствие можно просто не увидеть.

8.2.3. Принципы использования цифровых моделей для решения задач эксплуатационной работы железных дорог

Для решения большинства задач эксплуатации железных дорог модель «извивающегося червяка», или пучка динамических сплайнов явно избыточна. Её проекции на продольную ось пути, т.е. получение динамического 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 55). Числами 1-10 отмечены точки для которых строятся сплайны, 11 – соответствует сплайну сокращённой версии.

Характерные точки габарита погрузки

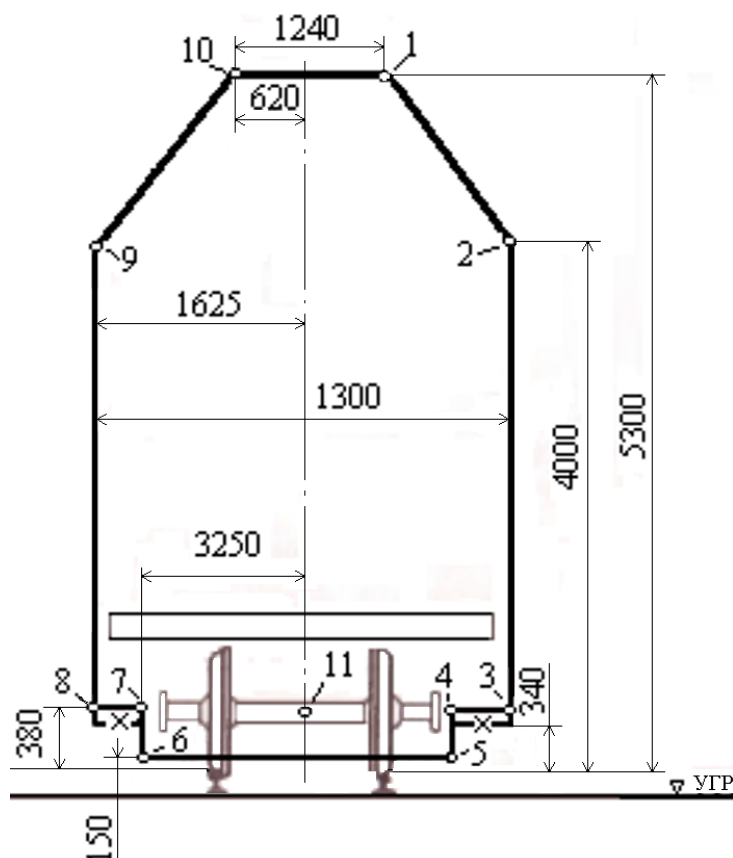


Рисунок 55

Сплайны задаются характерными точками очертания габарита поезда. Их количество может меняться в зависимости от сложности контура. Минимальное число сплайнов соответствует случаю, когда все вагоны в составе поезда вписываются в

габарит погрузки. При наличии в составе поезда негабаритных вагонов толщина пучка сплайнов колеблется от 10 до 24 (предельный случай) линий. Для поезда, в составе которого только порожние вагоны, описание его габарита принимается по габариту подвижного состава.

Полная модель пучка динамических сплайнов должна применяться при проверке габаритной проходимости поезда до момента принятия о подготовке маршрутов приёма и отправления по станциям. Особенно это актуально в случаях ограничения пропускной способности, например, связанной с проведением технологических «окон».

8.3. Оценка возможности применения космической навигации для интервального регулирования движения поездов

Применение аппаратуры потребителя СРНС ГЛОНАСС/GPS на железнодорожном транспорте длительное время сдерживалось ввиду объективных причин:

- отсутствия цифровой системы радиосвязи железнодорожного транспорта Российской Федерации, свободных радиоканалов передачи данных, возможности осуществления контроля проследования поездом участков пути в полном составе, математического и алгоритмического обеспечения решения навигационно-геодезических задач с метровой и субсантиметровой точностью в режиме реального времени, учитывающего специфику железнодорожного транспорта.
- несоответствия существующего ПО аппаратуры потребителя СРНС ГЛОНАСС/GPS требованиям, предъявляемым к ПО средств железнодорожной автоматики (ЖАТ) [238].

На современном уровне развития систем спутниковой навигации осуществление контроля проследования поездом участков пути в полном составе производится только с помощью аппаратуры потребителя СРНС ГЛОНАСС/GPS – датчика положения.

Применение аппаратуры потребителя СРНС ГЛОНАСС/GPS широкого спектра на железных дорогах РФ позволит кардинально и в кратчайшие сроки решить актуальные задачи по повышению эффективности эксплуатационной и производственной деятельности:

- в режиме реального времени и постобработки данных с субсантиметровой точностью отразить в цифровой модели путевого развития данные всех съёмочных и разбивочных геодезических работ, возникающих при производстве изысканий,

строительстве и текущем содержании железных дорог, мониторинге железнодорожных путей и сооружений;

- осуществление координатно-временного обеспечения систем безопасности движения подвижного состава и систем интервального регулирования;
- позиционное сопровождение перемещения поездов;
- осуществление позиционной поддержки решения задач диспетчеризации.

Для решения задач оперативного управления движением поездов наличие СРНС ГЛОНАСС/GPS позволяет при необходимости уплотнять поездопоток за счёт сокращения межпоездного интервала. Управление величиной межпоездного интервала меняет свою природу. Если при езде по сигналам автоблокировки, или автоматической локомотивной сигнализации, используемой как самостоятельное средство связи, управление было дискретным, то при переходе на СРНС каждому машинисту можно выдавать оперативную индивидуальную режимную карту. Это очень важно в периоды сгущения поездопотока, которые неизбежно возникают, как вследствие внутрисуточной неравномерности, так и в периоды времени, после «окон».

При разработке нормативного графика движения поездов в соответствии с инструкцией по определению пропускной способности [239] межпоездной интервал выбирается как наименьший из рассчитанных:

- для участков по перегонам;
- по железнодорожным станциям;
- по ограничениям системы тягового электроснабжения;
- по деповским и экипировочным устройствам локомотивного хозяйства;
- по устройствам вагонного хозяйства.

Физический смысл формирования межпоездного интервала таков, что наибольшей величины он достигает на самых сложных участках, – как правило, при прохождении затяжных подъёмов [240]. Это объясняется тяжёлыми условиями работы тяговых электродвигателей, происходит нагрев обмоток, и падение мощности с одной стороны, а с другой с предельной нагрузкой работают и трансформаторы системы тягового электроснабжения. Проверка по безопасности торможения позволит чётко выявить ограничения по обеспечивающим системам. Своевременное финансовое обеспечение проектных работ по усилению мощности слабых зон, их практическая реализация, позволят снизить

давление ограничений и, в конечном счёте, повысить наличную пропускную способность.

8.4. Принципы построения системы интервального регулирования движения поездов с использованием космической навигации

Для разработки системы интервального регулирования движением поездов должен быть выбран главный принцип организации, реализация которого на основе системы космической навигации позволит:

- обеспечить безопасное движение поездов;
- повысить наличную пропускную способность железнодорожных линий, участков и станций;
- сократить эксплуатационные затраты на эксплуатацию систем централизации, блокировки и связи;
- снизить стоимость создаваемых вновь систем интервального регулирования движения поездов [241].

Как показывает анализ возможно три принципиально отличающихся подхода к организации системы интервального регулирования движением поездов с использованием в качестве базового элемента электронной метки – транспондера:

- во взаимодействии со спутником (системой космической навигации);
- с применением стационарных ридеров (считывающих устройств);
- комбинированная система.

Каждая из систем имеет свои достоинства, но и недостатки есть у каждой. У спутниковой технологии вызывают вопросы влияние среды передачи сигнала, его устойчивость, а также отсутствие связи со спутником во время прохождения объектом слежения тоннелей и скальных прижимов. Требуется проверки надёжность системы навигации в сложных погодных условиях. Очевидна необходимость дополнения системы навигации вспомогательными устройствами – ридерами, которые снимают сигналы с транспондеров и передают информацию для передачи на спутник через трансляторы. Иначе говоря, спутниковая технология в чистом виде невозможна. В то же время по срокам реализации эта технология имеет огромный плюс – возможна аренда каналов с использованием

существующих спутников. Такая система может развиваться путём запуска специализированных «железнодорожных» спутников.

Привлекательно выглядит вариант с использованием стационарных транспондеров. Можно сразу говорить о высокой надёжности такой системы, построенной на кабельных линиях. Но такая система будет обладать высокой стоимостью, потребуются значительный объём строительных и пуско-наладочных работ. Частично стоимость проекта может быть снижена за счёт использования кабельной канализации систем автоблокировки. Внедрение такой системы на сети Российских дорог потребует значительного периода времени. Поэтому наиболее перспективным представляется комбинированный вариант, который должен сочетать сравнительную простоту внедрения космической навигации с надёжностью транспондерного считывания.

В работе [242] разработана базирующаяся на моделях импульсных систем методика расчёта потенциально реализуемых показателей эксплуатационной работы железнодорожного участка, предложены математические модели, обеспечивающие получение потенциально реализуемых показателей эксплуатационной работы железнодорожного участка при различных способах построения систем обеспечения безопасности движения поездов, статистических характеристик погрешности определения расстояния между поездами и реализуемого межпоездного интервала.

При разработке требований к системам интервального регулирования следует в первую очередь обеспечить безопасное движение поездов. Для выполнения этого постулата в первую очередь необходимо обеспечить соблюдение минимального расстояния между последовательно движущимися поездами [240]. Это расстояние формирует величину временного интервала в зависимости от скоростей движения обоих поездов. Очевидно, что временной интервал может быть описан непрерывной функцией трёх переменных:

$$I = f(l, V_{yb}, V_{dog}), \quad (134)$$

где: l – расстояние между хвостом «убегающего» и головой «догоняющего» поезда;

V_{yb}, V_{dog} – скорость «убегающего» и «догоняющего» поездов, соответственно.

При этом для обеспечения безопасного движения поездов необходимо безусловное выполнение правила:

$$l > s_m, \quad (135)$$

где: s_m – минимально допустимое расстояние между хвостом «убегающего» и головой «догоняющего» поезда по условиям безопасного торможения.

Выполнение условия (135) должно обеспечиваться непрерывно в процессе движения для каждой пары последовательно идущих поездов. Для двухпутного перегона при нормальной работе (при следовании поездов чётного направления по чётному пути, а нечётных по нечётному) достаточно контроля всего одного параметра – s_m , который должен пересчитываться с заданной периодичностью, например, с пятисекундным интервалом. Величина этого временного отрезка тесно увязана с периодом обновления информации о нахождении меток (транспордеров). Не имеет смысла пересчёт контролируемого параметра при отсутствии обновления информации о дислокации объектов.

При рассмотрении зависимости минимально допустимого расстояния между хвостом «убегающего» и головой «догоняющего» поезда по условиям безопасного торможения от внешних условий, очевидно влияние достаточно большого числа факторов.

В соответствие с [243], тормозной путь s_m (в метрах) принимается равным сумме подготовительного тормозного пути s_n и действительного пути торможения s_o :

$$s_m = s_n + s_o, \quad (136)$$

$$\text{где:} \quad s_n = 0,278 v_0 t_n. \quad (137)$$

Действительный путь торможения определяется:

$$s_o = \sum \frac{500(v_n^2 - v_k^2)}{\zeta(1000g_p \varphi_{kp} + \omega_{ox} + i_c)}, \quad (138)$$

где: v_0 – скорость поезда в момент начала торможения, км/ч;

t_n – время подготовки тормозов к действию, с;

0,278 – переводной коэффициент;

v_n и v_k – начальная и конечная скорости в расчётном интервале, км/ч;

ζ – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы (1 кгс/т), км/ч²;

g_p – расчётный тормозной коэффициент поезда;

φ_{kp} – расчётный коэффициент трения тормозных колодок в интервале скоростей;

ω_{ox} – основное удельное сопротивление движению поезда при холостом ходе локомотива в расчётном интервале скоростей, кгс/т;

i_c – удельное сопротивление от спрямлённого (в профиле и плане) уклона, для которого производятся расчёты (при спуске значение со знаком минус), кгс/т.

