

На правах рукописи



Шатохин Андрей Андреевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ
ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В КОНКУРЕНТНОЙ СРЕДЕ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» на кафедре «Эксплуатация железных дорог».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Елисеев Сергей Юрьевич

Официальные оппоненты: **Осьминин Александр Трофимович**, доктор технических наук, профессор, акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», Объединённый Учёный Совет ОАО «РЖД», заместитель председателя Объединённого Учёного Совета ОАО «РЖД»

Рыженков Андрей Васильевич, кандидат технических наук, акционерное общество «Первая грузовая компания», заместитель генерального директора по логистике – начальник департамента «Логистика и планирование»

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

Защита состоится 11 сентября 2019 г., в 16-00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.14 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.miit.ru

Автореферат разослан «15» июля 2019 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Сидоренко Валентина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Экономический рост России имеет тесную связь с качеством работы железнодорожного транспорта. Проводимые в стране рыночные экономические реформы повысили требования к качеству и стоимости транспортных услуг. Изменились и критерии оценки эффективности работы железнодорожного комплекса.

В современных рыночных условиях повышение конкурентоспособности – одна из важнейших задач, стоящих перед железнодорожным транспортом. Для этого необходимо повышать качество транспортной продукции и сокращать стоимость оказываемых услуг.

Многими учёными и производственниками железнодорожным транспортом отмечено существенное снижение эксплуатационных показателей использования грузовых вагонов при переходе от балансового метода управления к рыночному, когда ОАО «РЖД» перестало быть собственником подвижного состава.

Существующая система тарификации пользования вагоном привязана к времени его использования, поэтому увеличение времени гружёного рейса вагона и его возврата в порожнем состоянии оплачивается клиентом железнодорожного транспорта, что приводит к снижению конкурентоспособности ОАО «РЖД» из-за увеличения стоимости перевозки в целом.

Кроме того, из-за перевозки собственных порожних вагонов по полным перевозочным документам, возникают дополнительные расходы у ОАО «РЖД», связанные с увеличением объёма сортировочной и маневровой работы, замедлением пропуска вагонопотоков и поездопотоков.

Учитывая приведённые факты, можно сделать вывод о том, что рынок железнодорожных перевозок испытывает необходимость в повышении эффективности использования вагонов, в том числе, за счёт совершенствования технологии управления. При этом мотивацией для ОАО «РЖД» в совершенствовании данной технологии должно стать повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта, оптимизация маневровой и сортировочной работы с порожними вагонами, повышение стабильности и ритмичности работы объектов инфраструктуры, а также их освобождение от избыточного подвижного состава. В данном процессе заинтересованы и грузовладельцы, т.к. это позволит сократить долю транспортной составляющей в конечной стоимости продукции, что повысит их конкурентоспособность.

Степень разработанности темы исследования. Проблеме эффективного управления парком вагонов учёными–транспортниками всегда уделялось большое внимание, поскольку в этом заложен значительный потенциал повышения эффективности эксплуатационной работы железнодорожного транспорта.

Вопросы повышения эффективности технологии эксплуатационной работы и управления грузовыми вагонами рассматривались в научных трудах таких известных учёных, как В.М. Акулиничев, А.Э. Александров, А.В. Анненков, В.И. Апатцев, А.Ф. Бородин, И.П. Владимирская, С.Ю. Елисеев, Ю.И. Ефименко, П.А. Козлов, Н.А. Коваленко, С.Н. Корнилов, В.А. Кудрявцев, В.М. Николашин, А.Т. Осьминин, В.А. Персианов, В.В. Повороженко, А.Н. Рахмангулов, С.М. Резер, И.Б. Сотников, Е.А. Сотников, С.В. Трофимов, А.К. Угрюмов, В.А. Шаров, К.П. Шенфельд и ряда других.

Выбор темы обусловлен тем, что в настоящее время наблюдается ряд проблем в части взаимодействия перевозчика, оператора и грузовладельца, что приводит к нерациональному использованию грузовых вагонов, в том числе их существенному простоя в местах погрузки, наличию встречных пробегов порожних вагонов одного типа.

В то же время, из-за перевозки порожних вагонов по полным перевозочным документам, перевозчик вынужден перерабатывать в транзитном и местном сообщениях порожние вагоны одного типа в соответствии с их станциями назначения и получателями, что приводит к дополнительным расходам на эти операции и увеличению времени на доставку.

Цели и задачи диссертационного исследования. Целью настоящего исследования является разработка методики планирования времени рейса порожнего вагона при его направлении на станцию погрузки в условиях присутствия множества компаний–операторов на рынке грузовых железнодорожных перевозок, а также разработка технологических решений, направленных на совершенствование управления порожними вагонами. Для достижения данной цели потребовалось решить следующие задачи:

- выявить технологические операции, входящие в порожний рейс вагона, при выполнении которых имеются существенные резервы сокращения их продолжительности в зависимости от размеров управляемого парка;
- исследовать стохастичность времени порожнего рейса и выполнить параметризацию опытных данных;
- разработать методику планирования времени порожнего рейса с учётом его стохастичности и мощности порожнего вагонопотока в адрес станции погрузки;
- сформулировать предложения по управлению рисками, возникающими при подводе порожних вагонов под погрузку из-за стохастичности времени порожнего рейса при нормировании эксплуатационных показателей использования парка вагонов;
- сформулировать технологические решения, реализация которых позволит сократить издержки, связанные с подводом порожних вагонов под погрузку.

Объектом исследования является существующая система управления парком вагонов в условиях присутствия множества операторов на рынке железнодорожных перевозок.

Предметом исследования являются формы и методы эффективного управления парком вагонов в рыночных условиях с учётом интересов его собственников.

Для решения задачи используются методы математической статистики, стохастического программирования, дискретной оптимизации, математического моделирования, научные методы сбора и обработки статистических данных, современные научные достижения в части общих принципов и методов управления рисками.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Объект, предмет и методы исследования находятся в рамках паспорта специальности 05.22.08 «Управление процессами перевозок», а именно пункта 2 «Технология транспортных процессов».

Научная новизна исследования:

1. Сформулированы факторы, оказывающие влияние на эксплуатационные показатели использования грузовых вагонов с учётом их принадлежности;

2. Разработана методика нормирования показателей использования парка грузовых вагонов, которая позволяет определять рациональное планируемое время порожнего рейса при направлении вагонов под погрузку, при котором достигается минимум непроизводительных расходов. Учитываются следующие факторы:

- стохастичность времени порожнего рейса;
- технологические особенности отправителя;
- мощность порожнего вагонопотока в адрес отправителя;

3. Установлены статистические и аналитические зависимости, в которых взаимоувязаны эксплуатационные показатели использования грузовых вагонов, случайные факторы и риски процесса подвода порожних вагонов на станции погрузки, размер страхового резерва вагонов и мощность порожнего вагонопотока;

4. Разработаны технологические и методические предложения, реализация которых позволит улучшить эксплуатационные показатели использования грузовых вагонов, сократить расходы, связанные с организацией пропуска порожних вагонопотоков, в том числе, за счёт реализации технологии виртуальной сортировки порожних вагонов.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что появляются новые методы планирования порожних рейсов вагонов и технологические решения, позволяющие совершенствовать процесс пропуска и переработки порожних вагонопотоков в существующих условиях.

Применение полученных результатов позволяет операторам подвижного состава ускорить оборот грузового вагона, ОАО «РЖД» – сократить расходы, связанные с перемещением порожних вагонов, разгрузить инфраструктуру от избыточного парка грузовых вагонов и повысить свою конкурентоспособность при сокращении стоимости железнодорожной

перевозки за счёт сокращения времени использования собственных вагонов грузовладельцами.

