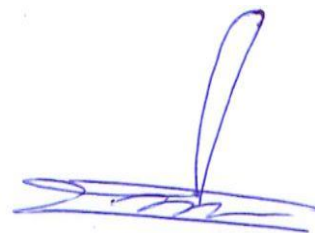


На правах рукописи



АКУЛОВ АНТОН МИХАЙЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗОК МЕЛКИХ
ОТПРАВОК СБОРНЫМИ КРУПНОТОННАЖНЫМИ
КОНТЕЙНЕРАМИ В МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЯХ**

Специальность 05.22.01. – Транспортные и транспортно-технологические
системы страны, ее регионов и городов, организация производства на
транспорте

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения (МГУПС (МИИТ))» на кафедре «Коммерческая эксплуатация транспорта и тарифы».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
РЕЗЕР Семен Моисеевич

Официальные оппоненты: **МИРОТИН Леонид Борисович**

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», кафедра «Менеджмент», профессор

КОЛИК Александр Вениаминович

кандидат технических наук, доцент, федеральное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)», кафедра «Управление логистической инфраструктурой», профессор

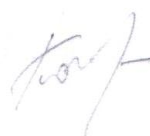
Ведущая организация – Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ВНИИЖТ).

Защита состоится «06» ноября 2013 года в 13.00 на заседании диссертационного совета Д.218.005.09 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МГУПС (МИИТ)) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9, ауд. 1235.

Автореферат разослан «04» октября 2013 года.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУПС (МИИТ).

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Козырев
Валентин Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Новые подходы в сфере контейнерных перевозок, связанные с проводимой реформой и Стратегией развития железнодорожного транспорта до 2030 года, влияют на методологию работы сектора в данной сфере и требуют совершенствования технологий работы в прямом и мультимодальном сообщениях.

Постепенный вывод из оперирования парка среднетоннажных контейнеров (далее СТК) имеет ряд объективных причин: высокий уровень износа парка СТК, высокие операционные расходы, низкая рентабельность для оператора, усложнившаяся методика управления и технологическое отставание от мировых тенденций развития рынка мультимодальных перевозок. Вместе с тем нет альтернативных решений, способных освоить грузовую базу, ранее перевозившуюся в СТК. Требуется вывести на новый качественный уровень интегрированность железнодорожного транспорта в логистические цепи перевозки грузов мелкими отправками (далее МО) с участием автомобильного и других видов транспорта в мультимодальном сообщении, так как использование СТК уже не обеспечивает полноту, своевременность и надежность доставки грузов.

Представленное диссертационное исследование направлено на комплексное решение актуальной проблемы совершенствования технологии перевозок МО в мультимодальном сообщении, а также на повышение эффективности функционирования контейнерной транспортной системы страны путем создания технологии формирования сборных крупнотоннажных контейнеров (далее - сборный КТК) на основе математического моделирования. Термин «сборный КТК» описывает контейнер, сформированный из МО от различных грузоотправителей.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности перевозок МО на основе разработки логистической технологии формирования сборных крупнотоннажных контейнеров при взаимодействии железнодорожного и автомобильного видов транспорта в мультимодальных сообщениях.

Объект исследования – система доставки МО в КТК в мультимодальных сообщениях.

Предмет исследования – научно-методическая разработка технологии перевозок МО в КТК и оценка эффективности ее функционирования.

Диссертационное исследование соответствует п. 1, п. 3 и п. 4 паспорта специальности 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте.

Для достижения поставленной цели в диссертации рассматриваются и решаются следующие **задачи**:

- анализ современного состояния систем и технологии перевозок грузов в СТК/КТК в России и за рубежом в мультимодальных сообщениях;
- разработка технологии организации перевозок МО в сборных КТК в мультимодальных сообщениях;
- разработка математической модели и методов оптимизации перевозок МО в сборных КТК;
- алгоритмизация разрабатываемой технологии с помощью программного обеспечения;
- апробация предложенной модели оптимизации перевозок МО на основании имитационного моделирования с использованием реальных входных данных по ст. Москва-Тов. - Павелецкая;
- определение эффективности использования разрабатываемой технологии для участников транспортных процессов.

Методология и методы диссертационного исследования основаны на теории организации производства, научных принципах математического и экономического анализа, а также теоретических и практических подходах к моделированию транспортных потоков.

Степень разработанности темы показывает анализ выполненных диссертационных работ по данному направлению, а также работ по логистике Б.А. Левина, В.И. Апатцева, С.М. Резера, В.И. Галахова, Л.Н. Матюшина, А.Н. Кузнецовой, А.С. Шапкина, О.Е. Фарафоновой, Л.Б. Миротина, А.Г. Кирилловой, А.Е. Капитонова, П.В. Куренкова, В.А. Шарова, П.В. Баскакова, В.В. Багиновой; по терминальной обработке Т.Г. Сергеевой, Т.Г. Янковской, Ю.В. Коровяковской, Р.Н. Паршиной, В.М. Николашина; по перевозке тарно-штучных грузов В.Н. Кустова, В.Н. Зиновского; по решению задач планирования и оптимизации С.В. Дуваляна, Ю.О. Пазойского, А.Н. Авдеева; по информатизации А.В. Кутыркина, Э.А. Мамаева и ряда других ученых в области развития транспортных систем перевозок грузов.

Научная новизна. Научная новизна представленной диссертационной работы заключается в следующем:

- разработаны научные методы построения технологии перевозок мелких отправок сборными крупнотоннажными контейнерами с учетом отечественного и зарубежного опыта в составе транспортной системы страны;
- представлена математическая модель оптимизации перевозки мелких отправок сборными крупнотоннажными контейнерами на основе методов целочисленного линейного программирования;
- разработан алгоритм реализации перехода от среднетоннажных к сборным крупнотоннажным контейнерам на основе имитационного моделирования;
- предложена усовершенствованная технология документооборота при перевозках МО в КТК;
- разработаны методики расчетов эффективности перевозок МО в сборных КТК для экспедитора, оператора и перевозчика.