При определении длины тормозного пути с использованием формул (136)-(138) можно выделить условно-постоянные и переменные параметры. К первым относят ω_{ox} и i_c , ко вторым – остальные. В расчётной модели поезд описывается как точка, к которой и прилагаются все силы. Она проводится с заданным временным интервалом Δt по спрямлённому профилю. Для каждого из интервалов определяются значения переменных параметров и рассчитываются значения пройденного тормозного пути Δs_i за время Δt . Общий тормозной путь определяется суммированием всех Δs_i за время торможения.

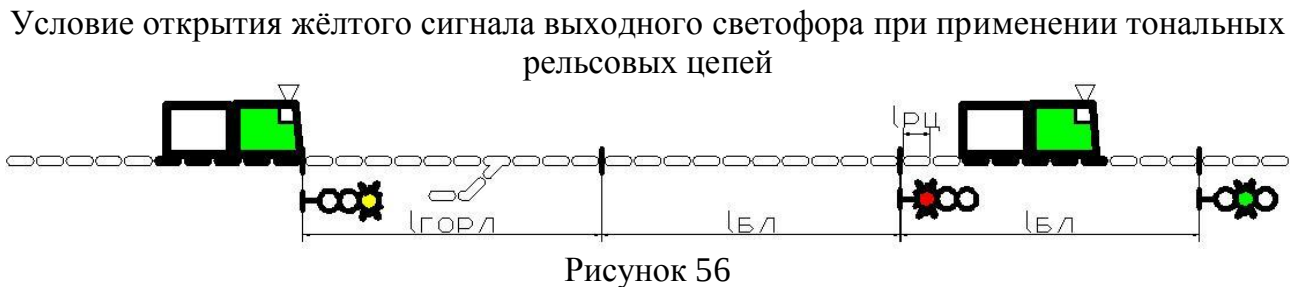
Рассмотренная методика разрабатывалась для условий ручного расчёта и содержит достаточное число условностей. Современные программные комплексы, например, «Комплекс программ для расчётов систем тягового электроснабжения КОРТЭС» разработки ВНИИЖТа, не отображают алгоритм и методику расчётов. Поэтому можно предложить в качестве дополнения к методике, изложенной в [243], в число переменных параметров отнести i_c . Основанием для такого подхода служит наличие информации о точной дислокации меток (транспордеров) головы и хвоста поезда. При наложении на цифровую модель участка нетрудно определить средневзвешенный спрямлённый уклон. Причём в условиях увеличения длин всё чаще ситуации, когда поезда оказываются на нескольких разнознаковых элементах (спусках, площадках и подъёмах), вплоть до пилообразного профиля.

Также временной лаг пересчёта может быть существенно сокращён за счёт реализации вычислительных мощностей современных компьютеров, которая позволяет пересчитывать контролируемый параметр фактически в режиме *on-line*.

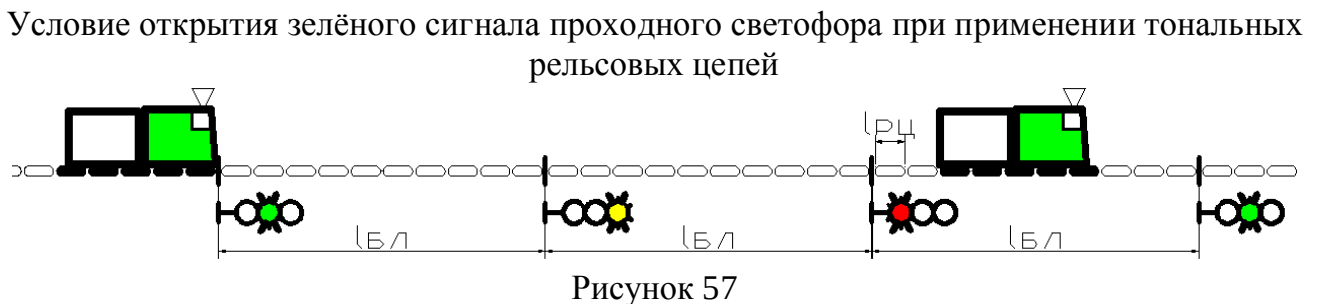
При отправлении со станции основанием для начала движения при трогании с места «догоняющего» поезда может служить освобождение «убегающим» стрелочной горловины, что легко определяются снятием шунтирования с последней по маршруту следования бесстрелочной секции. Ограничением по безопасности в момент движения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

$$V_{yb} > V_{дог}. \quad (139)$$

Для реализации описанного принципа требуется изменить логику настройки цепей управления станционных систем 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 (рисунок 56).



При вкатывании головы «догоняющего» поезда на первый блок-участок перегона условие (139) перестаёт работать, а управление передаётся правилу (135). При следовании по перегону, оборудованному автоблокировкой при использовании тональных рельсовых цепей, минимальный интервал определяется для ситуации, приведенной на рисунке 57.



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, настройка которого соответствует требованиям «Инструкции по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации» [244].

При прохождении головой поезда входного сигнала на станцию 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, приведенной на рисунке 58 [231, 245, 246].



Рисунок 58

При нормальной схеме разграничения рекомендуется интервал определять по формуле:

$$I = 0,06 \frac{L_p}{V_x} = 0,06 \frac{(l'_{бл} + l''_{бл} + l'''_{бл} + l_n)}{V_x}, \quad (140)$$

где: $l'_{бл}$, $l''_{бл}$, $l'''_{бл}$ – длина первого, второго и третьего блок-участков соответственно, м;

l_n – длина поезда, м;

V_x – средняя ходовая скорость поезда на рассматриваемой части перегона, км/ч;

0,06 – коэффициент перевода размерности в м/мин;

L_p – расчётное расстояние, м.

Произведённые расчёты по формуле (140) для различных норм длины поездов, принимая скорости «убегающего» и «догоняющего» поездов равными и варьируя средними значениями скоростей при фиксированной длине блок-участков, показали, что величина интервала между поездами в пакете серьёзно варьируется. Результаты расчётов для разных длин блок-участков приведены в таблицах 43-45.

Таблица 43

Расчёт величины межпоездного интервала при средней длине блок участка $l_{\text{бл}} = 1\,200$ м

Длина					Величина интервала, мин																								
поезда		блок-участков, м			при ходовой скорости, км/ч																								
у.в.	м	1	2	3	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120		
57	833	1200	1200	1200	27	18	14	11	9	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3		
71	1029	1200	1200	1200	28	19	14	12	10	8	7	7	6	6	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3		
85	1225	1200	1200	1200	29	20	15	12	10	9	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3		

Таблица 44

Расчёт величины межпоездного интервала при средней длине блок участка $l_{\text{бл}} = 1\,800$ м

Длина					Величина интервала, мин																								
поезда		блок-участков, м			при ходовой скорости, км/ч																								
у.в.	м	1	2	3	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120		
57	833	1800	1800	1800	38	25	19	15	13	11	10	9	8	7	7	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4		
71	1029	1800	1800	1800	39	26	20	16	13	12	10	9	8	8	7	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4		
85	1225	1800	1800	1800	40	27	20	16	14	12	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4		

Таблица 45

Расчёт величины межпоездного интервала при средней длине блок участка $l_{\text{бл}} = 2\,400$ м

Длина					Величина интервала, мин																								
Поезда		блок-участков, м			при ходовой скорости, км/ч																								
у.в.	м	1	2	3	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120		
57	833	2400	2400	2400	49	33	25	20	17	14	13	11	10	9	9	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	5	5		
71	1029	2400	2400	2400	50	33	25	20	17	15	13	11	10	9	9	8	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	5		
85	1225	2400	2400	2400	51	34	26	21	17	15	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	6	6	5	5	5	5		

Для наглядности на рисунке 59 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.

Зависимость интервала между поездами в пакете при варьировании средней ходовой скорости

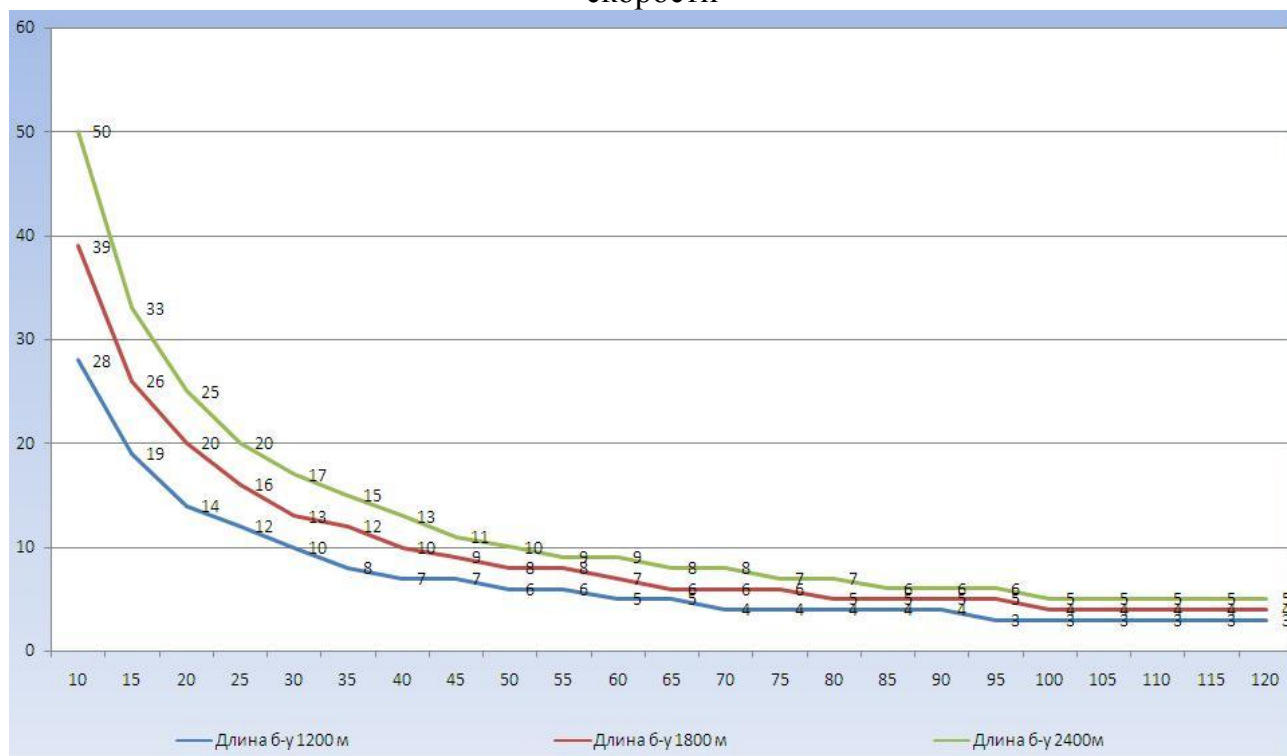


Рисунок 59

Второе важное следствие – 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 это схоже с понятиями мгновенной (истинной) скорости [247].

Под мгновенной (истинной) скоростью понимается предел отношения пройденного расстояния Δs к интервалу времени Δt , за который оно пройдено, при стремлении последнего к нулю:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}. \quad (141)$$

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. Динамичность означает, что в любой момент времени для сплайна существует система уравнений, описывающая размещение ожидаемой траектории в пространстве. Графически сплайн – кривая фиксированной длины. При этом ожидаемая траектория постоянно меняет свою длину, кроме случая, когда скорости двух последовательно движущихся поездов равны и оба движутся равномерно.

Учитывая изложенное, в качестве научной основы построения системы интервального регулирования движения поездов с использованием средств космической навигации, можно предложить концепцию 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, при обращении на сети избыточного парка вагонов всё чаще возникают ситуации с недостатком наличной пропускной способности. Строи-

тельство 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 [248]. Следует добавить, что кроме финансового фактора существует и временной – 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 работы. 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.

