

На правах рукописи



МОСКВИЧЕВ ОЛЕГ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
КОНТЕЙНЕРНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ
НА ОСНОВЕ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ**

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

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Москва - 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» на кафедре «Коммерческая эксплуатация транспорта и тарифы»

Научный консультант:

Резер Семён Моисеевич доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Гагарский Энгельс Александрович доктор технических наук, профессор, советник генерального директора ЗАО «Институт проблем транспорта и логистики»;

Миротин Леонид Борисович доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный технический университет (МАДИ)», кафедра «Менеджмент», старший научный сотрудник;

Сай Василий Михайлович доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», кафедра «Путь и железнодорожное строительство», профессор.

Ведущая организация:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится 2 октября 2019 г., в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 218.005.09 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 1235.

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

Автореферат разослан « » августа 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

В. А. Козырев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время одной из причин сдерживающей рост экономики страны является ограничение, связанное с уровнем развития транспортной системы и в частности инфраструктуры. Её сегодняшнее состояние является ограничивающим фактором при разработке и внедрении перспективных логистических технологий, новых транспортных продуктов, а также при освоении новых территорий.

В свою очередь, одной из важнейших доминант создания инновационной, конкурентной и интегрированной транспортной системы является развитие перевозок грузов в контейнерах.

Для детализированного рассмотрения развития комбинированных перевозок, повышения уровня контейнеризации и необходимости развития инфраструктуры, был принят ряд документов, а именно «Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге ОАО «РЖД» и «Концепция создания терминально-логистических центров на территории Российской Федерации».

Согласно Указу Президента РФ №204 от 07.05.2018 г., в части национальной цели вхождения России в число пяти крупнейших экономик мира, в качестве одних из важнейших государственных задач были поставлены такие, как сокращение времени перевозки грузов в контейнерах и увеличение объёма транзитных перевозок контейнеров железнодорожным транспортом; формирование узловых грузовых мультимодальных транспортно-логистических центров. Важность реализации этих задач обуславливается тем, что позволит существенно улучшить единое технологическое и информационное пространство для выгодного экспорта транспортных услуг и комплексного удовлетворения требований потребителей.

Таким образом, в настоящее время необходимо научно обосновать пути решения поставленных в этих документах задач в области развития контейнерных перевозок. Это подтверждает актуальность и важность создания теоретико-методологических основ организации функционирования контейнерно-транспортной системы (КТС) в соответствии с современными задачами и перспективными транспортными технологиями.

Степень разработанности темы исследования.

Основа отечественной транспортной науки в части организации переработки контейнеров и развития КТС страны была заложена трудами

Абрамова А.П., Дерибаса А.Т., Когана Л.А., Козлова Ю.Т., Католиченко В.А., Ситника М.Д., Трихункова М.Ф., Шкурина В.А.

Значительный вклад в создание и развитие технологии транспортных процессов, планирования и управления транспортными потоками, развитие транспортной сети, повышения конкурентоспособности транспортной системы страны, развитие транспортной логистики и транспортного экспедирования внесли работы Апатцева В. И., Александрова А. Э., Белова И. В., Бородина А. Ф., Батурина А. П., Багиновой В. В., Галабурды В. Г., Гагарского Э. А., Герами В. Д., Колесникова В. И., Козлова П. А., Куренкова П. В., Лapidуса Б. М., Лёвина Б. А., Лукинского В. С., Милославской С. В., Миротина Л. Б., Мамаева Э. А., Маликова О. Б., Морозова В. Н., Николашина В. М., Образцова В. Н., Осьминина А. Т., Персианова В. А., Правдина Н. В., Прокофьевой Т. А., Пазойского Ю. О., Рахмангулова А. Н., Резера С. М., Сая В. М., Сергеева В. И., Смехова А. А., Сотникова И. Б., Терешинной Н. П., Уварова С. А., Шарова В. А., Бауэрсокса Д. (Bowersox D.), Ламберта Д. (Lambert D.), Поттгофа Г. (Potthof G.), Стока Д. (Stock D.) и других.