Теоретическая значимость для науки состоит в следующем:

- разработаны математическая модель и алгоритм оптимальной перевозки МО в КТК на основе методов целочисленного линейного программирования;
- разработан алгоритм построения грузопотоков для имитационного моделирования;
- представлен сравнительный анализ результатов перехода от СТК к сборным КТК;
- предложены методики расчетов для определения экономической эффективности от представленной технологии для грузовладельца/экспедитора, оператора и перевозчика.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в разработке эффективной комплексной технологии по организации сборных контейнеров с МО и их включению в состав маршрутных контейнерных поездов на базе математической модели перевозки МО в сборных КТК, а также модели поиска оптимальных решений при формировании и отправлении контейнеров, алгоритма имитационного моделирования, программного обеспечения для решения задач при планировании, формировании и перевозке МО и методов расчета эффективности

предложенных методик для решения существующих проблем контейнерного бизнеса в России.

Разработанные в результате исследования технология, теоретические и практические рекомендации были реализованы в таких компаниях, как ОАО «Трансконтейнер», ОАО «РЖД Логистика» и ООО «А-Транс», о чем свидетельствуют справки о внедрении.

Положения, выносимые на защиту:

- технология организации перевозок МО сборными КТК в мультимодальных сообщениях при взаимодействии железнодорожного и автомобильного транспорта с использованием маршрутных контейнерных поездов (на примере восьми рассматриваемых направлений перевозок МО);
- математическая модель оптимизации перевозки МО в сборных КТК на основе методов целочисленного линейного программирования, что позволяет повысить эффективность работы различных видов транспорта в процессе доставки сборных грузов;
- алгоритм анализа результатов реализации предложенной технологии перехода от СТК к сборным КТК на основе имитационного моделирования;
- методики оценки эффективности перевозки МО в сборных КТК, перевозимых маршрутными поездами, для оператора, экспедитора и управляющего инфраструктурой, а также перевозчика.

Степень достоверности выдвигаемых в диссертационной работе научных положений и выводов подтверждается:

- использованием в качестве методологической основы исследования теории управления процессами перевозок, научных принципов математического и экономического анализа;
- корректностью применения апробированного математического аппарата, теории логистики и экономических методов расчета эффективности;
- анализом отечественных и зарубежных трудов в области контейнерных перевозок МО и логистики;
- внедрением основных результатов исследования в работе ОАО «Трансконтейнер», ОАО «РЖД Логистика» и ООО «А-Транс».

Личный вклад соискателя. Основные результаты выполненной диссертационной работы, методы и модели, выносимые на защиту, получены

автором самостоятельно в ходе теоретических разработок и экспериментальной практической апробации.

Апробация исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на научном семинаре ВИНТИ РАН (Москва, 2011 г.), на конференции по контейнерным перевозкам НП «Гильдия экспедиторов» (Москва, 2011 г.), на заседании группы по комбинированным перевозкам Международного союза железных дорог (МСЖД) (Париж, 2011 г.), на 20-м пленарном заседании Координационного совета по транссибирским перевозкам (КСТП) (Одесса, 2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 167 наименований и семи приложений. Общий объем работы 226 страниц основного текста, в том числе 14 рисунков и 21 таблица, а также приложения на 55 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель, задачи и объект исследования, показаны научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе «Анализ систем организации перевозок мелких отправок» приведен подробный анализ существующих технологий перевозок МО в мультимодальном сообщении при взаимодействии железнодорожного и автомобильного транспорта. В работе за МО принимается мелкая партия груза с массой места в пределах от 20 до 1500 кг, для перевозки которой не требуется предоставление отдельного контейнера. Проведенный анализ теории и практики показал, что существующая технология перевозки грузов в СТК устарела и не обеспечивает безопасность и сохранность грузов.

Большой объем работ по накоплению, пакетированию, маркировке, креплению, формированию и транспортировке МО позволяет оценить потенциал для новых исследований в области их перевозки в контейнерах. На практике попытки внедрения в обращение сборных КТК были и раньше, однако во многом задача осложнялась организационной структурой отрасли железнодорожного транспорта и отсутствием необходимой научно обоснованной технологии формирования МО в КТК.

На сегодняшний день в России существует несколько способов перевозки МО в мультимодальном сообщении (с использованием автомобильного и железнодорожного транспорта): в СТК, в крытых вагонах в составе грузовых поездов и в почтово-багажных вагонах. Анализ статистических данных о перевозках грузов в крытом подвижном составе и в СТК показывает снижение объема грузоперевозок (рис. 1 и рис. 2).

Анализ перевозок грузов в почтово-багажных вагонах выявляет факт не эффективной для целей логистики маршрутной сети, вызванной обязательством перевозить багаж пассажиров, а также предпосылки к появлению дефицита вагонного парка к 2015 году и далее.

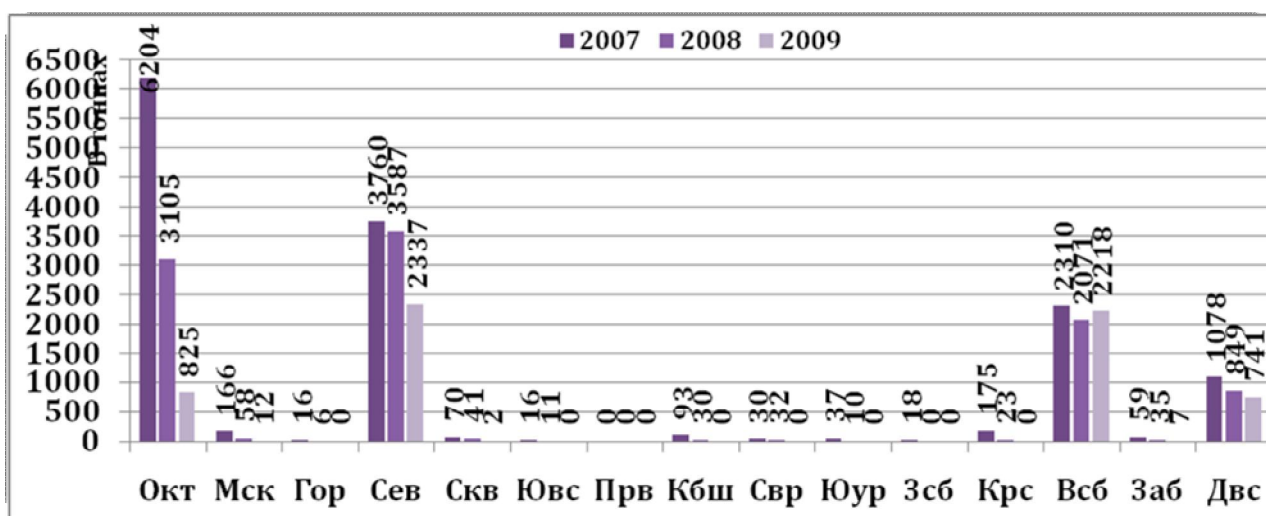


Рис. 1. Динамика перевозок МО в вагонах за 2007/2008/2009 г.