Выводы по восьмой главе

1. Предложенная модель представления динамических объектов в виде пучка динамических сплайнов позволяет описывать динамику перемещения по сети железных дорог общего пользования поездов любых категорий. Возможно существенное упрощение модели при представлении поезда как единственного динамического сплайна, что существенно расширяет круг решаемых с её помощью задач эксплуатации железных дорог.

2. Проведённое исследование выявило избыточность ограничений, накладываемых на величину межпоездного интервала со стороны перегонных систем автоматической блокировки, что приводит к снижению уровня наличной пропускной способности.

3. Анализ уровня развития отечественных и зарубежных систем космической навигации позволил сделать вывод о невозможности создания систем интервального регулирования движением поездов на их основе без дополнения наземными техническими устройствами.

4. Предложенные принципы создания системы интервального регулирования движением поездов при реализации на практике позволяют повышать 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретическое обоснование принципов построения, функционирования и развития системы управления эксплуатационной работой на железных дорогах колеи 1520 мм в условиях реформы в части усиления провозной способности ключевых направлений, а также управления парками вагонов различной принадлежности являлось целью диссертационной работы. Для её достижения последовательно решён ряд задач.

Даны определения базовым терминам предметной области с позиций системного анализа. Выполнен анализ научных исследований в области развития транспортных систем, в результате которого установлено, что применяемые ранее модели и принятые парадигмы не работают в полной мере в новых экономических условиях, вызванных проводимой реформой железнодорожного транспорта.

Изменившийся уклад мировой и национальной экономики требует переосмысления роли транспорта. Обеспечение логистических потребностей в условиях смещения акцентов в сторону повышения надёжности поставок, в части выполнения договорных сроков и обеспечения сохранности перевозимых грузов, требует создания новых транспортных технологий.

Появление в транспортном сообществе значительного количества компаний, осуществляющих оперирование подвижным составом, экспедирование перевозок грузов, оказывающих логистические услуги различного рода, оказывает существенное влияние на качество эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте.

Снижение качества управления работой вагонных парков приводит к росту потребности в порожнем подвижном составе, увеличению времени оборота вагонов, 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, на-

правлений 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 с согласованием регулировочных мероприятий с собственниками вагонов. 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.

Проведённый анализ управления парками вагонов в нашей стране и за рубежом на протяжении длительных исторических отрезков позволил выявить системные недостатки и проблемы эксплуатации вагонов различной принадлежности. Главной из которых является низкая эффективность использования вагонов. Предложена модель управления парками частных вагонов. В перспективе предлагается создание вагонной биржи на разработанных принципах обезличенного использования вагонов.

На основании проведенного анализа научных исследований предложена методика определения потребности пунктов погрузки в погрузочных ресурсах, обеспечивающая удовлетворение потребностей всех категорий грузоотправителей, линейных предприятий транспорта и отрасли в целом. Задача распределения порожнего подвижного состава решается за три шага:

- определение спроса пунктов погрузки;
- определение ресурсов порожнего подвижного состава;
- распределение порожнего подвижного состава по пунктам погрузки.

Обобщенным критерием оптимальности, при решении задачи распределения порожнего подвижного состава, выбраны суммарные приведенные затраты всех участников транспортного процесса на обеспечение порожними вагонами пунктов погрузки в необходимом количестве при минимальных затратах на перемещение порожних вагонов. Представлена математическая постановка задачи. Решение служит основанием для переговоров с представителями владельцев подвижного состава.

Предложена методика определения спроса пунктов погрузки в современных условиях. Разработаны алгоритмы формирования обобщенной заявки на порожний подвижной состав по региону управления.

В качестве концептуальной основы для решения задачи корректировки спроса пунктов погрузки в подвижном составе предложена теория нечётких множеств. Являясь одним из методов искусственного интеллекта, она представляет возможность для реализации методики корректировки опроса пунктов погрузки в погрузочных ресурсах, в рамках системы поддержки принятия решений о распределении порожнего подвижного состава по пунктам погрузки.

Предложен набор критериев для экспертной оценки пунктов погрузки. Для каждого из которых введены нечёткие целевые функции. С помощью теории возможностей решена задача оценки неравных по значимости критериев посредством назначения им некоторого веса с последующим суммированием этих весов в рамках операций свертки.

Предложена методика определения приоритетов пунктов погрузки посредством решения задачи многокритериального выбора и разработаны алгоритмы проведения корректировки спроса пунктов погрузки в ресурсах и работы системы поддержки принятия решений о распределении порожнего подвижного состава.

Рационализация соотношения ёмкости путей станций и вагонных парков позволяет избежать избыточных инвестиций в путевую инфраструктуру. Разделение вагонных парков и характер развития экономики страны оказывают негативное влияние на уровень использования провозных способностей железных дорог. Необходима система контроля за уровнем вагонных парков для каждого элемента сети железных дорог: станций, участков, полигонов. Особенно важно это для решающих направлений – путей следования экспортных грузов. При приёме заявки на перевозку грузов должна производиться технологическая оценка возможности осуществления перевозки и доступа к инфраструктуре.

Предложено создавать на сети специализированные «станции-отели» для отстоя порожних вагонов в ожидании требования подачи под погрузку. Необходимо установить систему контроля за соответствием числа поставляемых вагонов и возможностями сети по вместимости. Требуется создание нормативной базы, определяющей порядок подачи порожних вагонов в районы массовой погрузки, и процедуры вывода из мест массовой выгрузки.

Проблемы, возникающие при производстве капитального ремонта пути, имеют различную природу, что определяет достаточно широкий круг методов, применяемых при решении отдельных задач.

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.

Для оценки влияния интенсивности поездопотока необходимо изучение и оценка влияния внутрисуточной неравномерности при определении дополнительных задержек поездов, возникающих при производстве капитального ремонта пути.

При отыскании границ применимости технологий с устройством временных блок-постов необходимо исследование характера изменения потребной и наличной пропускных способностей при производстве капитального ремонта пути.

Существует зависимость длины фронта работ и себестоимости выполнения капитального ремонта пути от продолжительности «окна». Разработанная методика, позволяет выбрать наиболее эффективные с экономической точки зрения параметры окна: продолжительность; способ организации пропуска поездов в этот период; мероприятия по усилению пропускной способности перегона.

Установлено, что величина данных задержек определяется в основном изменением: интенсивности поездопотока, продолжительности «окна», количества временных блок-постов и перегонных времён хода грузовых поездов. Наибольшее влияние на величину данного вида задержек оказывает интенсивность поездопотока.

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.

Доказано, что дополнительные задержки поездов в ожидании технического осмотра можно описать линейной зависимостью от четырёх факторов: количества пар поездов в сутки; количества поездов в пакете; количества одновременно осматриваемых поездов; продолжительности технического осмотра. Наибольшее влияние на величину данных задержек оказывает количество одновременно осматриваемых поездов. Установлено, что коэффициенты внутрисуточной неравномерности находятся в пределах 1,02-1,41 в зависимости от длительности рассматриваемого периода. Аналитическая зависимость

коэффициентов внутрисуточной неравномерности от величины рассматриваемого периода описывается уравнением гиперболы.

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 себестоимость выполнения капитального ремонта пути в части зависящих от продолжительности «окна» расходов. Зависимость длины фронта работ имеет вид линейной регрессии, а себестоимости – степенной.

Для выбора наиболее целесообразных с экономической точки зрения: времени начала «окна», его продолжительности, количество временных блок-постов следует использовать предложенную методику. Её применение позволяет рассчитать параметры (продолжительность «окна» и время его начала, количество поездов в пакете и временных блок-постов, коэффициент пакетности) всех возможных вариантов, при которых не будет допущен суточный съём поездов. Экономический эффект от предоставления «окон» оптимальных параметров для капитального ремонта пути составляет в среднем два миллиона рублей на один ремонтируемый перегон.

Проведённое исследование выявило избыточность ограничений, накладываемых на величину межпоездного интервала со стороны перегонных систем автоматической блокировки, что приводит к снижению уровня наличной пропускной способности. Успехи в развитии геоинформационных систем создали к настоящему моменту времени предпосылки для создания принципиально нового класса систем интервального регулирования движением поездов.

Уровень развития информационных систем железнодорожного транспорта позволяет создать цифровую модель путевого развития для использования для практических 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. Возможно существенное упрощение модели при представлении поезда как единственного динамического сплайна, что существенно расширяет круг решаемых с её помощью задач эксплуатации железных дорог.

Анализ уровня развития отечественных и зарубежных систем космической навигации позволил сделать вывод о невозможности создания систем интервального регулирования движением поездов на их основе без дополнения наземными техническими устройствами.

Предложенные принципы создания системы интервального регулирования движением поездов при реализации на практике позволяют повышать 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Численный расчёт корректировки спроса в порожнем подвижном составе и его распределение по фронтам погрузки станции Батарейная Восточно-Сибирской железной дороги авторским методом

Исходные данные для расчёта (таблица П.1) взяты из отчёта станции по погрузке за апрель 2013 г.

После отбора из семнадцати грузовладельцев десяти, выполняющих погрузку, им присваиваются индексы $j = \overline{1,10}$ (таблица П.2).

Таблица П.2

Индексация отправителей грузов станции

Грузоотправитель	Индекс j
ООО «Сибтранс»	1
ОАО «Трансконтейнер»	2
ООО «Лидер»	3
В/Ч 58661-38	4
В/Ч 58661-57	5
В/Ч 86753	6
ПМС-45	7
ЗАО «Оборонпромкомплекс»	8
ООО «Риат»	9
ООО «Стансервис»	10

Оценка G_k отправителей по двенадцати критериям C_k выполнена по методике, приведённой в п. 4.3.2 диссертации, на основании исходных данных (таблица П.1). Результаты приведены в таблице П.3. В двух последних строках оценок G_k отправителей приведены максимальное (предпоследняя строка) и минимальное (последняя) значения.

Все отправители ω_j , оценка которых G_k принимает максимальное значение, составляют ядро нечёткого множества G_k , обозначаемое $\tilde{G}_k$, и характеризуют предельные возможности отправителей по критерию C_k : $\tilde{G}_k = \{ \omega_j \in \Omega \mid \mu_k(\omega_j) = 1 \}$. Оценки ядра заносятся в таблицу П.4.

Те станции ω_j , для которых функционал G_k принимает минимальное значение получают степень принадлежности к нечёткому множеству G_k равную нулю. Эти оценки также заносятся в таблицу П.4.

Таблица П.46

Исходные данные о погрузке и выгрузке по станции Батарейная Восточно-Сибирской железной дороги за апрель 2013 г.