Методология и методы исследования. Для решения задачи используются методы математической статистики, математического моделирования, научные методы сбора и обработки статистических данных, современные достижения в части общих принципов и методов управления рисками.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимости эксплуатационных показателей использования вагонов от их количества под управлением оператора;
2. Исследования стохастичности времени прибытия порожних вагонов на станцию назначения;
3. Методика определения рационального времени порожнего рейса в условиях неопределённости с учётом мощности порожнего вагонопотока в адрес грузоотправителя;
4. Зависимость рационального размера страхового запаса вагонов в местах погрузки от мощности вагонопотока;
5. Предложения по управлению рисками, возникающими при подводе порожних вагонов под погрузку из-за стохастичности времени порожнего рейса при нормировании эксплуатационных показателей использования парка вагонов;
6. Предложения по совершенствованию технологии управления вагонными парками.

Достоверность результатов исследования подтверждается обоснованным применением апробированных теорий и методов исследований. Полученные результаты не противоречат исследованиям других авторов и подтверждаются результатами внедрения в АО «ПГК».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на научно–практических конференциях «50 лет БАМу» (Москва, МГУПС, 2014 г.), «Научно–техническое и социально–экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке» (Хабаровск, ДВГУПС, 2015 г.), научных семинарах кафедр «Эксплуатация железных дорог», «Управление эксплуатационной работой и безопасностью движения» Российского университета транспорта (Москва, 2015-2019 гг.), на технических совещаниях ОАО «РЖД» и АО «НИИАС».

Внедрение результатов исследования. Осуществлено внедрение представленных разработок в АО «ПГК» в бизнес–процессах нормирования и планирования работы парка вагонов, что позволило ускорить оборот вагонов, подтвердить теоретические положения выполненной работы и получить существенный экономический эффект.

Перспективы внедрения разработанной технологии виртуальной сортировки вагонов рассмотрены в ОАО «РЖД» установленным порядком. Планируется включение данной работы в план работ на 2020 и последующие годы.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс факультета «Управление процессами перевозок», на кафедре «Эксплуатация железных дорог» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» по дисциплинам «Управление эксплуатационной работой», «Технология управления движением на дорожном и сетевом уровнях», при разработке выпускных квалификационных работ для студентов специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», направления подготовки бакалавриата 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 11 печатных работах (из них 9 в соавторстве), в том числе 8 печатных работ опубликованы в изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, которые соответствуют перечню рецензируемых изданий для опубликования научных результатов диссертации на соискание учёной степени по специальности 05.22.08 «Управление процессами перевозок», 2 работы в материалах Всероссийских научно-практических конференциях.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 149 машинописных страниц, основной текст изложен на 131 странице, содержит 5 таблиц и 36 рисунков. Список литературы включает 114 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, степень её разработанности, а также теоретическую, практическую значимость и научную новизну. Сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе выполнен анализ процесса формирования рынка операторских услуг и технологии управления вагонными парками. Создание парка частных грузовых вагонов и увеличение его доли обосновывалось привлечением частных инвестиций для обновления парка грузовых вагонов и удовлетворения спроса потребителей транспортной продукции за счёт создания компаний-операторов, ориентированных на потребности грузовладельцев.

Рядом учёных были отмечены основные системные риски для перевозочного процесса, возникающие с ростом доли частного подвижного состава, которые необходимо минимизировать:

- нерациональное использование инфраструктуры и тяговых ресурсов;
- занятие инфраструктуры ОАО «РЖД» и грузоотправителей простаивающими в ожидании высокодоходной работы порожними вагонами.
- перенасыщение сети железных дорог парком грузовых вагонов из-за меньшей, по сравнению с инвентарным парком, эффективностью

работы частного подвижного состава, что приведёт к дополнительной потребности в подвижном составе;

- перегрузка сортировочных мощностей из-за массовой переработки следующих по полным грузовым документам одиночных порожних частных вагонов.

Отмеченные выше системные риски актуальны и на сегодняшний день, так как на сети ОАО «РЖД» имеется существенное количество объектов инфраструктуры, испытывающих дефицит пропускной способности, а скорости продвижения порожних вагонопотоков меньше, чем гружёных.

С целью поиска резервов для совершенствования управления парком вагонов в диссертации выполнен сравнительный анализ основных эксплуатационных показателей использования полувагонов в зависимости от размеров управляемого парка у оператора за июнь 2014 г. и июнь 2018 г. Анализ производился на основе данных о рейсах полувагонов из ГВЦ ОАО «РЖД» по железнодорожным администрациям стран СНГ и Балтии.

Общий парк полувагонов компаний–операторов за период с 2014 по 2018 гг. увеличился на 14 тыс. (с 594 тыс. в 2014 г. до 608 тыс. в 2018 г.). Если в 2014 г. полувагонами управляли около 500 операторов подвижного состава, из которых только 118 имели парк более 100 вагонов, то в 2018 г. осталось всего 380 операторов, из которых лишь 100 имеют парк более 100 вагонов (рисунок 2).

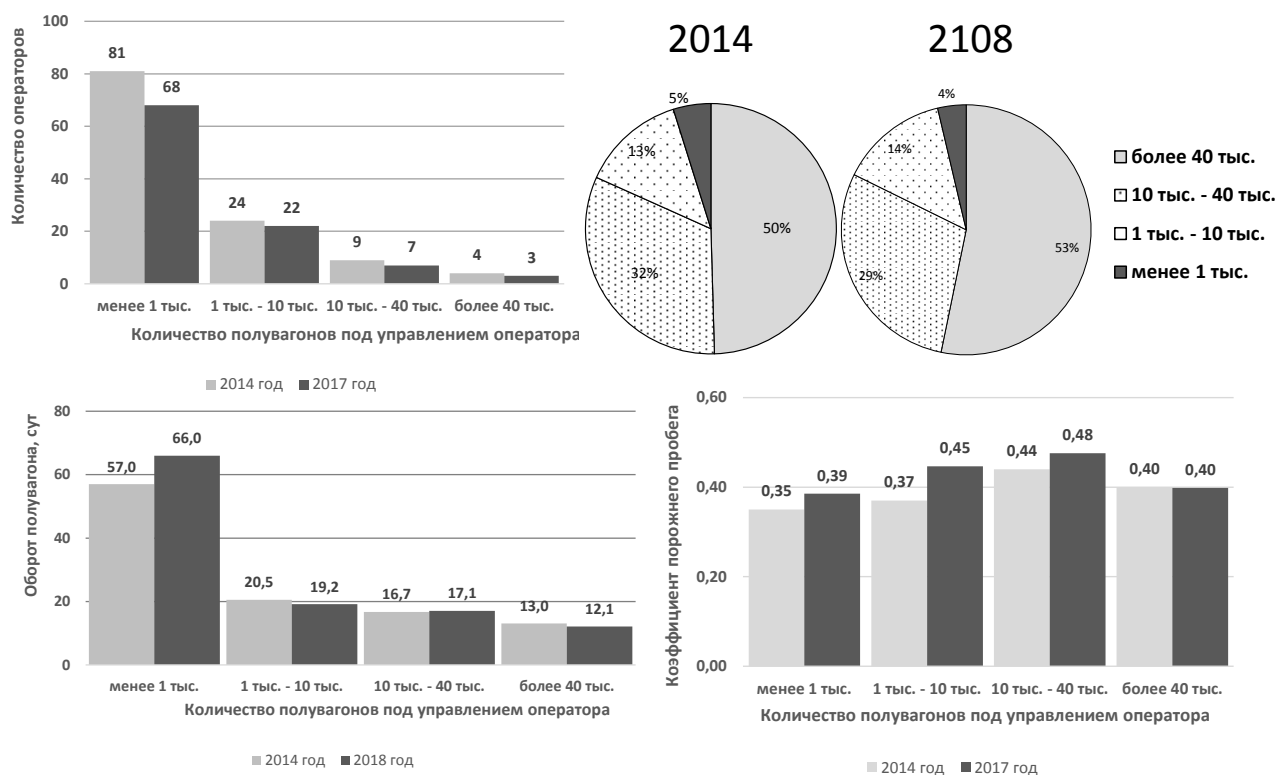


Рисунок 2 – Количество операторов, управляющих полувагонами, оборот и коэффициент порожнего пробега полувагонов в зависимости от размера парка (без учёта компаний с управляемым парком менее 100 полувагонов)