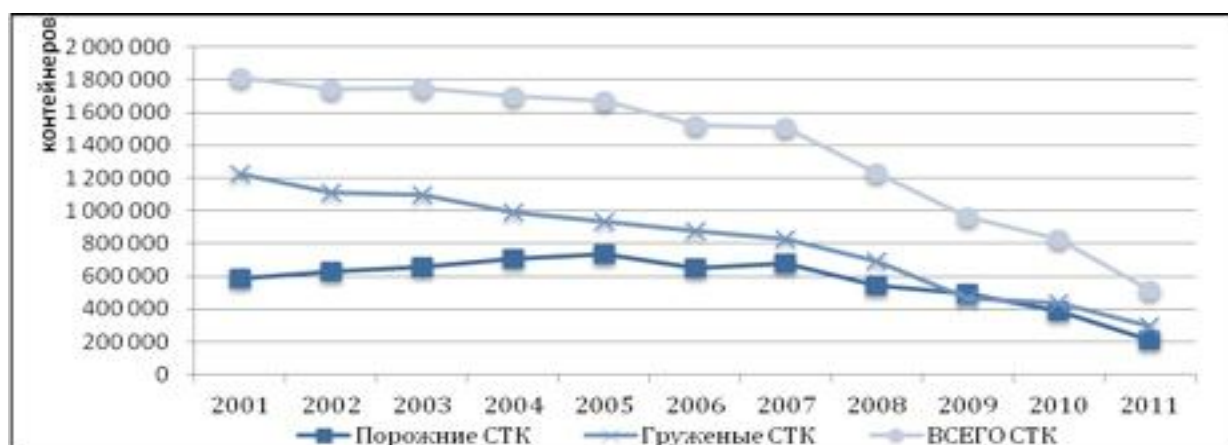


Рис. 2. Динамика перевозок среднетоннажных контейнеров

Включение железнодорожного транспорта в логистические схемы перевозки МО подтверждает необходимость совершенствования и внедрения прогрессивных технологий, способных комплексно решать задачи, возникающие в ходе реформы железнодорожного сектора. В диссертации предлагается технология включения

сборных КТК в состав маршрутных поездов для повышения качества обслуживания клиентов и ускорения доставки грузов МО.

Важным результатом использования технологии по формированию сборных КТК в мультимодальном сообщении является повышение эффективности использования инфраструктуры железнодорожного транспорта различного типа.

Во второй главе «Исследование зарубежного опыта перевозок мелких отправок в транспортной системе» проведен анализ зарубежного опыта по грузоперевозкам на железнодорожном и автомобильном транспорте, а также в мультимодальном сообщении (использование двух и более видов транспорта). В результате анализа выявлено, что с 1995 г. рост производительности железнодорожного транспорта при перевозке МО практически отсутствует, в то время как автомобильный и морской транспорт демонстрируют уверенный рост. Доля перевозки МО железнодорожным транспортом по территории Европы незначительная и составляет не более 3% от общего объема, в то время как доля автомобильного и авиационного транспорта составляет 70 и 17% соответственно.

Проведение за рубежом реформы железнодорожного транспорта и разделение перевозочной деятельности и инфраструктуры значительно осложнило положение сектора на рынке грузоперевозок.

Ключевым отличием мультимодальных перевозок грузов в Европе являются бизнес-модели организации взаимодействия между владельцами/управляющими инфраструктурой, перевозчиками, операторами подвижного состава и экспедиторами. Существуют три основные модели взаимодействия:

1. Стандартная модель организации интермодальной перевозки;
2. Перевозчик выступает в роли оператора;
3. Логистический провайдер выступает в роли оператора.

Каждая модель определяет степень ответственности участника процесса перевозок (перевозчик, экспедитор, оператор терминала, интермодальный оператор), уровень контроля и финансовые риски. Согласно анализу, проведенному среди заинтересованных в консолидации МО грузоотправителей и экспедиторов, на практике ответственным за развитие консолидации может являться оператор терминала или экспедитор.

В России существует возможность организации аналогичных конкурентных моделей технологий работы по перевозке МО в сборных КТК, однако требуется установление прозрачных и взаимовыгодных договорных отношений в связи с высокой степенью сегментированности субъектов в составе холдинга ОАО «РЖД».

В качестве универсального решения для российского рынка предлагается стандартная модель организации мультимодальной перевозки, при которой экспедитор организует накопление и формирование сборных КТК на основе субагентских контрактов. Для укрупнения отправок от нескольких экспедиторов (в целях ускорения накопления МО для формирования сборных КТК), организацией данного процесса может выступать общественная организация, например НП «Гильдия экспедиторов». Вместе с тем предлагается рассмотреть целесообразность создания экспедиторской компании при Центральной дирекции ОАО «РЖД» по управлению терминально-складскими комплексом для эффективной работы существующих активов субъекта, расположенных по всей сети железных дорог России.

В третьей главе «Математическое моделирование и построение алгоритма оптимальных перевозок мелких отправок сборными крупнотоннажными контейнерами (КТК) в мультимодальных сообщениях» представлена технология перевозок МО сборными КТК в мультимодальном сообщении и разработана математическая модель, на основе которой сформулирована задача оптимизации, решаемая методами целочисленного линейного программирования. Данная задача еще не привлекала к себе внимание специалистов и остается неисследованной современными математическими методами.