Подъездной путь, контрагент	Погрузка					Выгрузка					Собственник подвижного состава
	КР	ПЛ	ПВ	ЦС	ФТГ	КР	ПЛ	ПВ	ЦС	ФТГ	
ООО «Сибтранс»	120	120	120	107		220	248	220	220		ОАО «ДВТГ», ООО «Новотранс», ОАО «ФГК», ОАО «ПГК»
ОАО «ТК»					2049					2700	ОАО «Трансконтейнер», ООО «Ново- транс»
ООО «Иркутскводстрой»						30					ООО «Саянскхимпласт», ОАО «ПГК»
- ООО «Ресурс»									119		ОАО «Трансойл»
- ООО «Лидер»	60	60									ОАО «ФГК», ОАО «ПГК»
В/Ч 58661-38		10					99				ОАО «ФГК»
В/Ч 58661-57		15									ОАО «ФГК»
В/Ч 86753				5					57		ОАО «ФГК»
ООО «Транссибрегион»						30					ООО «Новотранс»
						30					ООО «Саянскхимпласт»
ПМС-45		66	56				35	35			ОАО «ФГК», ОАО «ПГК»
ГМС						50		60			ОАО «ПГК», ООО «Локотранс»
ЗАО «Оборонпромкомплекс»			15					30			ОАО «ФГК», ОАО «ПГК»
ООО «Промтэк»						30					ООО «Саянскхимпласт», ООО «Ново- транс»
ООО «Риат»	70										ОАО «ФГК», ОАО «ПГК»
ООО «Рудник Восточный»								30			ОАО «ПГК»
ООО «Стансервис»			66					153			ОАО «ФГК», ОАО «ПГК»
ФБГУ Сибво									24		ОАО «ПГК»
Итого:	250	271	257	112	2049	390	382	528	420	2700	

Всего:	2939	4420
Вагонооборот станции	7359	

Таблица П.3

Оценка G_k отправителей по 12 критериям C_k

j	Погрузка					Выгрузка					Баланс: избыток +; недостаток -					Оценка по критерию C_k											
																C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
																Весовой коэффициент p_k критерия C_k											
	кр	пл	пв	цс	фтг	кр	пл	пв	цс	фтг	кр	пл	пв	цс	фтг	0,062	0,042	0,021	0,007	0,063	0,069	0,076	0,146	0,160	0,118	0,118	0,118
	Оценка G_k отправителей																										
1	120	120	120	107		220	248	220	220		100	128	100	113	0	0,159	0	0	0,198	0,330	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
2					2049					2700	0	0	0	0	651	0,697	0	0	0,683	0,488	0,750	1,000	1,000	1,000	1,000	0,750	1,000
3	60	60									-60	-60	0	0	0	0,041	0,514	0,467	0,017	0	1,000	0,500	0,250	0,375	0,500	0,500	1,000
4		10					99				0	89	0	0	0	0,003	0	0	0,016	0,067	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500
5		15									0	-15	0	0	0	0,005	0,142	0,058	0,002	0	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500
6				5					57		0	0	0	52	0	0,002	0	0	0,009	0,039	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500
7		66	56				35	35			0	-31	-21	0	0	0,042	0,578	0,202	0,028	0	1,000	0,500	0,750	0,625	1,000	1,000	1,000
8			15					30			0	0	15	0	0	0,005	0	0	0,006	0,011	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500
9	70										-70	0	0	0	0	0,024	0,538	0,272	0,010	0	0,500	0,500	0,500	0,500	0,250	0,250	0,500
10			66					153			0	0	87	0	0	0,022	0	0	0,031	0,065	0,500	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500
Σ	250	271	257	112	2049	220	382	438	277	2700	-30	111	181	165	651	0,697	0,578	0,467	0,683	0,488	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	2939					4017					1078					0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,500

И, наконец, станции ω_j , для которых степень принадлежности к нечёткому множеству G_k принимает ненулевое значение, составляют множество, называемое носителем нечёткого множества G_k , и обозначается $S(G_k)$: $S(G_k) = \{\omega_j \in \Omega | \mu_k(\omega_j) > 0\}$. Следующим этапом является точное определение значения функции принадлежности к нечёткому множеству G_k для каждой станции $\omega_j \in \Omega$ по формуле $\mu_k(\omega_j) = \frac{G_k(\omega_j) - G_k(\omega_{k1})}{G_k(\omega_{k0}) - G_k(\omega_{k1})}$.

Таблица П.4

Определение степени принадлежности $\mu_k(\omega_j)$ к нечётким множествам G_k

j	Степень принадлежности $\mu_k(\omega_j)$ нечётким множествам G_k											
1	0,226	0	0	0,287	0,677	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,5
2	1	0	0	1	1	0,667	1	1	1	1	0,667	1
3	0,056	0,889	1	0,022	0	1	0,333	0	0,167	0,333	0,333	1
4	0,002	0	0	0,020	0,137	0	0	0	0	0	0	0
5	0,005	0,245	0,125	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0,010	0,080	0	0	0	0	0	0	0
7	0,057	1	0,433	0,037	0	1	0,333	0,667	0,5	1	1	1
8	0,005	0	0	0,006	0,023	0	0	0	0	0	0	0
9	0,032	0,931	0,583	0,012	0	0,333	0,333	0,333	0,333	0	0	0
10	0,030	0	0	0,043	0,134	0,333	0	0	0	0	0	0

Следующим шагом является нахождение отображения h из $[0,1]^{12}$ в $[0,1]$. Это достигается путём свёртывания критериев посредством их взвешивания по формулам (43, 44). Результаты отображения приведены в таблице П.5. Для каждой станции $\omega_j \in \Omega$ определяется $\mu_D(\omega_j)$, $\mu_D^*(\omega_j)$ и ранг приоритета при распределении погрузочных ресурсов r .

Таблица П.5

Отображения h из $[0,1]^{12}$ в $[0,1]$

j	$p_k * \mu_k(\omega_j)$												$\mu_D(\omega_j)$	$\mu_D^*(\omega_j)$	r
1	0,01	0	0	0	0,04	0,05	0,05	0,10	0,11	0,08	0,08	0,06	0,58	0,21	3
2	0,06	0	0	0,01	0,06	0,05	0,08	0,15	0,16	0,12	0,08	0,12	0,87	0,31	1
3	0	0,04	0,02	0	0	0,07	0,03	0	0,03	0,04	0,04	0,12	0,38	0,14	4
4	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,00	7
5	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,00	7
6	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,00	7
7	0	0,04	0,01	0	0	0,07	0,03	0,10	0,08	0,12	0,12	0,12	0,68	0,25	2
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	10
9	0	0,04	0,01	0	0	0,02	0,03	0,05	0,05	0	0	0	0,20	0,07	5
10	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	0,03	0,01	6

Из последнего столбца таблицы П.5 видно ранги предпочтений r при распределении дополнительных объёмов погрузочных ресурсов. Причём видно, что практически сумма оценок $\mu_D^*(\omega_j)$ трёх отправителей с наивысшим рангом составляет множество Парето ($0,31+0,25+0,21=0,77$). Т.е. для распределения избыточных вагонов достаточно провести переговоры всего с тремя грузоотправителями, что существенно облегчает работу диспетчерского аппарата станции.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Внедрение результатов диссертационной работы

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИДСТУ СО РАН)**



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИДСТУ СО РАН
академик

И.В. Бычков

«___» 20__ г.

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования

Комиссия в составе:

председатель – академик И.В. Бычков

члены комиссии – А.Л. Казаков, А.А. Лемперт

составила настоящий акт о том, что разработанная в диссертации, представленной на соискание учёной степени доктора технических наук,

«Методология усиления провозной способности железных дорог России в условиях
реформы отрасли»,
(название диссертации)

соискателя Железнова Дмитрия Валериановича,

Математическая модель расчёта нагрузки на элементы сети при прогнозировании
стационарных транспортных потоков
(название модели)

использована при разработке транспортной модели Иркутской области при выполнении работ по контракту с ИДСТУ СО РАН № 2/13-ОК/12 от 17.10.2012 г. на выполнение научно-исследовательской работы в рамках государственного контракта № 13-ОК/12 от 10.09.2012 г.

Использование указанных результатов повышает достоверность прогноза грузопотоков на длительных временных интервалах, что позволит существенно повысить качество принятия стратегических решений при развитии транспортного обеспечения экономики и населения Иркутской области.

Директор ИДСТУ СО РАН
академик

И.В. Бычков

главный научный сотрудник
д.ф.-м.н.

А.Л. Казаков

и.о. зав. лабораторией
системного анализа и вычислительных методов
к.ф.-м.н.

А.А. Лемперт

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Министра транспорта
Российской Федерации

А.С. Цыденов

29 августа 2013 г.

АКТ

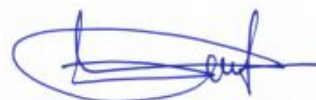
внедрения результатов диссертационного исследования

Настоящий акт составлен о том, что выработанные в диссертации, представленной на соискание учёной степени доктора технических наук, на тему «Методология усиления провозной способности железных дорог России в условиях реформы отрасли», соискателя **Железнова Дмитрия Валериановича**, научные подходы к оптимизации деятельности железнодорожных пунктов пропуска в области международных перевозок грузов железнодорожным транспортом апробированы по результатам длительных исследований в профильной предметной области.

Материалы диссертационного исследования послужили основой для разработок Минтранса России в сфере оптимизации деятельности железнодорожных пунктов пропуска. Рекомендовано дальнейшее научное развитие изложенных в исследовании концептуальных положений в интересах транспортного комплекса Российской Федерации с целью практического применения результатов и повышения эффективности транспортной системы России.

Материалы диссертационного исследования послужили основой для разработок Минтранса России в сфере оптимизации деятельности железнодорожных пунктов пропуска. Рекомендовано дальнейшее научное развитие изложенных в исследовании концептуальных положений в интересах транспортного комплекса Российской Федерации с целью практического применения результатов и повышения эффективности транспортной системы России.

Заместитель директора
Департамента программ развития
Министерства транспорта
Российской Федерации



Ю.В. Спасский

29.08.2013г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Magnanti, T.L. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms [Text] / T.L. Magnanti, R.T. Wong // Transportation Science. – 1984. – V. 18. – № 1, P. 3-55.*
2. Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф, пер. с нем. В.И. Шейко (часть первая) и В.Н. Воскресенского (часть вторая); под ред. И.Г. Тихомирова. – М: Транспорт. – 1975. – 344 с.
3. Сидоров, И.И. Логистическая модель процессов производства материальных благ и их распределения – основа новой экономической теории и теории управления [Текст] / И.И. Сидоров // Экономическое возрождение России. – 2006. – №1 (7). – С. 35-41
4. Батурин, А. П. Теория выбора оптимального развития технического оснащения сети железных дорог [Текст]: диссертация доктора техн. наук / А.П. Батурин; М: МИИТ. – 2000. – 336 с.
5. Федеральная целевая программа "Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)" (в ред. Постановлений Правительства РФ от 20.05.2008 № 377, от 22.04.2010 N 278, от 12.10.2010 N 828, от 21.12.2010 № 1076, с изм., внесенными Постановлениями Правительства РФ от 21.12.2009 № 1035, от 22.12.2010 № 1088) [Текст] / Утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 декабря 2007 г. № 848.
6. Лившиц, В.Н. Системный анализ экономических процессов на транспорте [Текст] / В.Н. Лившиц. – М: Транспорт. – 1986. – 240 с.
7. Бурков, В.Н. Основы математической теории активных систем [Текст] / В.Н. Бурков. – М: Наука. – 1977. – 255 с.
8. Оптимизация планирования и управления транспортными системами [Текст] / Е.М. Васильева, Р.В. Игудин, В.Н. Лившиц [и др.]; под ред. В.Н. Лившица. – М: Транспорт. – 1987. – 208 с.
9. Позамантир, Э.И. Учёт неравномерности перевозок грузов при планировании транспорта [Текст] / Э.И. Позамантир. – М: Транспорт, 1974. – 166 с.
10. Загордан, М.И. Пассажирские перевозки [Текст] / М.И. Загордан, Ф.П. Кравец // Часть. 1. – М: Транспечать, 1931. – 258 с.
11. Заблоцкий, Г.А. Методы расчёта потоков пассажиров и транспорта в городах [Текст] / Г.А. Заблоцкий. – М: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1968. – 92 с.