При этом значительного изменения доли крупных и мелких операторов не наблюдается. Например, доля парка полувагонов, принадлежащая операторам, имеющим менее 10 тыс. полувагонов, осталась без изменения, и составляет 18%. Сокращение количества операторов объясняется процессом укрупнения компаний в период низких ставок на вагоны (см. рисунок 2).

Среднее значение оборота полувагона в 2018 г. составило 16,6 суток, что меньше, чем в 2014 г., на 0,7 суток. Ускорение произошло за счёт сокращения времени их простоя на станциях погрузки на 7,3 часа (см. рисунок 2), а также ускорения доставки вагонов на станции назначения и сокращения времени их простоя на станциях выгрузки.

При этом в разных группах операторов динамика изменения оборота различная (см. рисунок 2). Если в группе операторов, имеющих парк полувагонов от 10 до 40 тыс., увеличение времени оборота объясняется увеличением дальности гружёного и порожнего рейсов, то у операторов, управляющих парком полувагонов менее 1 тыс., это говорит о снижении качества управления.

В целом сохранилась тенденция, что чем больше управляемый парк полувагонов, тем интенсивнее он используется.

Также значительные резервы в повышении производительности использования полувагонов заложены в порожнем рейсе. Для всех категорий операторов средняя скорость продвижения порожних вагонов меньше, чем у гружёных, на 30-40% (рисунок 3).

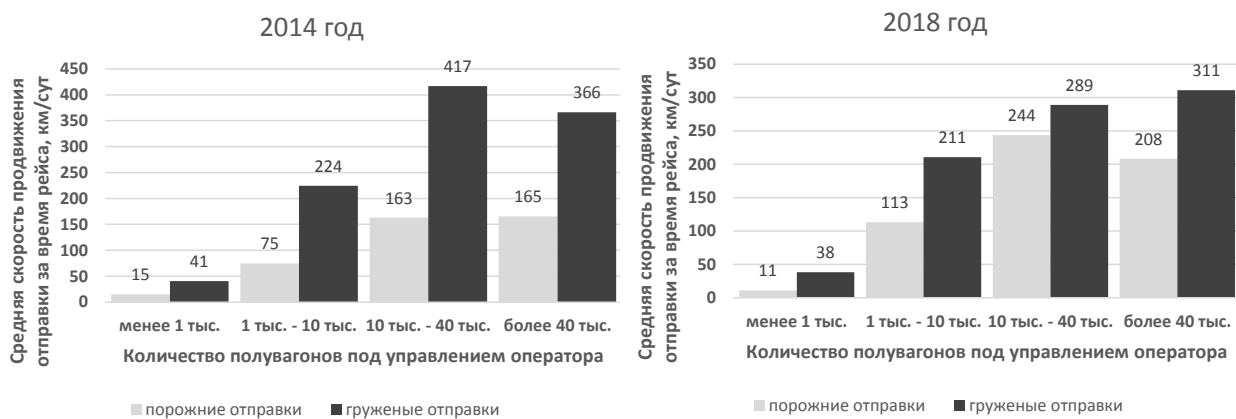


Рисунок 3 – Средняя скорость продвижения гружёных и порожних отправок в 2014 и 2018 годах, в зависимости от размеров управляемого парка

Частично это объясняется необходимостью подготовки порожних вагонов под погрузку, но в большей степени это связано с существенным простоем полувагонов в ожидании погрузки, которое составляет в разные годы от 72 до 81 часа (рисунок 4).

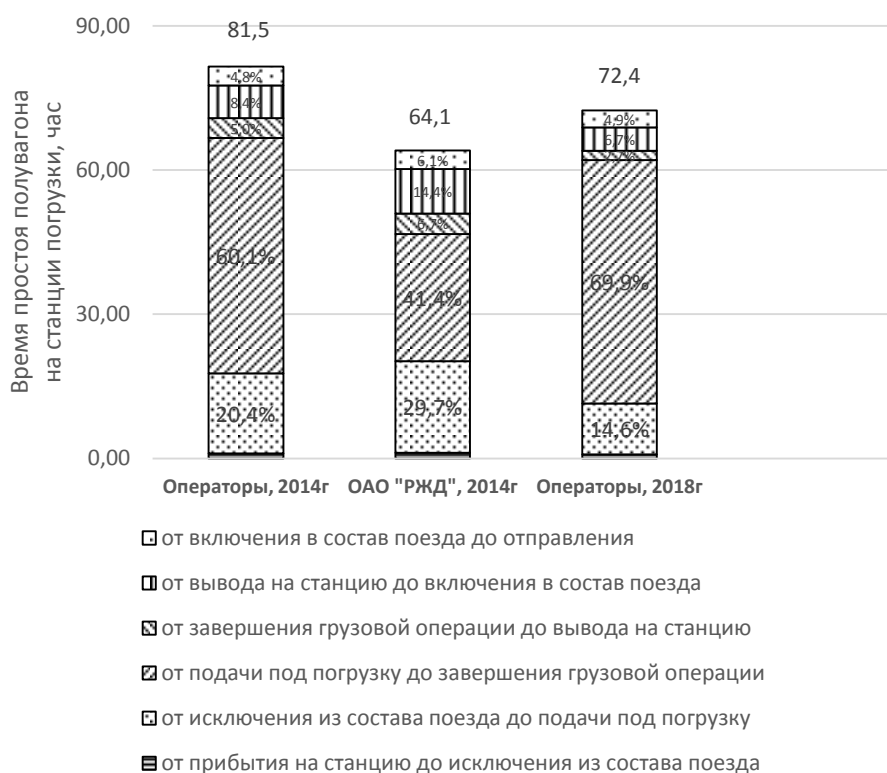


Рисунок 4 – Сравнение времени простоя местного полувагона на станции погрузки операторов и ОАО «РЖД»

Если рассмотреть некие идеальные условия, при которых эксплуатационные показатели использования парка полувагонов у всех операторов подвижного состава были бы такие же, как у крупных (парк более 10 тыс.), а средняя скорость продвижения гружёных и порожних полувагонов была бы одинаковой, то сокращение среднего времени оборота всего парка составило бы, как минимум, 3 суток. Такое сокращение времени оборота полувагонов позволило бы сократить общий парк примерно на 100 тыс. вагонов без потери гарантированности обеспечения существующих объёмов перевозок. Рыночная стоимость использования высвобождаемого парка составляет от 50 до 80 млрд. рублей в год.