На рис. 3 представлена система доставки по предлагаемой технологии. В рамках данной системы ответственность за формирование сборного контейнера возлагается на экспедитора на основании договора с клиентом о предоставлении экспедиторских услуг. Грузы доставляются на логистический терминал автомобильным транспортом. Контейнер предъявляется к перевозке экспедитором как контейнерная отправка и перевозится в составе маршрутных поездов. На станции назначения происходит выдача контейнера экспедитору или субагенту, который обязан осуществить предоставление услуг по расформированию сборного контейнера и выдачу МО конечным получателям. Доставка груза осуществляется автомобильным транспортом силами экспедитора или получателя. В зависимости от типа экспедитора система может быть модифицирована, однако принцип предложенной технологии остается неизменным. Также в работе представлена система документооборота до и после внедрения технологии.

Данная технология призвана отвечать принципам логистики как для материального, так и для информационного потоков. Возможность определения точного времени следования железнодорожным транспортом позволяет включать

его в систему материально-технического обеспечения в рамках программ по бережливому производству и открывать новые сегменты рынка для сектора перевозок грузов в контейнерах в мультимодальном сообщении.



Рис. 3 Система доставки мелких отправок в крупнотоннажных контейнерах в мультимодальном сообщении

Процесс перемещения МО в предлагаемой системе имеет свойства потока, обладающего набором характеристик, который может быть исследован математическими методами. Общее математическое отображение технологических параметров позволяет научно сформулировать задачу.

В качестве математического аппарата выбрано целочисленное линейное программирование, а выбранным методом решения задачи является метод ветвей и границ. Предлагаемая ниже модель описывает принятие решений на ежедневной основе.

Принимаемые решения касаются оптимизации перевозок грузов и сборных контейнеров. Решения, касающиеся груза, заключаются в их погрузке и отправлении по назначению в контейнере или оставлении на складе до следующего дня отправления. Решения, касающиеся сборного контейнера, заключаются в загрузке контейнера грузами и отправлении по запланированному направлению, в загрузке контейнера грузами и отправлении по иному направлению либо оставлении контейнера для отправления в другой день.

Вышеописанные решения должны оптимизировать целевую функцию. Целевой функцией в данной модели является прибыль от деятельности экспедитора, которая понимается как доходы экспедитора минус расходы экспедитора, и данная целевая функция должна быть максимизирована.

Доходы складываются из средств, полученных от клиентов за доставку грузов. Доходы за каждый груз пропорциональны его массе, а коэффициент пропорциональности зависит от расстояния перевозки.

Расходы складываются из средств, потраченных на заказ, обработку и отправку контейнеров, дополнительной платы за их ожидание или изменение направления отправки (если необходимо), расходов на пакетирование и погрузку грузов, а также расходов, возникших из-за ожидания грузов на складе.

Пусть всего имеется N направлений для отправки грузов МО. Номер направления обозначается через n или m . Для предлагаемого ниже алгоритма также вводится константа Q , которая превышает максимально возможное количество грузов на складе пункта отправления.

На контейнерном терминале имеются контейнеры, предназначенные для отправки по разным направлениям. Количество контейнеров, предназначенных для отправки по направлению номер n , будем обозначать через k_n .

Контейнеры, предназначенные для отправления по каждому из направлений, пронумерованы. Таким образом, каждый контейнер описывается парой чисел (n, k) , где n – номер направления, для отправления по которому данный контейнер заказывался, а k – номер данного контейнера среди всех контейнеров, предназначенных для отправления по направлению номер n . Очевидно, что n изменяется от единицы до N , а k от единицы до k_n .

На складах терминала имеются также грузы МО, предназначенные для отправки по разным направлениям. За единицу груза принимается груз, сформированный в пакетах. Количество единиц груза, предназначенных для отправки по направлению номер n , обозначается через g_n .

Грузы, предназначенные для отправления по каждому из направлений, пронумерованы. Таким образом, каждый груз описывается парой чисел (n, g) , где n – номер направления, по которому данный груз должен быть отправлен, а g – номер данного груза среди всех грузов, предназначенных для отправления по направлению номер n . Ясно, что n изменяется от единицы до N , а g - от единицы до g_n .

Для математического описания принимаемых решений введены два набора переменных.

Переменная $G_{n,g,m,k}$ равна единице, если груз номер (n, g) грузят в контейнер номер (m, k) , и равна нулю - в противном случае. Индексы n и m принимают все

целые значения от единицы до N , переменная g - все значения от единицы до g_n , а переменная k_n - все значения от единицы до k_m .

Переменная $w_{n,g}$ равна единице, если груз номер (n,g) остается ждать на складе следующего дня, и равна нулю - в противном случае.

Так как каждый груз можно либо погрузить ровно в один контейнер, либо оставить в ожидании, данные переменные не являются независимыми, между ними существует набор условий вида

$$\sum_{\substack{m=1,\dots,N, \\ k=1,\dots,k_m}} G_{n,g,m,k} + w_{n,g} = 1, \text{ где } n=1,\dots,N, \ g=1,\dots,g_n. \quad (1)$$

Кроме того, есть естественные ограничения вместимости контейнеров. Во-первых, суммарная масса грузов, помещенных в контейнер, не может превышать его грузоподъемности. Это дает набор условий вида

$$\sum_{\substack{n=1,\dots,N, \\ g=1,\dots,g_n}} m_{n,g} G_{n,g,m,k} \leq M_{\max}, \text{ где } m=1,\dots,N, \ k=1,\dots,k_n. \quad (2)$$

Во-вторых, очевидно, что суммарный объём грузов не может превышать объём контейнера. Введем некоторый поправочный коэффициент q , равный доле наполненности контейнера по объёму, при котором использование контейнера считается эффективным. Например, $q=0,85$ означает заполнение контейнера на 85% по объёму и используется эффективно. С учетом данного поправочного коэффициента условие на вместимость контейнеров по объёму принимает вид

$$\sum_{\substack{n=1,\dots,N, \\ g=1,\dots,g_n}} v_{n,g} G_{n,g,m,k} \leq qV_{\max}, \text{ где } m=1,\dots,N, \ k=1,\dots,k_n. \quad (3)$$

Данные условия не являются полным набором условия на принятие решения по отправке грузов. Необходимо контролировать загрузку контейнера только грузами, предназначенными для отправки только по одному и тому же направлению.