12. Персианов, В.А. Систематические расчёты транспортных сооружений на ЭВМ методом моделирования (ротапринт) [Текст] / В.А. Персианов, Н.С. Усков. // Труды СоюзДОРНИИ. Вып. 36. – Балашиха: Издательство ДорНИИпроекта, 1968. – 97 с.
13. Беленький, М.Н. Экономика пассажирских перевозок [Текст] / М.Н. Беленький. – М: Транспорт, 1974. – 272 с.
14. Дармоян, П.А. Методы прогнозирования пассажирских перевозок [Текст] / П.А. Дармоян, Н.Г. Кучевский. – Минск: Наука и техника, 1975. – 88 с.
15. Оперативное планирование эксплуатационной работы (первая очередь АСУЖТ) [Текст] / Под ред. Л.П. Тулупова. // Труды ВНИИЖТа, вып. 571. – М: Транспорт, 1977. – 207 с.
16. Жабров, С.С. Системный подход к решению задачи оперативного планирования пассажирских перевозок [Текст] / С.С. Жабров. – Сб. научн. трудов, вып. 716: Совершенствование управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте: М: – МИИТ. – 1982. – С. 49-54.
17. Правдин, Н.В. Прогнозирование пассажирских потоков. (Методика, расчёты, примеры) [Текст] / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей. – М.: Транспорт, 1980. – 22 с.
18. Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков [Текст] / Н.В. Правдин, М.Л. Дыканюк, В.Я. Негрей. – М.: Транспорт, 1987. – 247 с.
19. Замковой, А.А. О проблеме стратегического планирования на железнодорожном транспорте [Текст] / А.А. Замковой, М.М. Строков // Бюллетень транспортной информации. – №1(211). – 2013. – С. 30-32.
20. Пехтерев, Ф.С. Об «узких местах» пропускной способности и развитии железнодорожной инфраструктуры [Электронный ресурс] / Ф.С. Пехтерев // Режим доступа: <http://expert.ru/expert/2012/25/dajte-dorogu-ekonomike/>.
21. Пехтерев, Ф.С. Прогнозирование объёмов грузовых перевозок на среднесрочную и долгосрочную перспективу [Текст] / Ф.С. Пехтерев // Бюллетень объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 3. – С. 26-31.
22. Крюков, А.В. Прогнозирование электропотребления с применением аппарата нейронных сетей [Текст] / А.В. Крюков, Н.В. Раевский, Д.А. Яковлев // Материалы международной конференции 29-31 марта 2004 года, Иркутск. – Иркутск: Иркутский государственный университет транспорта – *Technological educational institution of Athens*, 2004. – С. 240-247.

-
23. Яковлев, Д.А. Прогнозирование процессов электропотребления на железнодорожном транспорте [Текст]: дис. канд. техн. наук / Д. А. Яковлев; ИрГУПС. – Иркутск, 2006. – 135 с.
24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011612366. Расчет прогноза электропотребления на тягу поездов / Н.В. Раевский, Н.В. Лашук, В.Г. Литвинцев. // Заявлено 02.02.2011. Зарегистрировано 22.03.2011.
25. Барский, А.Б. Нейросетевые технологии на транспорте [Текст] / А.Б. Барский // Мир транспорта. – №2. – 2011. – С. 4-11.
26. Барский, А.Б. Нейросетевые технологии на транспорте [Текст] / А.Б. Барский // Мир транспорта. – №3. – 2011. – С. 14-19.
27. Кузнецов, А.П. Методологические основы управления грузовыми перевозками транспортной системы [Текст]: диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук / А.П. Кузнецов; Рос. акад. гос. службы при Президенте РФ. – Санкт-Петербург: РАГС, 2001. – 358 с.
28. Горелова, В.Л. Основы прогнозирования систем [Текст]: Учеб. пособие для студ. инж.-экон. спец. Вузов / В.Л. Горелова, Е.Н. Мельникова. – М: Высшая школа, 1986. – 287 с.
29. Аналитические технологии для прогнозирования и анализа данных. Методы прогнозирования [Электронный ресурс]: Учебник // Режим доступа: http://neuroproject.ru/forecasting_tutorial.php
30. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] / С. Хайкин; Пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М: 000 "И.Д. Вильямс". – 2006. – 1104 с. – ISBN 5-8459-0890-6 (рус.).
31. Ежов, А.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе [Электронный ресурс] / А.А. Ежов, С.А. Шумский. – Электрон. текстовые дан. – М: [б. и.], 1998. – 1 эл. жёстк. диск: цв.: граф., схемы, табл. – Библиогр. в конце глав.
32. Хакен, Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам [Текст] / Г. Хакен; пер. с англ. под ред. Ю.А. Данилова. – М: Мир. – 1991. – 240 с., ил. ISBN 5-03-001913-8.
33. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование [Текст] / Дж. Мартино; пер. с англ. под ред. В.И. Максименко. – М: Прогресс. – 1977. – 591 с.
34. Мокршицкий, Е.И. История вагонного парка железных дорог СССР [Текст] / Е.И. Мокршицкий. – М: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1946. – 203 с.

-
35. Повороженко, В.В. Оборот вагонов и пути его ускорения: к изучению дисциплины [Текст] / В.В. Повороженко. – М: Трансжелдориздат, 1950. – 107 с.
36. Повороженко, В.В. Ускорение оборота вагонов [Текст] / В.В. Повороженко. – М: Трансжелдориздат, 1955. – 246 с.
37. Повороженко, В.В. Повышение производительности грузового вагона [Текст]: учебное пособие / В.В. Повороженко. – М: Транспорт, 1965. – 195 с.
38. Повороженко, В.В. Повышение производительности грузового вагона [Текст] / В. В. Повороженко, И. А. Орлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1979. – 215 с.
39. Технический справочник железнодорожника. Том 13. Эксплуатация железных дорог [Текст] / Ответственный редактор тома Р.И. Робель. – М: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1956. – 740 с.
40. Интенсификация использования подвижного состава и перевозочной мощности железных дорог [Текст] / И.Г. Тихомиров [и др.]; под ред. И.Г. Тихомирова. – М: Транспорт, 1968. – 264 с.
41. Шмулевич, М.И. АСУ промышленного транспорта [Текст] / М.И. Шмулевич. – М: Транспорт, 1976. – 265 с.
42. Дадочкин, Г.В. Эффективность эксплуатационной работы [Текст] / Г.В. Дадочкин, О.Н. Серебряков, Х.М. Лазарев. – М: Транспорт, 1981. – 128 с.
43. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте [Текст] / А.К. Угрюмов [и др.]. – М: Транспорт, 1983. – 239 с.
44. Регулирование грузовых перевозок на железных дорогах [Текст] / В.И. Балч [и др.]; под ред. В.А. Кудрявцева – М: Транспорт, 1984. – 248 с.
45. Грунтов, П.С. Эксплуатационная надёжность станций [Текст] / П.С. Грунтов. – М: Транспорт, 1986. – 247 с.
46. Ветухов, Е.А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов [Текст] / Е.А. Ветухов, М.А. Аветикян. – М: Транспорт, 1986. – 206 с.
47. Васильев, В.И. Алгоритм динамического управления маршрутами в задаче регулирования вагонных парков [Текст] / В.И. Васильев // Вестник ВНИИЖТ. – 1987. – № 8. – С. 8-11.
48. Тулупов, Л.П. Автоматизированные системы управления перевозочными процессами на железных дорогах [Текст] / Л.П. Тулупов, Е.М. Жуковский, А.М. Гусятинер. – М: Транспорт. – 1991. – 208 с.

-
49. Левшин, И.К. Прогрессивная технология на железных дорогах [Текст] / И.К. Левшин, И.Н. Шапкин, А.И. Щелоков. – М: Транспорт, 1993. – 190 с. – ISBN 5-277-01504-3.
50. 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.
51. Буянова, В. К. Система организации вагонопотоков [Текст] / В.К. Буянова, А.И. Сметанин, Е.В. Архангельский – М: Транспорт. – 1988. –223 с.
52. Тулупов, Л.П. Регулирование парка порожних вагонов с учетом их годности под погрузку [Текст] / Л.П. Тулупов, П.В. Митасов, Л.Д. Пеккер // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. –№8. – С. 5-7.
53. Шапкин, И.Н. Разработка системы оперативного распределения порожних вагонов с учётом их типов и пригодности под погрузку [Текст] / И.Н.Шапкин, П.В. Митасов // Труды МИИТа. Вып. 770. – 1985. – С. 40-43.
54. Тулупов, Л.П. Нормативы для суточного планирования погрузки по критерию затрат на подготовку вагонов [Текст] / Л.П. Тулупов, М.Е. Смирнова // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. –№6. – С. 1-6.
55. Тулупов, Л.П. Оперативное распределение порожних вагонов под погрузку [Текст] / Л.П. Тулупов, А.М Гусятинер, И.Н. Шапкин // Вестник ВНИИЖТ. – 1987. –№4. – С. 8-12.
56. Дыканюк, М.Л. Автоматизация расчёта месячного плана передачи порожних вагонов по междорожным стыковым пунктам на сетевом уровне управления [Текст] / М.Л. Дыканюк, С.С. Лахтуров // Вестник ВНИИЖТ. – 1986. – №7. – С. 4-7.
57. Дыканюк, М.Л. Оперативное регулирование парка порожних вагонов [Текст] / М.Л. Дыканюк, С.С. Лахтуров, Т.И. Рыбакова. // Вестник ВНИИЖТ. – 1988. – №4. – С. 4-7.
58. Дыканюк, М.Л. Принципы построения математической модели эксплуатационной работы железных дорог. Расчет потоков порожних вагонов и требуемых парков [Текст] / М.Л. Дыканюк, С.С. Лахтуров, Р.К. Хаснутдинов // Вестник ВНИИЖТ. – 1990. – №2. – С. 5-7.
59. Ивницкий, В.А. Автоматизация планирования резерва вагонов в местах погрузки [Текст] / В.А. Ивницкий, А.С. Гершвальд, Л.А. Канарская, Н.Б. Соколов // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – №2. – С. 3-8.
60. Ивницкий, В.А. Динамическая оптимизация обеспечения намечаемой погрузки грузочными ресурсами [Текст] / В.А. Ивницкий, В.А. Буянов, Н.Б. Соколов // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – №5. – С. 28-31.

-
61. Ивницкий, В.А. Динамическое прикреплeние порожних цистерн к станциям налива с учётом их загрузки [Текст] / В.А. Ивницкий // Сборник докладов первой межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникационные технологии на транспорте России». – Сочи: 2003. – С. 225-230.
62. Большая энциклопедия транспорта: В 8 т. Т. 4. Железнодорожный транспорт. [Текст] / Главный редактор Н.С. Конарев. – М: Большая Российская энциклопедия, 2003. – 1039 с.: ил. – ISBN 5-85270-231-5.
63. Тишкин, Е.М. Автоматизация управления вагонным парком [Текст] /: тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. / Е. М. Тишкин ; МПС РФ. – М: Интекст, 2000. – 223 с. – ISBN 5-89277-025-7.
64. Рыбакова, Т.И. Автоматизированная система регулирования порожних вагонов на сетевом и дорожном уровнях [Текст] / Т.И. Рыбакова, А.С. Крутов // Сборник докладов первой межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникационные технологии на транспорте России». – Сочи: 2003. – С. 322-328.
65. Гершвальд, А.С. Централизованное распределение вагонов в оперативном режиме [Текст] / А.С. Гершвальд // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №3. – С. 45-48.
66. Гершвальд, А. С. Распределение порожних вагонов между станциями отстоя [Текст] / А.С. Гершвальд, Л.В. Куныгина // Наука и техника транспорта. – М:РГОТУПС, 2011, № 2. – С. 41-46.
67. Гершвальд, А. С. Оптимизация прикреплeния вагонов к заявкам на погрузку [Текст] / А. С. Гершвальд, П.А. Остряков // Наука и техника транспорта. – М:РГОТУПС, 2011, № 4. – С.73-75
68. Елисеев, С.Ю. Регулирование парка порожних вагонов стран СНГ и Балтии [Текст] / С.Ю. Елисеев, Н.В. Сугробов, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление/ВИНИТИ. – 2004. – № 11. – С. 16-18.
69. Елисеев, С.Ю. Эффективное использование парка порожних вагонов стран СНГ и Балтии на российских железных дорогах [Текст] / С.Ю. Елисеев, Н.В. Сугробов, П.В. Куренков // Экономика железных дорог. – 2004. – № 12. – С. 44-48.
70. Елисеев, С.Ю. Управление грузопотоками на основе информационно-управляющих и аналитических технологий: концептуальные принципы построения логистической системы [Текст] / С.Ю. Елисеев // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 3. – С. . 37-40

-
71. 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
72. Шмудевич, М.И. Взаимодействие транспортников и грузовладельцев в логистических системах [Текст] / М.И. Шмудевич, С.Ю. Елисеев // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 8. – С. 57-63
73. Кузнецов, А.В. Управление качеством грузовых перевозок на российских железных дорогах средствами АСУ "Диспарк" [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук / А.В. Кузнецов. – СПб., 2003. – 21 с.
74. Мельников, А.А. Совершенствование экономических методов управления качеством грузовых перевозок [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. экон. наук / А.А. Мельников. – М., 2003. – 24 с.
75. Анненков, А.В. Методология организации перевозочного процесса транспортными компаниями в конкурентной среде [Текст]: диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук / А.В. Анненков; Рос. гос. откр. техн. ун-т путей сообщения. – М: РГОТУПС, 2003. – 367 с.
76. Бельницкий, Д.С. Экономическая оценка организации управления вагонными парками компаний-операторов [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. экон. наук / Д.С. Бельницкий. – М., 2006. – 24 с.
77. Вовк, Ю.А. Экономическая оценка эффективности использования грузовых вагонов транспортной компании [Текст]: автореф. дис. канд. экон. наук / Ю.А. Вовк; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2005. – 24 с.
78. Иванчин, С.Ю. Совершенствование организации порожних вагонопотоков собственных и арендованных цистерн (на примере Куйбышевской железной дороги) [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук / С.Ю. Иванчин; Самарская гос. академия путей сообщения. – Самара : СГАПС, 2004. – 202 с.
79. Филатов, С.А. Экономическое обоснование системы взаимодействия российских железных дорог с компаниями-собственниками подвижного состава с использованием информационных технологий [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. экон. наук / С.А.Филатов. – М., 2004. – 24 с.
80. Брегадзе, И.В. Обоснование системы экономических взаимоотношений между железными дорогами – филиалами ОАО "Российские железные дороги" и владельцами собст-

венных грузовых вагонов [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. экон. наук / И.В. Брегадзе. – М., 2005. – 24 с.