Отдельного рассмотрения требуют итоги анализа простоя местных полувагонов на станции погрузки (см. рисунок 4). Несмотря на положительную динамику, более 80% данного времени (около 62 часов) приходится на простой от прибытия до завершения грузовой операции. Это говорит о недостаточной корреляционной связи между временем прибытия порожних вагонов и возможностью выполнения погрузки у грузоотправителя, что приводит к непроизводительным простоям вагонов в ожидании погрузки. Как правило, раннее прибытие вагонов объясняется превышением планируемого времени порожнего рейса над фактическим.

Данный вид простоя существенно увеличился после перехода вагонов из инвентарного парка в собственный. Основное различие в управлении этими парками вагонов заключается в порядке их направления под погрузку. Под управлением ОАО «РЖД» инвентарные вагоны направлялись в регионы

погрузки в порядке регулировки, и далее, на стадии сменно–суточного планирования, распределялись по станциям. В настоящее время собственные порожние вагоны направляются на станции погрузки по полным перевозочным документам со станции выгрузки. В таких условиях горизонт планирования подвода порожних вагонов под погрузку увеличился до планируемого времени порожнего рейса, и может составлять до двух недель.

Из–за этого появилась неопределённость, связанная со стохастичностью продвижения порожних вагонопотоков, возможной корректировкой плана погрузки, вероятностью прибытия вагона в ненадлежащем техническом или коммерческом отношениях и другими причинами.

В результате был осуществлён переход от модели подвода порожних вагонов «Точно в срок», к стохастической модели управления запасами с нефиксированным временем задержки поставок, при которой необходимо наличие резерва вагонов в местах погрузки для обеспечения стабильности грузовой работы. Этот резерв и приводит к наблюдаемому простоя порожних вагонов.

Формирование данного резерва осуществляется за счёт увеличения планируемого времени порожнего рейса вагона. При уменьшении времени рейса возникают риски несвоевременного подвода вагона под погрузку.

Поэтому при планировании порожних вагонопотоков необходимо определить рациональные значения времени планируемых порожних рейсов вагонов, при котором сумма рисков, связанных с их ранним и поздним прибытием на станции спроса, будет наименьшей.

Учитывая вероятностный характер сроков прибытия порожних вагонов на станции погрузки, необходимо найти такой план перевозок, при котором сумма рисков позднего и раннего прибытия вагонов на станции погрузки C , будет минимальной:

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij}^{\text{тариф}} + c_{ij}^{\text{ваг}}) + \sum_{j=1}^n (c_j^{\text{ож.погр}} + c_j^{\text{штраф}}) \rightarrow \min \quad (1)$$

где: $c_{ij}^{\text{тариф}}$ – стоимость тарифа на перевозку порожнего вагона от станции его освобождения до станции погрузки;

$c_{ij}^{\text{ваг}}$ – стоимость вагонной составляющей с момента заадресовки вагона со станции его освобождения до момента прибытия на станцию погрузки;

$c_j^{\text{ож.погр}}$ – расходы на ожидание погрузки по станции j , складывающиеся из стоимости времени неиспользования вагона и возможного использования путей общего и/или необщего пользования;

$c_j^{\text{штраф}}$ – расходы и штрафы, связанные с поздним прибытием вагона на станцию погрузки j (упущенная выгода, риски, связанные с неисполнением договорных обязательств, и т.д.)

При управлении парком вагонов, когда оператор взаимодействует с большим количеством грузоотправителей, часто возникают ситуации, при которых функция затрат при позднем прибытии вагонов имеет сложную форму (нелинейную, ступенчатую и т.д.). Их условно можно разделить на три основные категории:

- потери, увеличивающиеся прямо пропорционально времени опоздания вагона;
- единовременные потери, связанные с уходом заказа другому оператору или необходимостью краткосрочной аренды вагонов других собственников;
- сложные нелинейные зависимости.

В таких условиях решения, при поиске которых за основу принимается линейный вид функции затрат, могут иметь значительную погрешность.

Учитывая сложность поставленной задачи, для поиска решения целесообразно использовать методы дискретной оптимизации.

Для этого представим заданные функции в виде дискретных значений по периодам времени Δt .

Требуется найти такое значение времени t_0 , при котором:

$$M(c_{ij}^{ож.погр}(t_0)p(t_0)) + M(c_{ij}^{штраф}(t_0)p(t_0)) \rightarrow \min \quad (2)$$

где: $M(c_{ij}^{ож.погр}(t_0)p(t_0))$, $M(c_{ij}^{штраф}(t_0)p(t_0))$ – математические ожидания издержек на ожидание погрузки и штрафов за опоздание для значения времени отправления t_0 соответственно.

Математические ожидания расходов при времени отправления t_n можно рассчитать как сумму произведений расходов $c_j^{ож.погр}$, $c_j^{штраф}$ на вероятность их получения p .

При этом плотность вероятности времени прибытия вагонов необходимо определить по данным статистики или экспертным способом.

После расчёта математического ожидания издержек для каждого дискретного значения времени t необходимо найти такое значение времени порожнего рейса t_0 , при котором будет достигнут минимум заданной функции.

Во второй главе рассмотрены методы определения рациональных параметров корреспонденций порожних вагонов на стадии планирования в условиях неопределённости.

При переходе всего вагонного парка в категорию «приватный» изменения в организации перевозочного процесса затрагивают, в основном, блок вопросов, связанных с организацией перемещения порожних вагонов.

Анализ статистики времени порожнего рейса полувагонов за июнь 2018 г. показал высокую стохастичность данного процесса, что создаёт риски раннего и позднего прибытия вагона под погрузку. С помощью метода наименьших квадратов построена функция зависимости времени рейса вагона t от его дальности s , по итогам которой сделан вывод, что при наличии

тенденции увеличения времени порожнего рейса от его расстояния невозможно получить достаточно точную теоретическую зависимость из-за высокой стохастичности процесса (таблица 1, рисунок 5).

Таблица 1 – Результаты аппроксимации зависимости времени рейса порожнего полувагона от расстояния методом наименьших квадратов

№ п/п	Функция зависимости времени рейса от расстояния s	Коэффициент детерминации	Примечания
1	Линейная $t=1,71 \cdot s+0,002$	0,526	Из-за высокой стохастичности процесса не удаётся построить приемлемую модель с достаточным значением коэффициента детерминации (0,8 и более)
2	Квадратичная $t=1,81 \cdot s^2 \cdot 10^{-7}+2,61 \cdot s \cdot 10^{-3}+1,39$	0,536	
3	Полином 3-й степени $t= 8,31 \cdot s^3 \cdot 10^{-11} - 8,45 \cdot s^2 \cdot 10^{-7} + 3,9 \cdot s \cdot 10^{-3} + 1,11$	0,542	
4	Полином 4-й степени $t= -3,47 \cdot s^4 \cdot 10^{-14}+4,72 \cdot s^3 \cdot 10^{-10} - 2,17 \cdot s^2 \cdot 10^{-6}+ 5,22 \cdot s \cdot 10^{-3} + 0,934$	0,544	



Рисунок 5 – Аппроксимация зависимости времени рейса порожнего полувагона от его дальности различными функциями

Плотность вероятности времени прибытия вагона на станцию имеет асимметричную форму, идентичную семейству гамма-распределений (при параметре формы $k \geq 2$). Асимметричность возникает вследствие того, что ускорение доставки вагона ограничено технологическими и техническими возможностями, а время задержки вагона по различным причинам может быть

достаточно продолжительным. Параметры гамма-распределения имеют зависимость от расстояния порожнего рейса (рисунок 6, таблица 2).