Введем дополнительные наборы переменных $u_{m,k,n}$ и $W_{m,k}$. Переменная $u_{m,k,n}$ равна единице, если контейнер номер (m,k) отправляется по направлению номер n , и равна нулю - в противном случае. Индексы m и n принимают здесь значения от единицы до N , а k - от единицы до k_m .

Переменная $W_{m,k}$ равна единице, если контейнер номер (m,k) остается в ожидании до следующего дня, и равна нулю - в противном случае.

Так как контейнер может отправиться только по одному направлению или остаться в ожидании, то возникает набор естественных условий

$$\sum_{n=1, \dots, N} u_{m,k,n} + W_{m,k} = 1, \text{ где } m=1, \dots, N, \quad k=1, \dots, k_n. \quad (4)$$

Сложной задачей является установление связи между дополнительными переменными $u_{m,k,n}$ и решениями на погрузку $G_{n,g,m,k}$. Это осуществлено с помощью двух наборов условий. Первый набор имеет вид

$$\sum_{g=1, \dots, g_n} G_{n,g,m,k} \leq Q u_{m,k,n}, \text{ где } n,m=1, \dots, N, \quad k=1, \dots, k_m. \quad (5)$$

Второй набор имеет вид

$$\sum_{g=1, \dots, g_n} G_{n,g,m,k} \geq u_{m,k,n}, \text{ где } n,m=1, \dots, N, \quad k=1, \dots, k_n. \quad (6)$$

Величина $\sum_{g=1, \dots, g_n} G_{n,g,m,k}$ равна нулю, если ни один из грузов, предназначенных

для отправления по направлению номер n , не погружен в контейнер номер (m,k) , и ≥ 1 в противном случае. Так как Q по своему определению превышает общее количество грузов в системе, то первый набор условий показывает, что если хотя бы один из грузов, предназначенный для отправления по направлению номер n , погружен в контейнер номер (m,k) , то $u_{m,k,n} = 1$, то есть контейнер номер (m,k) должен отправляться по этому направлению. Второй же набор условий показывает, что если ни один из грузов, предназначенных для отправления по направлению номер n , не погружен в контейнер номер (m,k) , то $u_{m,k,n} = 0$, то есть контейнер номер (m,k) не должен отправляться по этому направлению.

Необходимо также ввести условия, ограничивающие время ожидания грузами отправления на складе максимально допустимым временем ожидания

$$t_{n,g} w_{n,g} \leq T_{\max}, \text{ где } n=1, \dots, N, \quad g=1, \dots, g_n. \quad (7)$$

Кроме этого, среди принимаемых решений есть также решение о количестве контейнеров, которое необходимо заказать на следующий день. Пусть K_m обозначает количество контейнеров, которое необходимо заказать на следующий день для отправки по направлению номер m . Точное количество необходимых контейнеров на следующий день неизвестно, однако можно определить количество контейнеров, переходящих на следующий день с текущего дня. Исходя из этого можно применить к величине K_m условия

$$\sum_{g=1, \dots, g_n} m_{n,g} w_{n,g} \leq M_{\max} (K_n + \sum_{k=1, \dots, k_n} W_{n,k}), \quad (8)$$

$$\sum_{g=1, \dots, g_n} v_{n,g} w_{n,g} \leq q V_{\max} (K_n + \sum_{k=1, \dots, k_n} W_{n,k}), \quad (9)$$

где $n = 1, \dots, N$.

Данные условия означают, что для каждого направления номер n количество заказанных на завтра контейнеров K_m плюс количество $\sum_{k=1, \dots, k_n} W_{n,k}$ оставшихся на завтра контейнеров, предназначенных для отправления по направлению номер n , должно вместить оставшиеся грузы данного направления с учетом и массы, и объема.

Задача целочисленного линейного программирования заключается в поиске таких значений переменных $G_{n,g,m,k}$, $w_{n,g}$, $u_{m,k,n}$, $W_{m,k}$, K_m , при которых достигается максимум функции

$$F = \sum_{\substack{n=1, \dots, N, \\ g=1, \dots, g_n}} B_n m_{n,g} \left(\sum_{\substack{m=1, \dots, N, \\ k=1, \dots, k_n}} G_{n,g,m,k} \right) - Z \sum_{n=1, \dots, N} K_n - \sum_{\substack{m=1, \dots, N, \\ k=1, \dots, k_n}} R_n u_{m,k,n} - U \sum_{\substack{n=1, \dots, N, \\ g=1, \dots, g_n, \\ m=1, \dots, N, \\ k=1, \dots, k_m}} G_{n,g,m,k} - H \sum_{\substack{n=1, \dots, N, \\ g=1, \dots, g_n}} w_{n,g} \quad (10)$$

где N - количество контейнеров, $M_{\max}$ - грузоподъемность контейнера, $V_{\max}$ - объем контейнера, $T_{\max}$ - максимальное время ожидания груза, Q - коэффициент загрузки контейнера, k_n - количество контейнеров для отправки по направлению n , g_n - номер груза, $m_{n,g}$ - вес груза, $v_{n,g}$ - объем груза, $t_{n,g}$ - время ожидание груза.

При выполнении вышеуказанных условий (1) - (9) $G_{n,g,m,k}$, $w_{n,g}$, $u_{m,k,n}$, $W_{m,k}$ и K_m целочисленны, $0 \leq G_{n,g,m,k} \leq 1$, $0 \leq w_{n,g} \leq 1$, $0 \leq u_{m,k,n} \leq 1$, $0 \leq W_{m,k} \leq 1$, $0 \leq K_m \leq 1$.

Метод ветвей и границ для решения задач линейного программирования имеет многочисленные высокоэффективные реализации в различных программных средах. В диссертации он реализован в системе компьютерной алгебры Mathematica. К преимуществам данной системы относится то, что язык программирования является языком очень высокого уровня, включающим символьные вычисления, а метод ветвей и границ реализован очень эффективно.

Результаты вычислений программы доступны как в виде оптимальных значений искомых переменных $G_{n,g,m,k}$, $w_{n,g}$, $u_{m,k,n}$, $W_{m,k}$ и K_m , так и в виде выводимого в файл протокола рекомендаций, записанных в легко воспринимаемом виде. Типичный вид такого протокола приведен на рис. 4 (используются данные модельного примера с намеренно небольшим количеством грузов и контейнеров, чтобы сделать пример обозримым).