В то же время, в последние годы появились изменения в работе железнодорожного транспорта России, связанные с проводимой реформой и коррелирующиеся со Стратегией развития железнодорожного транспорта до 2030 года. Новые подходы в сфере контейнерных перевозок требуют совершенствования научно-методической базы. Складывается ситуация, когда современные перспективные технологии пытаются реализовать на инфраструктуре, построенной ещё в 70 - е годы прошлого столетия и предназначенной для решения совершенно иных задач. В свою очередь, новый этап глобализации и тенденции на межстрановые объединения свободной торговли предполагают изменения географии и структуры товарных и транспортных потоков. В условиях сервисной экономики, ориентированной на высокотехнологичную продукцию с высокой удельной стоимостью, наблюдается тенденция к ужесточению требований к качеству и надёжности предоставляемых транспортно-логистических услуг, в том числе к сокращению сроков доставки и транспортных издержек. Поэтому в современных макроэкономических условиях одним из ключевых подходов в развитии транспортной системы должна стать клиентоориентированность.

Данные обстоятельства подтверждают необходимость разработки методологии организации функционирования КТС, обеспечивающей достижение

конкурентных преимуществ на рынке транспортных услуг в изменившихся современных условиях.

Цель исследования состоит в разработке методологии организации функционирования КТС на основе клиентоориентированного подхода и оптимизации размещения терминально-логистических объектов с использованием методов кластерного анализа.

Объектом исследования является контейнерно-транспортная система.

Предметом исследования является теория и методология организации функционирования контейнерно-транспортной системы.

Задачи исследования:

1. Исследование научного, методического и практического опыта организации функционирования отечественной КТС, а также зарубежного опыта организации интермодальных перевозок на современном этапе.

2. Выявление и анализ недостатков отечественной КТС, а также технических и технологических проблем инфраструктуры контейнерных перевозок.

3. Разработка теоретико-методологических основ формирования и организации функционирования КТС на основе клиентоориентированного подхода в условиях массового внедрения технологии контейнерных поездов.

4. Разработка методики и математической модели определения уровней контейнерной привлекательности региона, а также контейнеропригодности производимой и добываемой продукции.

5. Систематизация и анализ существующих методов и математических моделей оптимизации размещения терминально-логистических объектов транспортной системы, выбор и обоснование корректности предлагаемых подходов и методов.

6. Разработка математических методов и моделей определения количества терминально-логистических объектов с обоснованием их мощности и оптимального места расположения относительно центров производства и потребления контейнеропригодной продукции, с учетом минимизации инвестиций и затрат на перевозку грузов, реализующих принципы клиентоориентированности, с целью долгосрочного развития КТС.

7. Получение количественных зависимостей основных показателей эффективности перевозок при оптимальном местоположении терминально-логистических объектов от их количества и установление потенциальных возможностей оптимизации сети.

8. Определение эффективности внедрения разработанного комплекса моделей и методов при оптимизации функционирования терминально-логистической инфраструктуры на примере Приволжского федерального округа.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Разработаны теоретико-методологические основы формирования и организации функционирования КТС в условиях массового внедрения технологии контейнерных поездов с учётом особенностей промышленности РФ, структуры и мощности контейнеропотоков, базирующиеся на математических моделях, описывающих характеристики и местоположения производств, существующую топологию железных дорог, оптимального размещения терминально-логистической инфраструктуры и определения мощности её объектов.

2. Предложены клиентоориентированные принципы и концептуальная модель организации функционирования терминально-логистической инфраструктуры контейнерных перевозок как двухуровневой системы, обеспечивающей концентрацию объёмов контейнеропригодной продукции, необходимой для массового внедрения технологии контейнерных поездов, а также повышение эффективности доставки грузов в контейнерах с участием железнодорожного транспорта.

3. Разработан метод определения уровня контейнерной привлекательности региона, базирующийся на многокритериальном подходе определения уровня контейнеропригодности добываемой и/или производимой продукции; экспертных оценках уровня развития транспортного рынка региона и состояния региональной транспортной инфраструктуры, а также уровня экономического развития региона.