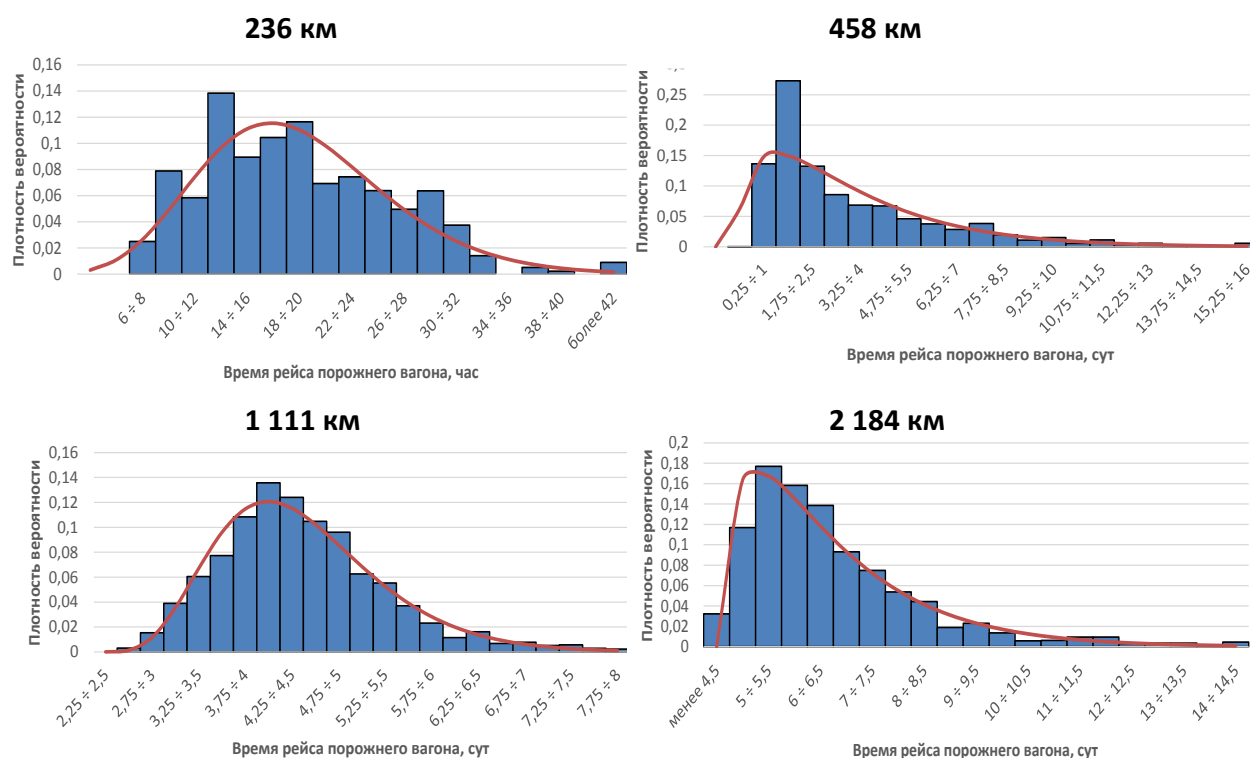


Рисунок 6 – Эмпирическая плотность относительной частоты $f^*(x)$ и теоретическая плотность вероятности $f(x)$ времени следования вагона для различных корреспонденций, имеющих различную дальность порожнего рейса

Таблица 2 – Параметры аппроксимирующего гамма-распределения плотности вероятности времени прибытия порожнего вагона

№ п/п	Дальность порожнего рейса, км	Параметры гамма-распределения			Проверка критерием согласия Пирсона по уровню значимости $\alpha = 0,05$		Коэффициент асимметрии
		Форма (а)	Масштаб (b)	Сдвиг (с)	Статистика критерия согласия	Критическая точка	
1	236 км	4,31	1,65	-1,2	8,5	8,67	3,55
2	458 км	2,12	2,5	-0,3	9,57	10,85	1,92
3	1111 км	38,4	0,4	-8,7	2,41	10,85	0,42
4	2184 км	11,7	0,91	-3,8	4,96	10,85	1,02

Учитывая значительные отклонения во времени следования порожних вагонов от ожидаемого, необходимо иметь некоторый резерв для гарантии своевременного обеспечения погрузки.

Наличие резерва времени порожнего рейса, в итоге, приводит к непроизводительным простоям порожних вагонов на станции погрузки или в подходе к ней (см. рисунок 4).

Снижение влияния стохастичности на использование подвижного состава возможно за счёт повышения технологической дисциплины, совершенствования технологии управления эксплуатационной работой, расширения перечня предоставляемых услуг, например, «Доставки точно в срок», консолидации управления грузовыми вагонами, использования двух и более порожних рейсов для подвода вагонов на станции погрузки, отказа от жёсткой привязки порожних вагонов к станциям назначения.

Наиболее перспективным подходом является сокращение горизонта планирования подвода порожних вагонов на станции погрузки за счёт их перераспределения в пути следования.

Однако следует отметить, что подсыл порожних вагонов на станции погрузки двумя рейсами через опорные станции не позволяет оптимизировать пропуск порожних вагонопотоков для ОАО «РЖД», т.к. остаётся проблема необходимости переработки идентичных порожних вагонов в соответствии с их станциями назначения.

В третьей главе рассмотрено влияние мощности корреспонденции порожнего вагонопотока на непроизводительные расходы, связанные с простоем порожних вагонов в ожидании погрузки.

Характер обеспечения существенной части погрузки на железнодорожном транспорте имеет характер непрерывного вагонопотока. При увеличении количества отправок вагонов в вагонопотоке уменьшаются его относительные колебания. Результаты моделирования прибытия вагонов в каждые сутки при количестве 1, 10 и 100 отправок в сутки подтверждают это (рисунок 7).

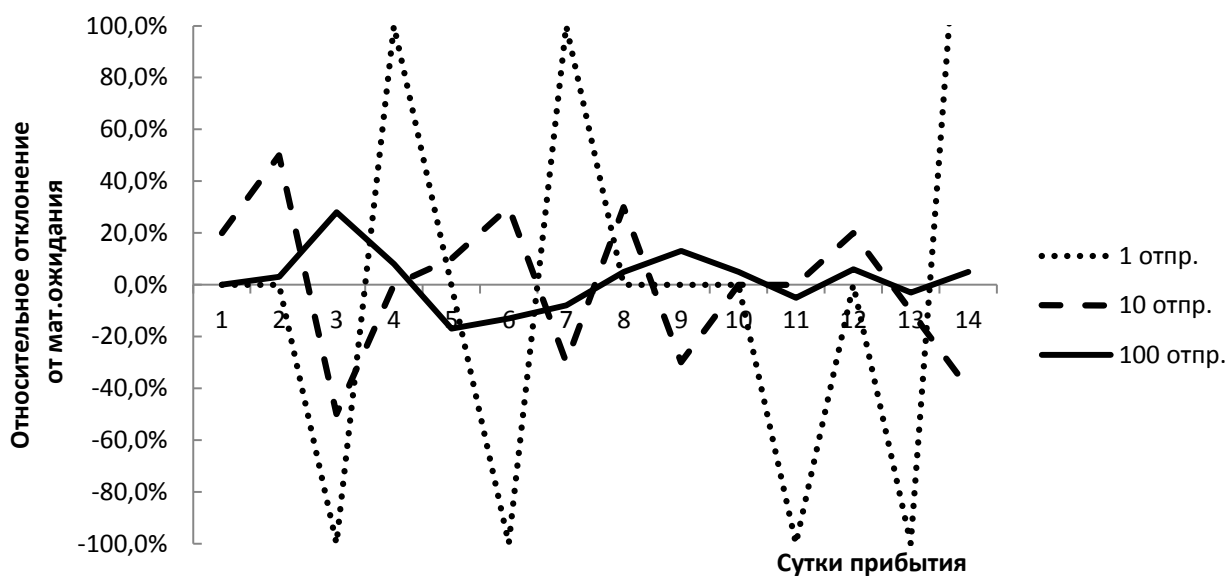


Рисунок 7 – Графики относительных колебаний количества прибывших вагонов по датам для струй мощностью 1, 10 и 100 отправок в сутки