81. Карасев, А.А. Экономическое обоснование системы расчетов за пользования грузовыми вагонами в международном сообщении [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. экон. наук / А.А. Карасев. – М., 2010. – 24 с.

82. Хусаинов, Ф.И. Развитие системы операторских компаний в условиях демонополизации железнодорожного транспорта [Текст]: автореф. дис. канд. экон. наук / Ф.И. Хусаинов; Сам. гос. акад. путей сообщ. – М., 2004. – 28 с.

83. Хусаинов, Ф.И. Экономические проблемы управления вагонными парками [Текст] / Ф.И. Хусаинов // Экономика железных дорог. – 2010. – № 11. – С.63-77.

84. Шитов, А.В. Перспективное планирование потребности в парке грузовых вагонов железнодорожной компании [Текст]: автореф. дис. канд. экон. наук / А.В. Шитов; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – М., 2006. – 24 с.

85. Эрлих, А.В. Оптимизация величины и структуры вагонного парка транспортной компании [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.В. Эрлих; Рос. гос. откр. техн. ун-т путей сообщения. – М.: РГОТУПС, 2006. – 159 с.

86. Кудрявцев, В.А. Управление движением на железнодорожном транспорте [Текст]: учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. / В.А. Кудрявцев. – М: Маршрут. – 2003. – 200 с. – ISBN 5-89035-116-8

87. Казовский, И.Г. Комплексное регулирование вагонных парков [Текст] / И.Г. Казовский, В.Н. Осватинский. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 183 с.

88. Фёдоров, Л.С. Общий курс транспортной логистики [Текст]: учебное пособие / Л.С. Фёдоров, В.А. Персианов, И.Б. Мухаметдинов; под ред. Л.С. Фёдорова – М: КНОРУС. – 2011. – 312 с. – ISBN 978-5-406-01117-1

89. Трансъевропейские грузовые магистрали [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://members.fortunecity.com/railways/04-1999/9037.htm>

90. Опыт работы компаний – собственников подвижного состава [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://kommersanty.ru/article/view/51>

91. Экономика и логистика управления вагонными парками компаний-операторов [Текст]: монография / Д.С. Бельницкий [и др.]. – Самара: СамГУПС, 2009. – 168 с. – ISBN 978-5-98941-097-2

-
92. Опыт иностранных компаний – владельцев подвижного состава [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://gruztraf.ru/gruzoperevozki55.php>
93. "Укрзализныця" хочет решать проблемы за счет частных операторов [Текст] // Железнодорожные перевозки. – 2010. – № 9(63). – С. 38-39.
94. Железнодорожный транспорт за рубежом [Текст] // Экспресс-информация. Вып. 2. – М: ЦНИИТЭИ МПС, 1999. – 34 с.
95. Железнодорожный транспорт за рубежом [Текст] // Экспресс-информация. Вып. 1. – М: ЦНИИТЭИ МПС, 1999. – 32 с.
96. Белов, И.В. Математические методы в планировании на железнодорожном транспорте. [Текст] / И.В. Белов, А.Б. Каплан – М: Транспорт. – 1972. – 247 с.
97. Оптимизация процессов грузовой работы [Текст] / А.А. Смехов и [др.]; под ред. А.А. Смехова. – М: Транспорт. – 1973. – 264 с.
98. Анализ грузопотоков и структуры вагонного парка, используемого для погрузки грузов (на примере Юго-Восточной железной дороги) [Текст]: Отчёт о НИР. № г.р. 01860101892 / Рук. темы А.А. Смехов. – М: – МИИТ. – 1986. – 79 с.
99. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте [Текст]: учебник для вузов / А.А. Смехов и [др.]; под ред. А.А. Смехова. – М: Транспорт. – 1990. – 351 с.
100. Винокурова, Т.А. Оперативное управление контейнерными перевозками на дороге (на примере регулирования парка порожних контейнеров) [Текст]: диссертация кандидата техн. наук / Т.А. Винокурова. – М: МИИТ. – 1988. – 233 с.
101. Бородин, А.Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учётом увеличения доли частных вагонов [Текст] / А.Ф. Бородин, Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 8-19.
102. Бородин, А.Ф. Ёмкость железных дорог и управление вагонными парками [Текст] / А.Ф. Бородин // РЖД-партнёр. – 2011. – № 5. – С. 32-34.
103. Бородин, А.Ф. О разработке алгоритма планирования перевозок в условиях обеспечения работоспособности инфраструктуры [Текст] / А.Ф. Бородин // Бюллетень объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 3. – С. 12-22.
104. Числов, О.Н. Проблемы развития станций, морских портов и подходов к ним в Азово-Черноморском бассейне [Текст] / О.Н. Числов, В.Л. Люц // Вестник РГУПС. – 2008. – № 1. – С. 101-108.

-
105. Виноградов, С.А. Предложения по разработке и автоматизации технологии оценки влияния параметров перевозочного процесса на пропускные способности участков железных дорог [Текст] / С.А. Виноградов // Бюллетень объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 3. – С. 22-26.
106. Пехтерев, Ф.С. Стратегическое партнёрство России и стран Центральной Азии на «Пространстве 1520» [Текст] / Ф.С. Пехтерев // Экономика железных дорог. – 2009. – № 9. – С. 21-30.
107. Альбрехт В.Г. Методика выбора оптимального «окна» и сравнение вариантов организации работ при реконструкции и капитальном ремонте пути [Текст]: рукопись / В.Г. Альбрехт. – М: МИИТ. – 1955. – 145 с.
108. Дьяков, Ю.В. Повышение уровня использования и комплексное развитие пропускной способности железнодорожных направлений [Текст]: диссертация доктора техн. наук / Ю.В. Дьяков; МИИТ. – М: 1984. – 475 с.
109. Мельник, А.П. Организация движения поездов на двухпутных линиях в период выполнения путевых работ [Текст]: диссертация кандидата техн. наук / А.П. Мельник; ЦНТМПС. – М: 1956. – 215 с.
110. Климов, М.Ф. Исследование методов организации движения поездов при производстве капитальных путевых работ на двухпутных линиях [Текст]: диссертация кандидата техн. наук / М.Ф. Климов; М: 1962. – 151 с.
111. Чудов, А.С. Себестоимость железнодорожных перевозок [Текст]: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / А.С. Чудов, А.М. Шульга, Н.Г. Смехова // Под ред. А.С. Чудова. – М: Транспорт. – 1976. – 296 с.
112. Богачёв, А.И. Исследование «окон» в графике движения поездов и их использование при производстве путевых работ [Текст]: диссертация кандидата техн. наук / А.И. Богачёв; М: 1945. – 180 с.
113. Быкадоров С.А. Экономическая оценка организации путевых ремонтных работ на железнодорожном транспорте [Текст]: монография / С.А. Быкадоров, П.В. Куренков, О.В. Иванчина. – Самара: СамГУПС, 2007. – 135 с. – ISBN 978-5-98941-053-8.
114. Яхимович В.В., Никулин Н.А., Дмитренко А.В. Эффективность «окон» большой продолжительности // Железнодорожный транспорт. - 2000.- №3.- С. 22 – 24.
115. Мельник, А.П. Вопросы усиления пропускной способности и совершенствование графика движения поездов [Текст] / А.П. Мельник // М: МЖДИ. – 1957. – С. 27-34.

-
116. Козлов, В.Е. Эффективность диспетчерской централизации на однопутных и двухпутных линиях [Текст] / В.Е. Козлов // Труды ЦНИИМПС. – М: ЦНИИМПС. – 1959. – С. 151-167.
117. Богачёв, А.И. Организация движения в условиях выполнения путевых работ [Текст] / А.И. Богачёв. – М: Транспорт. – 1955. – 240 с.
118. Богачёв, А.И. Увеличение пропускной способности двухпутных участков и станций при ремонте и реконструкции [Текст] / А.И. Богачёв. // Труды РИИЖТа. – Вып. 30. – Ростов-на-Дону: РИИЖТ. – 1961. – С. 144-172.
119. Богачёв, А.И. Экономически выгодная продолжительность «окна» на двухпутных участках при выполнении капитального ремонта пути [Текст] / А.И. Богачёв. // Труды РИИЖТа. – Вып. 42. – Ростов-на-Дону: РИИЖТ. – 1964. – С. 24–47.
120. Богачёв, А.И. Расчёт оптимальной продолжительности «окон» в графике движения поездов на двухпутных участках с помощью ЭВМ [Текст] / А.И. Богачёв. // Труды РИИЖТа. – Ростов-на-Дону: РИИЖТ. – 1977. – С. 22-34.
121. Макаровичин, А.М. Оптимизация развития пропускной способности железнодорожных линий и полигонов [Текст]: диссертация доктора техн. наук / А.М. Макаровичин; МИИТ. – М: 1970. – 340 с.
122. Кострома, Т.В. Исследование принципов построения и эффективности системы интервального регулирования, предназначенных для применения в период ремонтно-восстановительных работ на железнодорожном транспорте [Текст]: дисс. канд. техн. наук / Т.В. Кострома; – М: 1980. – 199 с.
123. Бураков, В.А. Увеличение пропускной способности железнодорожных линий при существующей длине приёмоправочных путей [Текст] / В.А. Бураков // Труды ИКТП. – М: ИКТП. – 1970. – С. 214-229.
124. Хофманн, В. Выбор способов организации движения при реконструкции железных дорог [Текст]: автореферат дисс. канд. техн. наук / В. Хофманн. – М: 1983. – 23 с.
125. Дьяков, Ю.В. Этапное развитие линий и станций [Текст] / Ю.В. Дьяков // Труды МИИТа. – М: МИИТ. – 1982. – С. 3-20.
126. Макаровичин, А.М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог [Текст] / Макаровичин А.М., Дьяков Ю.В. – М : Транспорт, 1981. – 287 с.