4. Разработан и математически обоснован метод кластеризации «с проекцией», позволяющий при заданном множестве клиентов и контейнерных терминалов (КТ) получать оптимальные кластеры с центрами, расположенными на сети железных дорог, и обеспечивающий минимизацию затрат на перевозку грузов.

5. Разработан комплекс математических моделей оптимизации выбора мест расположения и количества КТ на первом уровне и контейнерных накопительно-распределительных центров (КНРЦ) на втором уровне двухуровневой модели терминально-логистической инфраструктуры КТС, позволяющие с учётом заданного или произвольного количества кластеров на основе известных и развитых методов кластеризации получить места

расположения КТ и КНРЦ из условия наименьших затрат на перевозку и создания терминально-логистической инфраструктуры.

6. Разработана методика многокритериального выбора оптимального варианта сети КНРЦ, позволяющая с применением методов векторной оптимизации, практически определить оптимальные места создания КНРЦ при известных инвестиционных затратах, а также количественно оценить оптимальное количество создаваемых КНРЦ при неизвестных инвестиционных затратах.

7. Разработаны алгоритм моделирования двухуровневой терминально-логистической инфраструктуры КТС и практический инструментарий, позволяющие реализовать предложенные модели и методы при различных критериях оптимизации и получать как табличные цифровые данные для эскизного проектирования, так и графическое изображение месторасположения спроектированных объектов на карте территории.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке теоретических положений, методологических подходов и методических рекомендаций по организации и функционированию КТС. Обоснован новый подход к размещению терминально-логистических объектов на основе клиентоориентированной системы организации перевозок грузов и комплексного использования известных и развитых методов кластерного анализа. Получены количественные зависимости оптимальных показателей затрат от количества терминально-логистических объектов, дающих основу для формирования КТС.

Практическая ценность полученных результатов. Предложенные методы, модели, методики и практический инструментарий могут быть использованы при разработке стратегий развития транспортного комплекса как на региональном, так и на федеральном уровнях, в инженерно-технических, технологических решениях, связанных с модернизацией КТС, внедрением передовых логистических технологий в перевозочный процесс и размещением объектов терминально-логистической инфраструктуры.

Реализация предложенной методологии позволяет перейти к научно обоснованному принятию решений в инвестиционных проектах, связанных с развитием транспортно-логистической инфраструктуры, повысить качество транспортно-логистического сервиса грузовладельцев, организовать согласованный подвоз грузов к терминально-логистической инфраструктуре, улучшить использование подвижного состава, сократить расходы на доставку

грузов в контейнерах, тем самым повысить привлекательность контейнерных перевозок на транспорте.

Методология и методы исследования. В диссертационном исследовании применялись методы системного анализа, транспортной логистики, теории управления транспортными потоками, математической статистики, методы современной теории принятия оптимальных решений, методы кластерного анализа, а также программные системы общего и специального назначения SPSS –Statistics 17.0, WEKA, Orange Data Mining.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретико-методологические основы формирования и организации функционирования КТС в условиях массового внедрения технологии контейнерных поездов.

2. Концептуальная модель организации функционирования терминально-логистической инфраструктуры контейнерных перевозок как двухуровневой системы на основе принципов клиентоориентированности.

3. Метод определения уровня контейнерной привлекательности региона, базирующийся на многокритериальном подходе определения уровня контейнеропригодности добываемой или производимой продукции.

4. Методология определения оптимального месторасположения и количества терминально-логистических объектов двухуровневой КТС на основе комплекса экономико-математических моделей, реализующих известные и развитые методы кластерного анализа.

5. Методика многокритериального выбора оптимального варианта сети КНРЦ, основанная на методах векторной оптимизации.

6. Практический инструментарий реализации проектирования оптимальной структуры КТС на основе существующих и созданных программно-научных комплексов, включающих модули кластеризации.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертации заключаются:

- в части теории положения основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин;

- использованием в качестве исходной информации данных Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ) и справочных материалов по субъектам РФ, опубликованных на официальных сайтах этих субъектов, а также многократными экспериментами;

- корректностью применения апробированного математического аппарата и современных программных систем;

- установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационного исследования были использованы Куйбышевским территориальным центром фирменного транспортного обслуживания, филиалом ПАО «ТрансКонтейнер» на Куйбышевской железной дороге, транспортной компанией ООО «АМТЭК», что подтверждается тремя актами внедрения.