Следовательно, среднесуточное значение количества отправок порожних вагонов влияет на долю вагонов в резерве. Согласно теории управления запасами, для любой системы, использующей страховой запас как инструмент бесперебойного снабжения производства, зависимость оптимального темпа роста запасов и темпа роста спроса выглядит следующим образом:

$$\frac{\Pi_T^3}{\Pi_6^3} = \sqrt{\frac{\Pi_T^c}{\Pi_6^c}} \quad (3)$$

где Π_T^3 , Π_6^3 – значение товарных запасов в текущем и базовом периоде соответственно;

Π_T^c , Π_6^c – значение спроса на товары в текущем и базовом периоде соответственно.

Если данную зависимость применить к задаче управления вагонным парком, то, рациональное среднее время простоя порожних вагонов в резерве составит:

$$t_{рез}^n = \frac{t_{рез}^0}{U_{погр}^n} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_{п}} (U_{отпр}^i)^2} \quad (4)$$

где $t_{рез}^0$ – рациональное время нахождения вагона в резерве на станции погрузки при разовой отправке, час;

$U_{отпр}^i$ – количество вагонов в i -ой отправке;

$U_{погр}^n$ – среднесуточная погрузка в планируемом периоде, ваг.

Зная время простоя в резерве, можно определить общее плановое время порожнего рейса:

$$t^0 = \overline{t^{пор}} + t_{рез}^{стрх} \quad (5)$$

где $\overline{t^{пор}}$ – среднее технологическое время порожнего рейса (без учёта простоя в резерве), час.

При обеспечении погрузки на станции несколькими операторами страховой резерв вагонов формируется ими независимо друг от друга. Это приводит к существенному увеличению простоя вагонов, так как отклонения количества прибывающих порожних вагонов для каждого оператора будут больше, чем для общего вагонопотока (см. рисунок 10).

Используя формулу (7), построим зависимость размера непроизводительного простоя вагонов в ожидании погрузки от раздробленности парка вагонов (рисунок 8). Минимальное значение простоя достигается при подводе к станции вагонов под управлением одного оператора.

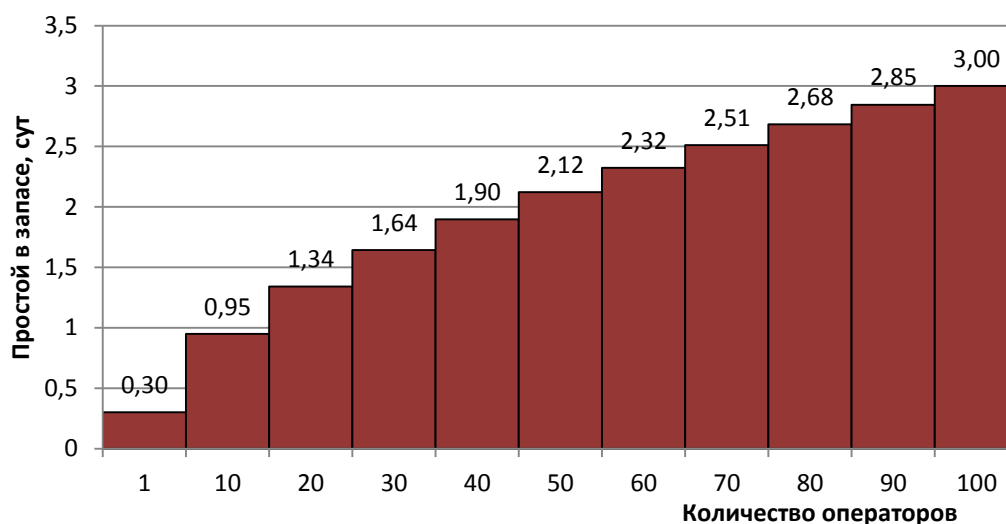


Рисунок 8 – Зависимость времени простоя одного вагона в резерве от количества операторов при общем значении погрузки 100 вагонов в сутки

В четвертой главе предложены меры по совершенствованию технологии управления порожними вагонопотоками.

При нормировании оборота вагона целесообразно учитывать и нормировать время простоя вагонов в страховом резерве. Тогда трёхчленная формула расчёта оборота вагона принимает следующий вид:

$$Q_a = \frac{1}{24} \left(\frac{l}{V_{уч}} + \frac{l}{L_{мех}} t_{mp} + t_{зан} k_n + t_{сп} k_m \right) \quad (6)$$

где: l – полный рейс вагона, км;

$V_{уч}$ – участковая скорость, км/час;

$L_{мех}$ – вагонное плечо, км;

t_{mp} – простой транзитного вагона на одной технической станции, час;

$t_{сп}$ – технологическое время простоя вагона, приходящееся на одну грузовую операцию (без учёта простоя в резерве на станции погрузки), час;

k_m – коэффициент местной работы;

$t_{зан}$ – среднее время простоя в страховом резерве в ожидании погрузки;

$k_{погр}$ – коэффициент погрузки:

$$k_{погр} = \frac{U_{погр}}{U} \quad (7)$$

где: U – работа полигона, ваг.

Наиболее перспективный вариант – сокращение горизонта планирования обеспечения погрузки, которое возможно при переадресовке порожних вагонов в пути следования. Это возможно при переходе от жёсткой привязки вагонов по станциям назначения к гибкой, когда допускается перестановка назначений порожних вагонов одного рода с учётом заданных ограничений в зависимости от расположения вагонов на путях станции или в составе поезда. Такой подход позволит без физической перестановки вагонов

переставить станции назначения порожних вагонов с целью достижения следующих эффектов:

- сокращения объёма маневровой работы на станциях грузовых операций за счёт частичной виртуальной подборки групп вагонов для прицепки и подачи;
- ускорение переработки вагонопотоков и сокращение расходов на выполнение сортировочной работы за счёт сокращения количества отцепов в составе поезда;
- сокращение времени накопления составов за счёт виртуального формирования замыкающих групп и/или виртуального сгущения подвода вагонов для накапливаемого назначения;
- повышения технической маршрутизации за счёт формирования поездов более дальних назначений при виртуальном сгущении подхода порожних вагонопотоков определённого назначения.