Оптимальное решение: Грузы с назначением в пункт номер 1: N 1 на погрузку в контейнер (1,1) N 2 на погрузку в контейнер (1,1) N 3 на погрузку в контейнер (1,2) N 4 ожидает Грузы с назначением в пункт номер 2: Контейнеры, заказанные для отправления в пункт номер 1: N 1 отправляется в направлении 1 N 2 отправляется в направлении 1 N 3 ожидает Контейнеры, заказанные для отправления в пункт номер 2: N 1 ожидает Заказ контейнеров на следующий день: количество контейнеров для отправления по направлению N 1: 0 количество контейнеров для отправления по направлению N 2: 1
--

Рис. 4. Протокол рекомендаций

Протокол сообщает, что оптимальным в данной ситуации является упомянутое следующее решение: четыре груза для отправления в пункт назначения 1; три контейнера для отправления в пункт назначения 1; отсутствует грузы для отправления в пункт назначения 2; один контейнер для отправления в пункт назначения 2.

Работа предлагаемого алгоритма представлена в нескольких смоделированных ситуациях. Приведенные примеры являются искусственно созданными, в них намеренно выбрано небольшое количество грузов и контейнеров, чтобы сделать пример обозримым, но при этом продемонстрировать различные черты алгоритма. Приведены примеры следующих решений:

- задержка отправления груза для заполнения контейнера;
- отправка грузов в случае длительного хранения;
- заказ контейнера;
- перенаправление контейнера.

В четвертой главе «Сравнительный анализ результатов перехода от среднетоннажных контейнеров к сборным крупнотоннажным контейнерам на основе имитационного моделирования» исследованы результаты перехода от СТК к сборным КТК на основе статистического анализа фактических данных о грузоперевозках со станции Москва-Товарная - Павелецкая по восьми направлениям (Благовещенск, Клевиха, Красноярск, Нов. Уренгой, Сургут, Усинск, Хабаровск,

Чита-1) за период с 1 января по 31 июня 2010 года, на основании которого предложена вероятностная модель грузопотоков по данным направлениям. На основе полученных сведений о вероятностном распределении грузоперевозок сформирован массив имитаций грузопотока по данным направлениям.

Ввиду большого объема фактической информации о грузоперевозках за первое полугодие 2010 г., в качестве исходного материала используются сводные таблицы данных:

- сведения о распределении отправляемых грузов по массе;
- средняя плотность различных видов грузов;
- суммарный вес каждой группы грузов и соответствующие частоты;
- сведения о фактическом количестве отправленных СТК по восьми выбранным для исследования направлениям;
- количество контейнеров, отправленных за изучаемый период по каждому из восьми направлений и соответствующие частоты;
- тариф, взимаемый с грузоотправителей за перевозку 1 кг груза по каждому направлению;
- расход R_n на отправление контейнера по каждому из направлений;
- распределение массы места груза, используемое для моделирования.

Исходя из полученных данных предлагается следующий алгоритм.

За исследуемый период по восьми изучаемым направлениям было отправлено $N_{\text{грузы}} = 344880$ мест грузов, в среднем в день отправляется $D=1916$ мест грузов. Для имитационного моделирования в течение 180 дней формируется поток из 1916 мест грузов G_i , $i=1, \dots, 1916$, ежедневно. Так как каждый груз характеризуется массой, объемом и пунктом назначения, то величина G_i является тройкой (M_i, V_i, D_i) , где M_i - масса данного груза, V_i - объем данного груза, а D_i - номер пункта назначения данного груза. Для каждого из этих грузов их характеристики выбираются псевдослучайным образом на основе соответствующих вероятностных распределений.

В качестве значения массы будет выбираться середина соответствующего интервала массы. Таким образом, масса грузов будет считаться дискретной случайной величиной.

Объем V_i каждого груза будет рассчитываться как отношение найденной выше массы и плотности ρ_i данного груза:

$$V_i = \frac{M_i}{\rho_i}, \quad (11)$$

при этом плотность тоже будет определяться псевдослучайным образом на основе своего вероятностного распределения. Сначала определяется тип груза на основе статистических данных распределения грузов по типу, а вероятность предъявления к перевозке какого-либо из видов грузов (по массе) будет считаться равной соответствующей частоте. Далее с помощью соответствующей данному типу груза плотности будет рассчитываться объем данного груза по указанной выше формуле (11).

Далее каждому грузу приписан номер пункта назначения D_i . Это производится псевдослучайным образом в соответствии с эмпирическим распределением, вероятности в котором равны частотам количества контейнеров, отправленных по изучаемым направлениям.

В результате имитационного моделирования (10 моделирований с последующим усреднением и округлением числа контейнеров до целых чисел) получаем, что в среднем при переходе от СТК к КТК за исследуемый период понадобилось бы 242 КТК против 1942 СТК, использовавшихся фактически. Распределение контейнеров по направлениям приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Прогнозируемое количество 20-футовых контейнеров для отправки грузов

Номер направления	Направление	Прогнозируемое число 20-фт. контейнеров
1	Благовещенск	36
2	Клещиха	36
3	Красноярск	30
4	Нов. Уренгой	26
5	Сургут	26
6	Усинск	26
7	Хабаровск	26
8	Чита-1	36

В пятой главе «Методы оценки эффективности перевозок мелких отправок сборными крупнотоннажными контейнерами» приведена методика расчета экономической эффективности, построенная на основе системного анализа технологии перевозочного процесса и технико-экономических результатов от консолидации МО с учетом эффектов и затрат, возникающих у участников

перевозочного процесса (оператора подвижного состава, грузовладельца/экспедитора, перевозчика-управляющего инфраструктурой). Эффекты и расходы приведены к одному году, кроме инвестиционных затрат (приобретение локомотивов, фитинговых платформ, контейнеров), которые являются единовременными. Все расчеты сведены в таблицы, характеризующие чистый дисконтированный доход для участников процесса перевозки.