Отдельные положения диссертации вошли в учебный процесс факультета «Эксплуатация железных дорог» ФГБОУВО «Самарский государственный университет путей сообщения» и были использованы для подготовки двух учебных пособий и монографии.

Апробация работы. Результаты исследований, составляющих основное содержание работы, докладывались и обсуждались на региональных научно-практических конференциях: «Новейшие достижения науки и техники на железнодорожном транспорте» (г. Челябинск, Южно-Уральская железная дорога, 2004 г.); «Актуальные проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (г. Самара, Куйбышевская железная дорога, 2004 г.); на всероссийских научно-практических конференциях: «Транспорт – 2007» (Ростов – на – Дону, 2007 г.); «Актуальные проблемы развития транспортного комплекса» (г. Самара, 2009 г.); на международных научно-практических конференциях: «Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта» (г. Самара, 2006 г.); «Актуальные проблемы развития транспортного комплекса» (г. Самара, 2008 г., 2010 г.); «Наука и образование транспорту» (г. Самара, 2009 г., 2017 г.); «Мобильность транспортных систем» (г. Прага, 2011 г.); «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2013 г.); «Политранспортные системы» (г. Новосибирск, 2014 г.); «Совершенствование технологии перевозочного процесса» (г. Новосибирск, 2015 г.); «Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017)» Самарский научный центр РАН (г. Самара, 2017 г.); международных научно-практических конференциях по проблемам организации контейнерных и контрейлерных перевозок (г. Москва, 2009 - 2018 гг.); «Транспорт и логистика» (Ростов – на – Дону, 2019 г.); первом заседании Комиссии при Президенте РФ по вопросам модернизации и технологического развития экономики России, протокол № СА-4/6035 от 10.06.2009г., (г. Москва); заседании секции

«Государственной политики в области железнодорожного транспорта» научно-технического совета Минтранса РФ, протокол № 2 от 12.03.2010г. (г. Москва).

Публикации. Основные результаты исследования отражены в 42 опубликованных научных работах, из которых 21 издание входит в список реферируемых изданий ВАК РФ по специальности, 2 являются ведущими иностранными изданиями по транспортной тематике, 1 монография. Общее число публикаций автора по теме диссертации и транспортной тематике насчитывает 82 работы, из них 9 патентов на изобретения и авторских свидетельств, а также 3 учебных пособия, допущенных УМО по образованию в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы. Общий объём текста изложен на 415 страницах, включая 11 приложений, содержит 61 рисунок и 26 таблиц. Список литературы состоит из 265 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены предмет, объект исследования и цель диссертационной работы, сформулированы задачи исследования и положения, выносимые на защиту.

Первая глава – «Системный анализ существующей теории и практики организации переработки контейнеров на транспорте» выполнен анализ теории и практики организации переработки контейнеров и развития КТС. Приведен практический опыт инновационных технологий мировой КТС. Выполнено комплексное исследование новых действующих факторов, влияющих на изменения в системе контейнерных перевозок, на основании которых определены цель и задачи исследования.

Систематизирована и обобщена практика инновационных технологий мировой КТС. Обозначены её основные направления внедрения технических и технологических инноваций, такие как снижение энергетических затрат и себестоимости на единицу транспортной продукции за счет увеличения грузоподъёмности судов контейнеровозов; введение в обращение контейнеров новых конструктивных типов (типоразмеров) и увеличение их размеров; расширение использования специализированных контейнеров ИСО; увеличение объёмов перевозок контейнеров на основе расширения номенклатуры перевозимых в них грузов; развитие автоматизации и повышение производительности погрузочно-разгрузочных машин и оборудования

контейнерной индустрии; развитие пропускных и перерабатывающих способностей объектов терминально-логистической инфраструктуры; автоматизация технологических операций с контейнерами и грузами, технологического процесса, а также автоматизация управления всего контейнерного терминала; развитие прогрессивных транспортно-технологических систем на базе создания новых типов КТ; сокращение времени нахождения грузов на КТ, а также расходов на маневровые и погрузочно-выгрузочные операции; развитие ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом, в том числе контейнерных поездов.