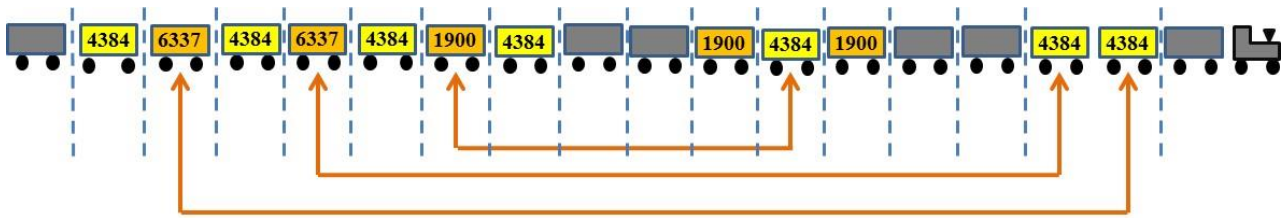
Переход на данную технологию будет выгоден и крупным операторам вагонов, так как появится возможность заменять неактуальные станции назначения порожних вагонов актуальными, оперативно восполняя потерю погрузочного ресурса.

Это позволит сократить риски, связанные с неопределённостью времени порожнего рейса и изменением плана погрузки в условиях многосуточного планирования подвода порожних вагонов под погрузку. С учётом тенденции укрупнения операторских компаний эффективность использования данной технологии будет увеличиваться, т.к. будет расти доля вагонов отдельных операторов в общем вагонопотоке.

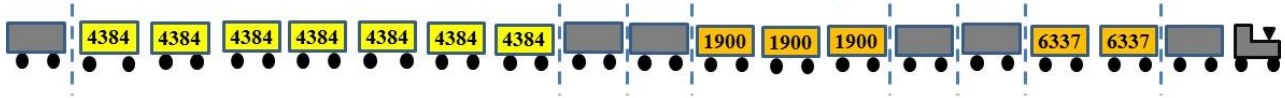
Для сохранения качества коммерческой работы оператора подвижного состава с грузовладельцами при перераспределении порожних вагонов по станциям назначения необходимо учитывать не только род подвижного состава, но и конструкционные особенности вагонов, их грузоподъёмность, объём кузова и др. Для этого необходимо предварительно выполнить декомпозицию:

- парка вагонов по всем параметрам, которые учитываются при распределении порожних вагонов под погрузку;
- заявок на погрузку по допустимым параметрам вагонов.

Анализ размеченных натуральных листов грузовых поездов показал целесообразность выполнения виртуальной сортировки назначений порожних полувагонов АО «ПГК» даже в рамках одного поезда. В отдельных случаях (рис. 9) возможно сокращение количества отцепов в составе поезда на 6–7, что позволит ускорить скорость роспуска состава на сортировочной станции.



После виртуального перемещения пакетов электронных перевозочных документов между порожними вагонами одного рода и одного оператора количество отцепов в составе поезда сократилось на 8



Условные обозначения:




-  - группа вагонов, кроме порожних полувагонов ОАО «ПГК»;
-  - группа вагонов из порожних полувагонов ОАО «ПГК» с указанием станции назначения;
-  - границы между отцепами в составе поезда.

Рисунок 9 – Сокращение количества отцепов на примере конкретного поезда

Также технология виртуальной сортировки позволит сократить объём маневровой работы на станции, когда подбор групп порожних вагонов для подачи на грузовой фронт, прицепки к поезду и других операций будет производиться путём перестановки назначений вагонов, а не самих вагонов.

Таким образом, для сокращения расходов, связанных с маневровой и сортировочной работой, целевая функция виртуальной сортировки порожних вагонов должна минимизировать количество групп вагонов одного назначения в составах поездов и на станционных путях при ограничениях, связанных со своевременным подводом порожних вагонов на станции назначения, соответствия конструктивных особенностей вагона (род, тип, модель, характеристики модели) требованиям заявки на погрузку, планом формирования грузовых поездов, технологией организации местной работы, пропускными и перерабатывающими возможностями инфраструктуры ОАО «РЖД» и путей необщего пользования по периодам планирования $N_k(t)$, наличием необходимого для выполнения заявки на погрузку остаточного пробега вагона до планового ремонта $l_{ост}^{вар}$, технологическими особенностями курсирования вагонопотоков:

$$S = k_{отц}^{сорт} n_{отц}^{сорт} + k_{приц}^{местн} n_{приц}^{местн} + k_{отц}^{местн} n_{отц}^{местн} + k_{под}^{гр} n_{под}^{гр} \rightarrow \min \quad (8)$$

где: $k_{отц}^{сорт}$, $n_{отц}^{сорт}$ – весовой коэффициент и количество отцепов в составе поезда или на станционных путях (под накоплением) соответственно;

$k_{приц}^{местн}$, $n_{приц}^{местн}$ – весовой коэффициент и количество групп вагонов на станционных путях к прицепке в соответствии с планом формирования соответственно;

$k_{\text{приц}}^{\text{местн}}, n_{\text{приц}}^{\text{местн}}$ – весовой коэффициент и количество групп вагонов в составе поезда или под накоплением к отцепке на станции назначения или базовой станции соответственно;

$k_{\text{под}}^{\text{гр}}, n_{\text{под}}^{\text{гр}}$ – весовой коэффициент и количество групп вагонов в составе поезда или на станционных путях к подаче на грузовой фронт соответственно; при следующих условиях:

– своевременного прибытия вагона на станцию планируемой погрузки:

$$t_{\text{приб}}^{\text{пл}} \geq t_{\text{расч}} + t_{\text{рейс}}^{\text{пор}} \quad (9)$$

– станция нового назначения вагона должна принадлежать диапазонам, определённым в соответствии с планом формирования поездов, технологией организации пропуска вагонопотоков и местной работы:

$$e'_j \in E_{ij} \quad (10)$$

– подвода на станцию погрузки j необходимого количества вагонов в соответствии с заявками отправителей по периодам планирования t :

$$\sum_{i=1}^n x(t)'_i = q(t) \quad (11)$$

– неперевышения лимита пропускной и перерабатывающей способности используемых объектов инфраструктуры по периодам планирования t :

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x(t)'_{ij} \leq N_k(t) \quad (12)$$

где k – количество используемых объектов железнодорожной инфраструктуры;

– удовлетворения требованиям отправителя по параметрам и конструкционным особенностям вагона:

$$h'_j \in H_j \quad (13)$$

– достаточности остаточного пробега вагона до планового ремонта для выполнения планируемой перевозки:

$$l_{\text{ост}}^{\text{ваг}} \geq (l_{\text{пор}}^{\text{ост}} + l_{\text{гр}}^{\text{пл}}) \quad (14)$$

где $t_{\text{приб}}^{\text{пл}}$ – предполагаемая дата погрузки или плановое время прибытия вагона под погрузку, час;

$t_{\text{расч}}$ – время расчёта, час;

$t_{\text{рейс}}^{\text{пор}}$ – планируемое время доставки вагона от текущего состояния до станции назначения, час.

e'_j – код станции назначения j порожнего вагона после операции «виртуальная сортировка»;

E_{ij} – допустимые диапазоны кодов станций назначения вагона, зависящие от текущей дислокации i , технологического состояния, плана формирования грузовых поездов, технологии организации местной работы;

$x(t)'_{ij}$ – количество вагонов, следующих со станции i на станцию j после выполнения операции «виртуальная сортировка» по периодам планирования;

$q_j(t)$ – функция спроса на порожние вагоны по станции j по периодам планирования;

$N_k(t)$ – возможности по пропуску или переработке порожних вагонопотоков объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» по периодам планирования;

h'_j – параметры вагона, направленного на станцию j после операции «виртуальная сортировка»;

H_j – множество допустимых параметров вагона для заявки на погрузку по станции j ;

$l_{\text{ост}}^{\text{ваг}}$ – остаточный пробег вагона до планового ремонта, км;

$l_{\text{пор}}^{\text{ост}}$ – расстояние от текущей дислокации вагона до станции погрузки, км;

$l_{\text{гр}}^{\text{пл}}$ – расстояние планируемого грузевого рейса вагона в соответствии с заявкой на погрузку, км.