-
127. Антонов, Ю.А. Пути сокращения эксплуатационных потерь при предоставлении «окон» на грузонапряжённых линиях [Текст] / Ю.А. Антонов, Д.А. Печугин // Труды НИИЖТа. Вып.48. – Новосибирск: НИИЖТ. – 1965. – С. 13-27.
128. Вуйтович, М. Комплексный выбор технико-технологических параметров и способов пропуска поездов при выделении «окон» в графике движения [Текст]: дис. канд. техн. наук / М. Вуйтович. – М: 1986. – 257 с.
129. Яхимович, В.В. Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог путем оптимизации технологии капитального ремонта пути на полигоне Восточно-Сибирского региона [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук / В.В. Яхимович. – 2004. – 24 с.
130. Корженевская, Е.Ю. Расчёт продолжительности восстановления нормального ритма движения после «окна» на линиях с двухпутными вставками [Текст] / Е.Ю. Корженевская // Сборник научных трудов. Вып. 848. – М: МИИТ. – 1992. – С. 21-24.
131. 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.
132. 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.
133. Краснов, О.Г. Повышение эффективности глубокой очистки балласта железнодорожного пути совершенствованием щебнеочистительных устройств [Текст]: дисс. канд. техн. наук / О.Г. Краснов; ПГУПС. – Санкт-Петербург: 2002. – 160 с.
134. Болобонкин, В.С. Производственники одобряют [Текст] / В.С. Болобонкин // Путь и путевое хозяйство. – №2. – 2004. – С. 31-32.
135. Новая технология капитального ремонта пути [Текст] // Путь и путевое хозяйство. – №12. – 2000. – С. 25-26.
136. Железнов, Д.В. Повышение производительности путевых машин в «окно» для капитального ремонта пути с использованием сетевого планирования [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова // Сборник научных трудов «Проблемы модернизации инфраструктуры Транссибирской магистрали». – Чита: ЗаБИЖТ. – 2005. – С. 74-89.

-
137. Лемешко, В.Г. Инновационные технологии на железнодорожном транспорте (теория, практика, перспективы) [Текст] / В.Г. Лемешко, И.Н. Шапкин. – М: ВИНТИ РАН. – 2012. – 446 с. – ISBN 978-5-902928-39-3.
138. *Matoba, K.* [Текст] / *K. Matoba // Railway Track & Structures.* – 2001. – №2. – Р. 26-28.
139. *Bull, P.* [Текст] / *P. Bull // The Permanent Way Institution.* – 1999. – №3. – Р. 284-289.
140. *Judge, T.* [Текст] / *T. Judge // Railway Age.* – 2000. – №2. – Р. 46-49.
141. Светлакова, Е.Н. Интенсификация пропуска поездов в период производства капитального ремонта пути [Текст]: дисс. канд. техн. наук / Е.Н. Светлакова; ИрГУПС. – Иркутск: 2005. – 130 с.
142. Толмачёв, В.Н. Анализ вариантов схем участков ремонтно-путевых работ [Текст] / В.Н. Толмачёв // Транспорт, наука, техника, управление. – №5. – 2003. – С. 36.
143. Сетевые спутниковые радионавигационные системы [Текст] / В.С. Шебшаевич [и др.]; под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь. – 1993. – 408 с.
144. Железнов, М.М. Спутниковая навигация транспортных средств с использованием цифровых моделей железной дороги [Текст]: дисс. канд. техн. наук / М.М. Железнов; – М., 2002. – 152 с.
145. Васекин, А.И. Техничко-экономическое обоснование создания системы управления перевозками с применением спутниковых технологий (на примере Красноярской железной дороги) [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук / А.И. Васекин. – Новосибирск, 2000. – 19 с.
146. Левин, Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом [Текст]: учеб. пособие / Д.Ю. Левин. – М. : Маршрут, 2005. – 759 с. : табл. – Библиогр.: с. 753-754 (36 назв.). – ISBN 5-89035-274-1.
147. Левин, Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст]: монография / Д.Ю. Левин. – М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2008. – 624 с. : ил. – Библиогр.: с. 618-621 (65 назв.). – ISBN 978-5-89035-547-8.
148. Шапкин, И.Н. Организация железнодорожных перевозок на основе информационных технологий [Текст]: дисс. доктора техн. наук / И.Н. Шапкин; МИИТ. – М., 2009. – 329 с.
149. Гурин, С.Е. Навигация на службе управления перевозочным процессом [Текст] / С.Е. Гурин // РЖД-партнер. – 2010. – № 21 (193). – С. 76-77.

-
150. Для мониторинга железнодорожных вагонов на территории Индии планируется запустить автоматизированную систему радиоиентификации – *RFID* [Текст] // Железнодорожные перевозки. – 2010. – № 10(64). – С. 44-45.
151. Клиланд, Д. Системный анализ и целевое управление [Текст] / Д. Клиланд, В. Кинг; пер. с англ. – М: Советское радио. – 1974. – 280 с.
152. Ван Гиг, Дж. Прикладная общая теория систем [Текст]: Кн. 1 и 2 / Дж. ван Гиг; пер. с англ. под ред. Б.Г. Сушкова, В.С. Тюхтина. – М: Мир. – 1981. – 773 с.
153. Мамаев, Э.А. Управление региональными транспортными системами в условиях изменений: проблемы и модели [Текст] / Э.А. Мамаев. – Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2005. – 195 с.
154. Шапкин, И.Н. Эксплуатация железных дорог на рубеже веков: (оптимизация, развитие, перспективы) [Текст] / И.Н. Шапкин, И.М. Яриков, Е.М. Кожанов. – М: ВИНТИ РАН, – 2011. – 296 с. – ISBN 978-5-902928-36-2.
155. Ожегов, С.И. Толковый словарь русского языка [Электронный ресурс] / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова // Режим доступа: <http://www.ozhegov.org/words/29145.shtml>
156. Мамаев, Э.А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции [Текст]: дисс. доктора техн. наук / Э.А. Мамаев; МИИТ. – М., 2006. 348 с.
157. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: Учебник для вузов / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макаровичкин [и др.]; под ред. П.С. Грунтова. – М: Транспорт. – 1994. – 543 с.
158. Хусаинов, Ф.И. О некоторых методологических проблемах оценки работы железнодорожного транспорта [Текст] / Ф.И. Хусаинов // Бюллетень транспортной информации. – 2013. – № 3 (213). – С. 22-31.
159. Позамантир, Э.И. Об одной динамической модели оптимального развития транспортной сети [Текст] / Э.И. Позамантир // Труды ИКТП при Госплане СССР. — Вып. 46. – М: ИКТП. — 1974. — С. 161-183
160. Железнов, Д.В. Модель расчёта нагрузки на элементы сети при прогнозировании стационарных транспортных потоков [Текст] / Д.В. Железнов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – №4(36). – С. 240-245.
161. Основы теории оптимального управления [Текст]: Учебное пособие для экономических вузов / В.Ф. Кротов, Б.А. Лагоша, С.М. Лобанов [и др.]; под ред. В.Ф. Кротова. – М: Высшая школа. – 1990. – 430 с.

162. Оптимизация эксплуатационной работы железных дорог разной ширины колеи и подходов к ним [Текст]: Отчёт о НИР / Рук. темы Д.В. Железнов. – Программа ИрГУПС «Фундаментальные и поисковые научно-исследовательские работы на 2004 год» (19.10.00 ЦТех). Отчёт по разделу 7 «Оптимизация эксплуатационной работы железных дорог разной ширины колеи в условиях Забайкальской и Дальневосточной железных дорог». Часть 1. – Иркутск: ИрГУПС. – 2004. – 101 с.
163. Железнов, Д.В. Создание логистического центра по переработке скоропортящихся грузов на станции Забайкальск [Текст] / Д.В. Железнов, Е.Н. Светлакова, М.А. Долгополова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2006. – №4. – С. 204-207.
164. Протокол встречи Президента ОАО «РЖД» с министром железных дорог КНР по вопросам укрепления сотрудничества [Текст] / 24-26.11.2004. – Пекин. – 4 с.
165. Угрюмов, А.К. Неравномерность движения поездов [Текст] / А.К. Угрюмов. – М.: Транспорт. – 1968. – 112 с.
166. Нейронные сети. *STATISTICA Neural Networks* [Текст]: пер. с англ. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 182 с.: ил. — ISBN 5-93517-015-9
167. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2001. – 400 с.: ил.
168. Чернецкий, В.И. Математическое моделирование стохастических систем [Текст] / В.И. Чернецкий. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет. – 1994. – 488 с.
169. Математическое моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. // А.Б. Каплан [и др.]; под ред. А.Б. Каплана. – М.: Транспорт. – 1984. – 256 с.
170. Акулиничев, В.М. Математические методы в эксплуатации железных дорог [Текст]: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, А.Н. Корешков. – М.: Транспорт. – 1981. – 223 с.
171. 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
172. Морозов, В.Н. Методология организации функционирования международных транспортных коридоров на основе кластерного подхода с применением мультимодаль-

ных логистических центров [Текст]: автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук / В.Н. Морозов; М: МИИТ. – 2011. – 48 с.

173. Железнов, Д.В. Интеграция железных дорог Монголии в мировую транспортную систему [Текст] / Д.В. Железнов, И. И.А. Домбровский // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 16-20.

174. 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.

175. 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.

176. Федеральный Закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» №209 от 24.07.2007 в редакции от 18.10.2007 № 230-ФЗ, от 22.07.2008 № 159-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ, от 02.08.2009 № 217-ФЗ, от 27.12.2009 № 365-ФЗ, от 05.07.2010 № 153-ФЗ, от 01.07.2011 № 169-ФЗ, от 06.12.2011 № 401-ФЗ

177. Постановление Правительства Российской Федерации № 101 от 09.02.2013 «О предельных значениях выручки от реализации товаров (работ, услуг) для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства».

178. Осьминин, А.Т. Регулировка и рынок. [Электронный ресурс] / А.Т. Осьминин. – Режим доступа: <http://www.gudok.ru/transport/comment.php?ID=393181>

179. Стандарт ОАО «РЖД»: СТО 1.05.515.3-2009 «Методы и инструменты улучшений. Диаграмма Исикавы» [Текст] / Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» №1150р от 02.06.2009 г.

180. Стандарт ОАО «РЖД»: СТО 1.05.515.2-2009 «Методы и инструменты улучшений. Методы решения проблем. Анализ Парето» [Текст] / Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» №1150р от 02.06.2009 г.

181. Каплан, А.Б. Методы линейного программирования в комплексном регулировании вагонного парка [Текст] / А.Б. Каплан // Труды институтов железнодорожного транспорта. – М: – МИИТ. – 1961. – Вып. 127. – С. 35-52.

182. Гладун, В.П. Планирование решений [Текст] / В.П. Гладун. – Киев: Наукова думка. – 1987. – 168 с.

-
183. Искусственный интеллект. Кн. 2: Модели и методы [Текст]: Справочник. / Д.А. Пospelов и [др.]; под ред. Д.А. Пospelова. – М: Радио и связь. – 1990. – 289 с.
184. Представление и использование знаний [Текст] / Х. Уэно, Т. Кояма, Т. Окамото [и др.]; под ред. Х. Уэно; пер. с яп. И. А. Иванова; под ред. Н. Волкова. – М: Мир. – 1989. – 220 с. – ISBN 5-03-000685-0 (в пер.)
185. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад; пер. с фр. В.Б. Тарасова; под ред. С.А. Орловского – М: Радио и связь. – 1990. – 288 с. – ISBN: 5-256-00184-1 (рус).
186. 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: Межвузовский сб. научных трудов. – Чита: ЗаБИЖТ. – 1999. – С.10-19.
187. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях. [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Сб. переводов. – Под ред. И.Ф. Шахнова. – М: Мир. – 1976. – С. 172-215.
188. Железнов, Д.В. Организация перевозок грузов при электронном документообороте [Текст]: диссертация кандидата техн. наук / Д.В. Железнов; МИИТ. – М: 1994. – 193 с.
189. Евланов, Л.Г. Теория и практика принятия решений [Текст] / Л.Г. Евланов. – М: Экономика. – 1984. – 176 с.
190. Хювенен, Э. Мир ЛИСПа. Т.1: Введение в язык ЛИСП и функциональное программирование [Текст] / Э. Хювенен, И. Сеппянен. – М: Мир. – 1990. – 447 с.
191. Управление парками вагонов стран СНГ и Балтии на железных дорогах России [Текст]: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В.И. Ковалёв, С.Ю. Елисеев, А.Т. Осьмилин [и др.]; под. ред. В.И. Ковалёва, С.Ю. Елисеева, Е.Ю. Мокейчева – М: Маршрут, 2006. – 245 с. ISBN 5-89035-321-7
192. Филипченко, С.А. Новые методы учёта парка грузовых вагонов и расчёта оборота вагона [Текст] / С.А. Филипченко // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 4. – С. 67-70.
193. Специальный проект. Рейтинг операторских компаний [Текст] /РЖД-партнёр. – 2011. – № 11. – С. 46-52.