Сформулированы движущие причины развития мировой, в том числе отечественной, КТС: глобализация и рост международной торговли (увеличение доли полуфабрикатов и готовой продукции в грузообороте); изменения структуры и направлений грузоперевозок; географическая поляризация центров производства и потребления; развитие существующих и новых международных транспортных коридоров; расширение перечня контейнеропригодных грузов, связанное с развитием технологий контейнеризации.

Решающее влияние на эффективное функционирование КТС оказывает техническое оснащение и технология работы КТ. Они составляют основу контейнерной инфраструктуры и являются наиболее дорогостоящими её объектами. В диссертационной работе выявлены и проанализированы основные технические и технологические проблемы инфраструктуры КТС.

Из проведенного оценочного анализа очевидно, что отечественная КТС находится на этапе формирования инфраструктуры, направленном, как правило, на строительство складских комплексов класса А и В в различных регионах страны, без разработки общей концепции развития цепи поставок контейнерных грузов. Логистических и распределительных центров, терминальных комплексов, проекты которых созданы без системного подхода к развитию КТС страны, не сбалансированы должным образом с развитием центров промышленного производства, локализацией потребительского спроса, а также контейнерных площадок, модернизируемых усилиями ПАО «ТрансКонтейнер», недостаточно.

Многие объекты контейнерной инфраструктуры находятся на границе технических и технологических возможностей и не могут удовлетворять современным потребностям транспортного рынка. Большинство существующих КТ не способны обеспечить весь комплекс услуг по переработке контейнерных

грузов и технологию работы с полносоставными контейнерными поездами, что ограничивает реализацию нового подхода поточной (непрерывной) переработки контейнеров, основанной на консолидации и доставки контейнерных отправок в составе регулярных контейнерных поездов. При этом в рамках существующей инфраструктуры КТС сложно обеспечить интеграцию технологических процессов перевозки и терминальной обработки контейнеров.

Для интенсивного увеличения объёмов перевозок контейнеров и обеспечения контейнеризации грузопотоков, удовлетворения потребностей клиентов к качеству транспортно-логистических услуг необходимо также формирование сети регулярного сообщения контейнерных поездов различных категорий, включая неунифицированного веса и длины. Как следствие, дальнейшее развитие КТС РФ неизбежно будет сопровождаться развитием контейнерной инфраструктуры.

Вторая глава – «Разработка концептуальной модели и методологических основ формирования и функционирования КТС на принципах клиентоориентированности» посвящена разработке теоретико-методологических основ формирования и функционирования КТС в современных условиях. Проведено комплексное исследование направлений деятельности по развитию КТС в РФ. Предложена концептуальная модель формирования терминально-логистической инфраструктуры в условиях массового внедрения технологии контейнерных поездов на основе клиентоориентированного подхода. Для её реализации произведен системный анализ существующих математических моделей и методов оптимального размещения терминально-логистических объектов, предложена математическая модель и постановка задачи оптимизации размещения терминально-логистических объектов на основе методов кластерного анализа.

В работе были сформулированы цели, принципы, задачи и основные направления деятельности по развитию КТС РФ, представленные на рисунке 1.

Концептуальная модель организации функционирования КТС в исследовании представлена как комплексное решение, состоящее из:

- 1) развития и модернизации терминально-логистической инфраструктуры;
- 2) совершенствования технологий системы организации перевозок контейнерных грузов на основе клиентоориентированного подхода.