Для **оператора** эффект рассчитан исходя из сокращения объема документооборота - формулы (12), (13), улучшения использования подвижного состава - формулы (14) – (18) и развития дополнительного сервиса - формулы (19) – (22), а также расходов на закупку фитинговых платформ - формулы (23) – (26).

$$\mathcal{E}_3 = \frac{T_3(N_1 - N_0) \cdot Z_{оп} \cdot 12(1 + H_{ECH})}{H}, \quad (12)$$

где T_3 – время, необходимое для формирования заявки, ч.; N_0 – годовое число заявок до проведения консолидации, ед.; N_1 – годовое число заявок после проведения консолидации, ед.; $Z_{оп}$ – среднемесячная заработная плата работника, занятого оформлением заявок в компании-операторе, руб.; 12 – число месяцев в году; H_{ECH} – ставка единого социального налога, в долях единицы от фонда оплаты труда; H – годовой фонд рабочего времени одного работника, ч.;

$$\mathcal{E}_d = \frac{(N_1 - N_0) \cdot (T_o Z_{оп1} + T_{co} Z_{оп2} + T_{ch} Z_{оп3}) \cdot 12(1 + H_{ECH})}{H}, \quad (13)$$

$$\Delta n_B = \frac{P_{сут}}{P_{пв}} O_B, \quad (14)$$

где T_o – время, необходимое для оформления перевозочных документов, ч.; T_{co} , T_{ch} – время, необходимое для обработки перевозочных документов на станции отправления и станции назначения соответственно, ч.; $Z_{оп1}$, $Z_{оп2}$, $Z_{оп3}$ – среднемесячная заработная плата работников, занятых оформлением и обработкой перевозочных документов в компании-операторе (товарный кассир, приемосдатчик), руб.; $P_{сут}$ – суточный объем погрузки, т; $P_{пв}$ – статическая нагрузка полувагона при загрузке среднетоннажными контейнерами, т; O_B – среднее время оборота вагона, сут.;

$$\sum Pl_{доп} = 365 \Delta n_B P_d S_B (1 - \alpha_{общ}) \quad (15)$$

где Δn_B – экономия вагонного парка, физ. ваг.; P_d – динамическая нагрузка полувагона при загрузке среднетоннажными контейнерами, т; S_B – среднесуточный пробег вагона на сети или дороге, км/сут.; $\alpha_{общ}$ – доля порожнего пробега в общем пробеге.

$$П_{доп.оп} = (d_{ваг} \Delta n_{доп} - \sum Pl_{доп} C_{оп}) (1 - H_{п}) / 10, \quad (16)$$

где $d_{ваг}$ – доходная ставка в части вагонной составляющей, руб./ваг.; $\Delta n_{доп}$ – дополнительный объем перевозок, ваг.; $\sum Pl_{доп}$ – дополнительный грузооборот, т.км нетто; $C_{оп}$ – себестоимость перевозки, относимая на оператора, руб./10 т.км; $H_{п}$ – ставка налога на прибыль, дол. ед.;

$$\mathcal{E}_{п} = \sum (N_o - N_1) \cdot C_{опi}, \quad (17)$$

$$\mathcal{E}_{пп} = \Delta nt \cdot C_{nt}, \quad (18)$$

$$\mathcal{E}_{дy} = \sum N_i P_{опi}, \quad (19)$$

где $C_{опi}$ – стоимость выполнения операций i -й категории оператором (пломбирование и технический/коммерческий осмотр), руб.; Δnt – экономия вагоно-часов в год; c_{nt} – стоимость одного вагоно-часа, руб.; N_i – число оказанных за год дополнительных услуг i -го вида; $P_{опi}$ – прибыль оператора от оказания услуги i -го вида, руб;

$$П_{доп.оп1} = (d_{оп} \Delta n_{доп1} - \sum Pl_{доп1} C_{оп}) (1 - H_{п}) / 10, \quad (20)$$

где $d_{оп}$ – доходная ставка оператора, руб./ваг.; $\Delta n_{доп1}$ – дополнительный объем перевозок за год, ваг.; $\sum Pl_{доп1}$ – дополнительный годовой грузооборот, т.км нетто; $C_{оп}$ – себестоимость перевозки, относимая на оператора, руб./10 т.км;

$$\mathcal{E}_{лц.оп} = \sum Pl \cdot П_{y.оп} (1 - H_{п}), \quad (21)$$

где $\sum Pl$ – грузооборот нетто, осуществляемый в блок-поездах, т.км; $П_{y.оп}$ – удельная прибыль оператора на 1 т.км от оказания услуги по включению груза в блок-поезд, руб.;

$$П_{доп.оп2} = (d_{оп} \Delta n_{доп2} - \sum Pl_{доп2} C_{оп}) (1 - H_{п}) / 10, \quad (22)$$

где $\Delta n_{доп2}$ – дополнительный объем перевозок, ваг.; $\sum Pl_{доп2}$ – дополнительный грузооборот, т.км нетто.

$$C_{пл} = \frac{P_{потр} O_{пл}}{365 P_{пл}} (1 + a_{рем}) Ц_{пл}, \quad (23)$$

где $P_{потр}$ – годовая потребность в перевозках грузов в КТК на рассматриваемых направлениях, тыс. т; $O_{пл}$ – среднее время оборота платформы, сут.; $P_{пл}$ – статическая нагрузка платформы при загрузке КТК, т; $a_{рем}$ – доля платформ, находящихся единовременно в ремонте; $Ц_{пл}$ – цена одной фитинговой платформы, тыс. руб.;

$$A_{пл} = \frac{C_{пл}}{T_{пл}}, \quad (24)$$

$$I_{оп} = C_{пл} H_{и}, \quad (25)$$

$$E_{р.оп} = \sum \frac{Pl_{год}}{Pl_i} C_i n_{пл}, \quad (26)$$

где $T_{пл}$ – срок службы фитинговой платформы, лет.; $H_{и}$ – ставка налога на имущество, дол. ед.; $Pl_{год}$ – годовая производительность одного вагона, т.км.; Pl_i – норма межремонтного пробега для i -го вида ремонта, т.км; C_i – стоимость i -го вида ремонта, тыс. руб.; $n_{пл}$ – закупленный парк платформ, ед.