Планируемое время доставки вагона $t_{\text{рейс}}^{\text{пор}}$ может быть рассчитано по методике, предложенной во 2 и 3 главах.

Перестановка назначений должна производиться в массиве порожних вагонов одного оператора (или консолидированного парка нескольких операторов), принятых к перевозке и не поданных на пути необщего пользования. По сути, это – уточнение распределения вагонов по станциям погрузки с учётом их текущего состояния с целью сокращения расходов ОАО «РЖД» на выполнение перевозки при сортировочной и маневровой работе и сокращения непроизводительных операций с порожними вагонами, возникающих из-за корректировки плана грузовой работы и стохастичности продвижения вагонопотоков.

Учитывая сложность реализации данной технологии, предполагается её реализация в 5 этапов. По итогам реализации всех этапов суммарное сокращение расходов ОАО «РЖД» составит примерно 1,6 млрд. рублей в год, а увеличение доходов от привлечения дополнительных объёмов перевозок – примерно 520 млн. рублей в год за счёт увеличения грузооборота на 0,4%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические и организационные решения по совершенствованию управления парком грузовых вагонов и технологии организации порожних вагонопотоков, имеющие существенное влияние на конкурентоспособность железнодорожного транспорта и развитие транспортной системы страны. Они представлены ниже в виде итогов, рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки.

1. Проведённый анализ зависимости эксплуатационных показателей использования собственных полувагонов от размеров управляемого парка показал наличие значительных резервов в сокращении простоя порожних вагонов в ожидании погрузки. В настоящее время средний простой порожних

вагонов от прибытия до завершения погрузки составляет 62 часа при средней продолжительности всех технологических операций около 8 часов.

2. Исследование зависимости времени порожнего рейса грузовых вагонов от дальности рейса и попытка аппроксимации данной зависимости теоретической функцией показали высокую стохастичность процесса. Например, при дальности рейса 1000 км время рейса находится в диапазоне от 1 до 10 суток. Данный факт не позволяет рассматривать планируемое время прибытия вагона и, соответственно, расходы на вагонную составляющую в порожнем рейсе как детерминированное значение.

3. Аппроксимирована плотность вероятности отклонения времени рейса от ожидаемого для различных поясов дальности с помощью семейства гамма-распределений. При этом среднеквадратичное отклонение времени рейса составляет 1,3 суток. Определены коэффициенты надёжности обеспечения погрузки порожними вагонами при различных значениях запаса времени порожнего рейса.

4. Разработана методика, позволяющая определять рациональные значения времени планируемого порожнего рейса грузовых вагонов, при которых достигаются наименьшие ожидаемые непроизводительные расходы. Учитывается мощность прибывающего порожнего вагонопотока и возможность произвольного вида функции потерь при позднем прибытии вагонов, что позволяет учитывать технологические особенности грузополучателя. Данные параметры являются входными данными для решения задачи распределения порожних вагонов между потребителями.

5. На основании выполненных исследований сформулированы предложения организационного и технологического характера, позволяющие повысить эффективность использования парка грузовых вагонов за счёт частичного сокращения влияния фактора неопределённости на процесс обеспечения погрузки. Это обеспечивается, в том числе, сокращением независимо управляемых друг от друга парков однотипных вагонов и созданием экономических условий для оперативного перераспределения порожних вагонопотоков в регионах погрузки.

6. Разработаны критерии для разработки и внедрения технологии виртуальной сортировки порожних вагонов в пути следования, которая позволит сократить объёмы сортировочной и маневровой работы на станциях переработки и погрузки за счёт оптимизации подбора электронных документов на порожние вагоны одного типа, а также ускорить оборот вагонов за счёт оперативного перераспределения порожних вагонов под заявки на погрузку.

7. Предложено осуществлять нормирование эксплуатационных показателей работы парка грузовых вагонов в условиях наличия неопределённости, включая нормирование резерва вагонов в местах погрузки. В частности, формула расчёта нормы оборота вагона на полигоне железной дороги дополнена учётом простоя в страховом резерве.

8. Осуществлено внедрение представленных разработок в АО «ПГК» в бизнес-процессах нормирования и планирования работы парка вагонов, что

позволило ускорить оборот вагонов, подтвердить теоретические положения выполненной работы и получить существенный экономический эффект.

Перспективы разработки и внедрения технологии виртуальной сортировки вагонов рассмотрены в ОАО «РЖД» установленным порядком. Планируется включение данной работы в план работ на 2020 и последующие годы.

9. Результаты исследований внедрены в учебный процесс факультета «Управление процессами перевозок», на кафедре «Эксплуатация железных дорог» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» по дисциплинам «Управление эксплуатационной работой», «Технология управления движением на дорожном и сетевом уровнях», при разработке выпускных квалификационных работ для студентов специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», направления подготовки бакалавриата 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях:

1. Елисеев, С. Ю. Управлению парками транспортных компаний - логистические принципы [текст] / Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 10. – С. 62-65.
2. Елисеев, С. Ю. Основные факторы, влияющие на эффективность использования грузовых вагонов [текст] / Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 1. – С. 13-18.
3. Елисеев, С. Ю. Как сократить динамические резервы вагонов на станции погрузки? [текст] / Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. – М: Наука и техника транспорта. – 2016. – № 2. – С. 94-99.
4. Шатохин, А. А. Логистические принципы эффективного взаимодействия операторов подвижного состава и грузовладельцев [Текст] / А. А. Шатохин // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 1. – С.79–87.
5. Елисеев, С. Ю. Методы сокращения простоя грузовых вагонов в ожидании погрузки [Текст] / А. А. Шатохин, С. Ю. Елисеев // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 3. – С. 42–44.
6. Елисеев, С. Ю. Как сократить простои грузовых вагонов в ожидании погрузки? [текст] / Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. – М: Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 3 (64). – С. 166-175.
7. Елисеев, С. Ю. Анализ наличия резервов повышения производительности использования полувагонов [Текст] / А. А. Шатохин, С. Ю. Елисеев // Бюллетень транспортной информации. – 2017. – № 10. – С. 11–15.
8. Харитонов, А. В. Анализ проблемы неравномерности прибытия вагонопотоков на технические станции [Текст] / Шатохин А. А., Харитонов А. В., Биленко Г. М., Буракова А. В. // Железнодорожный транспорт. – 2019. - № 4. – С. 20-23.

Статьи в других изданиях:

9. Елисеев С. Ю. Эффективное использование собственных вагонов транспортных компаний на логистических принципах [текст] / Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. // Вестник транспорта. – 2014. – № 5. – С. 21-27.

10. Елисеев С. Ю. Основные рыночные факторы, влияющие на эффективность использования вагонов [текст] / Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. – М: Экономика железных дорог. – 2015. – № 4. – С. 82-87.

11. Шатохин, А. А. Эффективное взаимодействие операторов подвижного состава и грузовладельцев [Текст] / С. Ю. Елисеев, А. А. Шатохин // Экономика железных дорог. – 2015. – № 8. – С. 32–42.

Шатохин Андрей Андреевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В КОНКУРЕНТНОЙ СРЕДЕ

05.22.08 – Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать «__» ____ 2019г. Заказ № ____ Формат 60x90/16

Объём 1,5 усл. п.л.

Тираж 80 экз.

УПЦ ГИ РУТ (МИИТ), Москва, 127994, ул. Образцова, д.9, стр. 9