-
194. Акулиничев, В.М. Применение математических методов и вычислительной техники в эксплуатации железных дорог [Текст] / В.М. Акулиничев, В.А. Кудрявцев, П.А. Шульженко. – М: Транспорт. – 1973. – 184 с.
195. Шаров, В. А. Технология эксплуатационной деятельности производственного блока ОАО «РЖД», связанного с управлением перевозками [Текст] / В. А. Шаров // Транспорт Российской Федерации. – 2010. - №5(30). – С. 58-62.
196. Чернюгов, А.Д. Организация эксплуатационной работы железнодорожных направлений [Текст] / А.Д. Чернюгов // Труды ВНИИЖТ. Вып. 547. — М: Транспорт. — 1975. — 128 с.
197. Шаров, В.А. Технологическое обеспечение перевозки грузов железнодорожным транспортом в условиях рыночной экономики [Текст]: монография / В.А. Шаров. – М: Интекст. – 2001. 198 с.
198. Бородин, А.Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений [Текст] / А.Ф. Бородин // Труды ВНИИАС. Вып. 6. – М: БизнесПроект. – 2008. – С. 307-314.
199. Бородин, А.Ф. Схема размещения и развития сортировочных станций ОАО «РЖД» до 2015 года [Текст] / А.Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №1. – С. 44-50
200. 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. – №2. – С. 142-150
201. Железнов, Д.В. Компонировка станций, специализированных для отстоя вагонов [Текст] / Д.В. Железнов // Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции с международным участием «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
202. Железнов, Д.В. Проект создания станции-отеля в районе пограничной перегрузочной станции [Текст] / Д.В. Железнов // Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции с международным участием «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
203. Научные исследования в сфере международных железнодорожных перевозок: оценка сдерживающих факторов и перспектив развития пограничной инфраструктуры на железнодорожных пунктах пропуска и разработка оптимальной схемы расположения транспортно-

- логистических центров [Текст]: Отчёт о НИР по государственному контракту № 103-02.02-3 от 17 ноября 2008 г. / № госрегистрации 0120.0 950398 // Рук. темы Д.В. Железнов. – Чита: ЗаБИЖТ ИрГУПС. – 2008. – 184 с.
204. Разработка бизнес-плана создания логистического центра по перегрузу скоропортящихся грузов с использованием транспортно-складского комплекса ДЦРС на ст. Забайкальск [Текст]: Отчёт о НИР по договору № 251206-2081(38/06) от 1 сентября 2006 г. / Рук. темы Д.В. Железнов. – Чита: ЗаБИЖТ ИрГУПС. – 2006. – 80 с.
205. Глухов, А.А. Реконструкция терминала ОАО «ТрансКонтейнер» на станции Забайкальск [Текст] / А.А. Глухов, Д.В. Железнов, Е.В. Мельников // Материалы международной научно-практической конференции «Развитие транспортной инфраструктуры – основа роста экономики Забайкальского края», 1-4 октября 2008 г. – Т.1. – Чита: ЗаБИЖТ. – 2008. – С.13-20. ISBN 978-5-98710-052-3
206. Концепция организации контрейлерных перевозок на «Пространстве 1520» [Текст]. – М: ОАО «РЖД». – 2011. – 149 с.
207. Статистика [Текст]: курс лекций / Л.П. Харченко, В.Г. Долженкова, В.Г. Ионин [и др.]; под ред. В.Г. Ионина. – М: ИНФРА. – 1999. – 310 с.
208. 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.
209. Ефимова, М.Р. Общая теория статистики [Текст]: учебник / М.Р. Ефимова, Е.В. Петрова, В.Н. Румянцев. – М: ИНФРА. – 1998. – 416 с.
210. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем [Текст]: учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп. / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М: Финансы и статистика. – 2006. – 432 с.
211. Статистические методы обработки эмпирических данных [Текст]: рекомендации, разработаны ВНИИНМАШем. – М: Издательство стандартов. – 1978. – 232 с.
212. Елисеева, И.И. Общая теория статистики [Текст]: учебник, 5-е изд., перераб. и доп. / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев; под ред. И.И. Елисеевой. – М: Финансы и статистика. – 2004. – 656 с.
213. Макарова, Н.В. Статистика в *Excel* [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М: Финансы и статистика. – 2002. – 368 с.

214. 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.
215. Левин, Д.Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д.Ю. Левин. – М: Транспорт. – 1988. – 175 с.
216. Волков, В.А. Совершенствование эксплуатации железных дорог [Текст] / В.А. Волков, Д.Ю. Левин, В.Д. Лерман. – М: Транспорт. – 1984. – 208 с.
217. Артемьев, Н.И. Исследование неравномерности перевозок грузов и пути её снижения [Текст]: дисс. канд. техн. наук / Н.И. Артемьев. – М: 1967. – 258 с.
218. Бодюл, В.И. Повышение ритмичности и эффективности транспортного производства на основе снижения внутрисуточной неравномерности грузовых перевозок на железных дорогах [Текст]: дисс. докт. техн. наук / В.И. Бодюл. – М: 2006. – 318 с.
219. Парамонова, Н.В. Рациональная технология пропуска поездов во время «окна» для проведения ремонтно-строительных работ [Текст]: дисс. канд. техн. наук / Н.В. Парамонова. – М: 2007. – 178 с.
220. Оптимизация пропуска поездов в период капитального ремонта пути по условию минимума приведенных затрат [Текст]: Отчёт о НИР / Рук. темы Д.В. Железнов. – Программа ИрГУПС «Фундаментальные и поисковые научно-исследовательские работы на 2004 год» (19.10.00ЦТех). Отчет по разделу 7 «Оптимизация эксплуатационной работы железных дорог разной ширины колеи и подходов к ним». Часть 2. – Иркутск: ИрГУПС. – 2004. – 112 с.
221. Кудрявцев, В.А. Технология эксплуатационной работы железных дорог [Текст] / В.А. Кудрявцев, А.К. Угрюмов, А.П. Романов [и др.]. – М: Транспорт. – 1994. – 264 с.
222. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М: Высшая школа. – 2000. – 479 с. - ISBN 5-06-003464-X
223. 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.
224. Уманский, В.И. Об организации пропуска поездов в период технологических «окон» [Текст] / В.И. Уманский // Железнодорожный транспорт. – №9. – 2010. – С. 21-24.
225. Уманский, В.И. График для «окна»: технология и прогноз [Текст] / В.И. Уманский // Мир транспорта. – № 4. – 2011. – С. 94-101

226. Шевелев, Ф.А. Исследование и разработка технологических и программных средств составления графика движения поездов при производстве ремонтно-путевых работ [Текст]: дисс. канд. техн. наук / Ф.А. Шевелев. – М.: 1984.
227. Феоктистов, В.Л. Планирование движения поездов и ремонтно-строительных работ [Текст] / В.Л. Феоктистов // Железнодорожный транспорт. – № 3. – 2011. – С. 26-28
228. Феоктистов, В.Л. Комплексное планирование ремонтно-строительных работ и движения поездов [Текст] / В.Л. Феоктистов // Железнодорожный транспорт. – № 4. – 2013. – С. 21-24
229. Крейнис, З.Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути [Текст] / З.Л. Крейнис, Н.П. Коршакова. – М.: УМКМПС России. – 2001. – 768 с.
230. Крейнис, З.Л. Организация, технология и управление техническим обслуживанием железнодорожного пути [Текст]: монография / З.Л. Крейнис. – М.: Маршрут. – 2004. – 329 с. – ISBN 5-89035-175-3
231. Зубков, И.И. Организация движения на железнодорожном транспорте [Текст] Учебник для техн. школ ж.-д. трансп. / И.И. Зубков, А.К. Угрюмов, Н.Г. Савиных. – 4-е изд., перераб. – М.: Транспорт, 1975. – 240 с.
232. Шенфельд, К.П. Новая технология ведения технико-распорядительных актов станций [Текст] / К.П. Шенфельд, И.Н. Розенберг, С.В. Духин [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2003. – №8. – С. 39-44.
233. Новая технология ведения технико-распорядительных актов станций [Текст]: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / И.Н. Розенберг [и др.]; под ред. И.Н. Розенберга. – М.: Маршрут, 2005. – 304 с. – ISBN 5-89035-230-X.
234. Козлов, П.А. От оперативных баз данных к интеллектуальной информационной среде [Текст] / П.А. Козлов, О.В. Осокин, Н.А. Тушин // Вестник РГУПС. – 2011. – № 4(44). – С. 138-145. – ISSN 0201-727X
235. Правдин, Н.В. Компьютерное проектирование железнодорожных станций [Текст]: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / Н.В. Правдин, А.К. Головнич, С.П. Вакуленко. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 469 с. – ISBN 978-5-89035-553-9.
236. Железнов, Д.В. Цифровые модели путевого развития [Текст] / Д.В. Железнов // Мир транспорта. – 2012. – №3. – С. 148-153.

237. Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств-участников СНГ, Латвийской республики, Литовской республики, Эстонской республики [Текст]: утверждена на тридцатом заседании Совета по железнодорожному транспорту 19.10.2001 г. ДЧ-1835/ М. – 2001. – 192 с. – ISBN 5-914156-006-0.
238. Гурин, С.Е. Применение сетевых спутниковых радионавигационных систем второго поколения ГЛОНАСС/GPS для целей управления инфраструктурой железнодорожного транспорта [Текст]: дисс. канд. техн. наук / С.Е. Гурин; – М., 2002. – 223 с.
239. Инструкция по расчёту наличной пропускной способности железных дорог [Текст]: утверждена Первым Вице-президентом ОАО «РЖД» В.Н. Морозовым 10.11.2010 г. / М. – 2010. – 181 с.
240. 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.
241. 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.
242. Годяев, А.И. Оценка потенциальной реализуемой пропускной способности железнодорожного участка / А.И. Годяев // Вестник ВНИИЖТ, 2004, выпуск 6, с. 29-34.
243. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст] / Утверждены Заместителем министра путей сообщения Ф.И. Шулешко 15 августа 1985. // П.Т. Гребенюк [и др.]. – М: Транспорт. – 1985. – 287 с.
244. Инструкция по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации [Текст] / Утверждена Министром путей сообщения Российской Федерации Н.Е. Аксёненко 26 мая 2000 г. ЦРБ-757; с изменениями и дополнениями, внесёнными приказами МПС России: от 03 июля 2001 №16; от 27.05.2002 №24. – М: Транспорт. – 2010. – 128 с.
245. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов [Текст] / Утверждена Заместителем Министра путей сообщения Российской Федерации А.Я. Сиденко 16 июня 1995 г. ЦД-361. – М: Министерство путей сообщения. – 1995. – 163 с.
246. Кудрявцев, В.А. Основы эксплуатационной работы железных дорог [Текст]: Учебное пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.А. Кудрявцев, В.И. Ковалёв, А.П. Кузнецов [и др.]; под ред. В.А. Кудрявцева. – М: Издательский центр «Академия». – 2005. – 352 с.

-
247. Геворкян, Р.Г. Курс физики [Текст]: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Р.Г. Геворкян. – М: Высшая школа. – 1979. – 656 с.
248. Новиков, В.Г. Координатная система интервального регулирования движения поездов с расширенными функциональными возможностями локомотивного устройства [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук / В.Г. Новиков. – М: МИИТ. – 2011. – 24 с.