Для **перевозчика - управляющего инфраструктурой** экономический эффект рассчитан исходя из сокращения объема документооборота, улучшения использования постоянных устройств и подвижного состава, а также расходов на закупку локомотивов.

Для **грузовладельца/экспедитора** экономический эффект рассчитан исходя из ускорения оборота капитала, сокращения потерь при транспортировке, привлечения дополнительных объемов перевозок на железнодорожный транспорт, а также расходов на закупку КТК.

Заключение

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие основные выводы и результаты диссертационной работы, имеющие научную новизну и практическую ценность.

1. В результате выполненного анализа систем по перевозке мелких отправок и динамики объемов их перевозок установлено, что при существующей технологии их доставки железнодорожным транспортом происходит снижение объёмов по причине нехватки пригодных к использованию СТК, низкого уровня сохранности перевозок и значительных сроков доставки.
2. Разработана технология перевозки мелких отправок сборными крупнотоннажными контейнерами в мультимодальных сообщениях, позволяющая использовать маршрутные контейнерные поезда для развития новых логистических продуктов на основе использования твердых ниток графика.
3. На основе выполненного анализа систем перевозки мелких отправок в мультимодальных сообщениях доказано, что существующие ограничения при перевозках мелких отправок в грузовых и почтово-багажных вагонах мотивируют контейнерный сектор к выходу на новые ниши рынка с использованием сборных

КТК для повышения контейнерооборота в системе грузоперевозок России и увеличения эффективности бизнеса.

4. Разработаны методы оптимизации перевозок грузов мелкими отправлениями, перевозимых в среднетоннажных контейнерах, которые отвечают принципам повышения эффективности существующей транспортной инфраструктуры. При масштабном внедрении разработанной технологии существующая инфраструктура по обработке среднетоннажных контейнеров (станции отправления, назначения, сортировки, перевалки) должна быть модифицирована под актуальные задачи отрасли.

5. Проанализированны показатели автоматизированной системы подготовки и оформления перевозочных документов на железнодорожные грузоперевозки ОАО «РЖД» ЭТРАН, характеризующие перевозимые в среднетоннажных контейнерах грузы, которые демонстрируют пригодность данных отправок для формирования сборных крупнотоннажных контейнеров.

6. Разработана функциональная модель решения задачи оптимизации перевозок мелких отправок в сборных крупнотоннажных контейнерах по ряду учитываемых показателей, на основе которой решены реальные производственные задачи совершенствования технологии перевозок мелкопартийных грузов.

7. Приведена программная реализация алгоритма для имитационного моделирования с целью сравнительного анализа результатов перехода от среднетоннажных контейнеров к сборным крупнотоннажным контейнерам, которая позволяет оценить эффективность применения предложенной технологии по различным направлениям доставки МО.

8. Установлено, что в рассматриваемом случае при переходе от среднетоннажных контейнеров к сборным крупнотоннажным контейнерам за исследуемый период понадобилось бы 242 крупнотоннажных контейнера против 1942 среднетоннажных, использовавшихся фактически, что подтверждает работоспособность созданного алгоритма.

9. Предложена методика оценки эффективности перевозки грузов мелкими отправлениями в сборных крупнотоннажных контейнерах для участников перевозочного процесса (оператора, грузовладельца/экспедитора, управляющего инфраструктурой и перевозчика). В расчетах по предложенной методике учитываются эффекты от ускорения доставки грузов, улучшения использования подвижного состава, от развития дополнительного сервиса, сокращения объемов документооборота, улучшения использования постоянных устройств и

локомотивов и экономии затрат на погрузочно-разгрузочные работы. Расчет доказывает высокую эффективность представленной технологии.

10. Практические расчеты по предложенной технологии показали, что величина чистого дисконтированного дохода за 30 лет (срок службы крупнотоннажного контейнера) составит: для оператора (ОАО «Трансконтейнер») – 57 041,146 тыс. руб., для перевозчика - управляющего инфраструктурой (ОАО «РЖД») – 439 352,220 тыс. руб., для грузовладельца/экспедитора (ОАО «Трансконтейнер») – 426 965,114 тыс. руб. Срок окупаемости составил для оператора – три года, для грузовладельца/экспедитора – один год. Результаты подтверждают высокую эффективность технологии по доставке мелких отправок сборными крупнотоннажными контейнерами в мультимодальном сообщении.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

- в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. *Акулов, А.М.* Консолидация мелких отправок в сборных крупнотоннажных контейнерах [Текст] / А.М. Акулов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 4. – С. 33-36. – ISSN 0236-1914.
2. *Резер, С.М.* Зарубежный опыт перевозки мелких отправок различными видами наземного транспорта [Текст] / С.М. Резер, А.М. Акулов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 11. – С. 29-34. – ISSN 0236-1914.
3. *Акулов, А.М.* Математическое моделирование и построение алгоритма оптимальной перевозки мелких отправок в сборных крупнотоннажных контейнерах [Текст] / А.М. Акулов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 10. – С. 8-12. – ISSN 0236-1914.

- в других изданиях:

4. *Акулов, А.М.* Обзор и анализ научных работ по планированию и организации перевозок грузов в контейнерах [Текст] / А.М. Акулов, И.Р. Рувинов // Рынок транспортных услуг (Проблемы повышения эффективности). Международный сборник научных трудов УО «БелГУТ». – 2012. – № 5. – С. 13-23.
5. *Акулов, А.М.* Как реализовать потенциал Евро-Азиатского железнодорожного сообщения? [Текст] / А.М. Акулов // РЖД-Партнер. – 2011. – № 22. – С. 10-12.
6. *Акулов, А.М.* Перегрузить за 120 секунд [Текст] / А.М. Акулов // РЖД-Партнер. – 2012. – № 19. – С. 42-43.

Акулов Антон Михайлович

Совершенствование технологии перевозок мелких отправок сборными
крупнотоннажными контейнерами в мультимодальных сообщениях

Специальность 05.22.01. – Транспортные и транспортно-технологические системы
страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Подписано в печать _____ 2013 г.

Объем 1,5 усл. п.л.

Тираж 80 экз. Заказ № _____

Формат 60 x 84/16

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