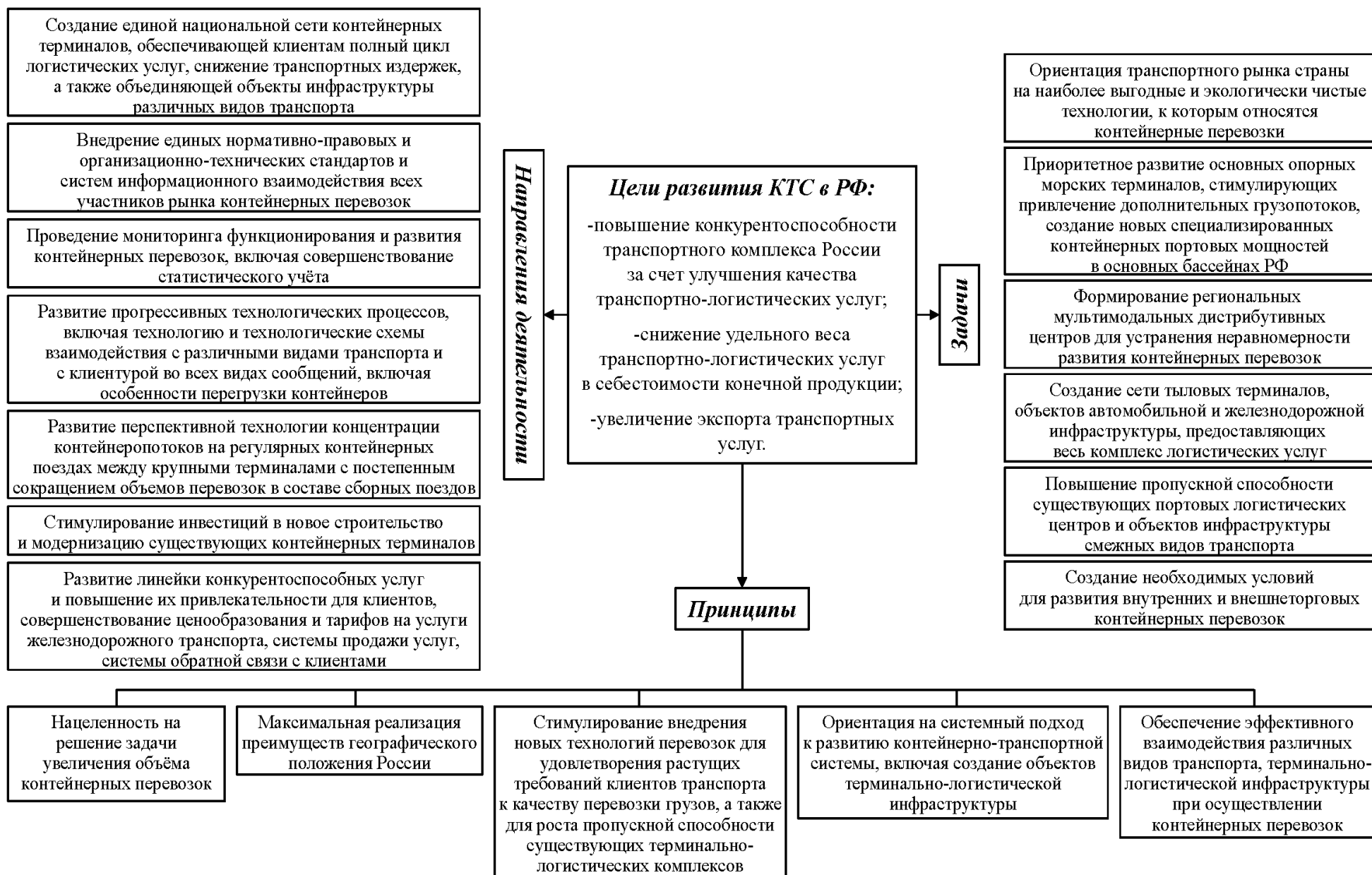


Рисунок 1 – Цели, принципы, задачи и основные направления деятельности по развитию КТС РФ

Для целей, поставленных в работе, в качестве терминально-логистических объектов стратегического планирования при развитии инфраструктуры КТС рассматриваются КТ в составе логистических центров.

Анализ показывает, что основная масса контейнеропригодной продукции производится предприятиями, которые, как правило, заключают контракты с многочисленными мелкими и средними потребителями. Это предполагает перевозку по различным направлениям, в ряде случаев не имеющим прямого железнодорожного сообщения. Сроки доставки исключают возможность использовать продолжительный период накопления в адрес одного КТ назначения.

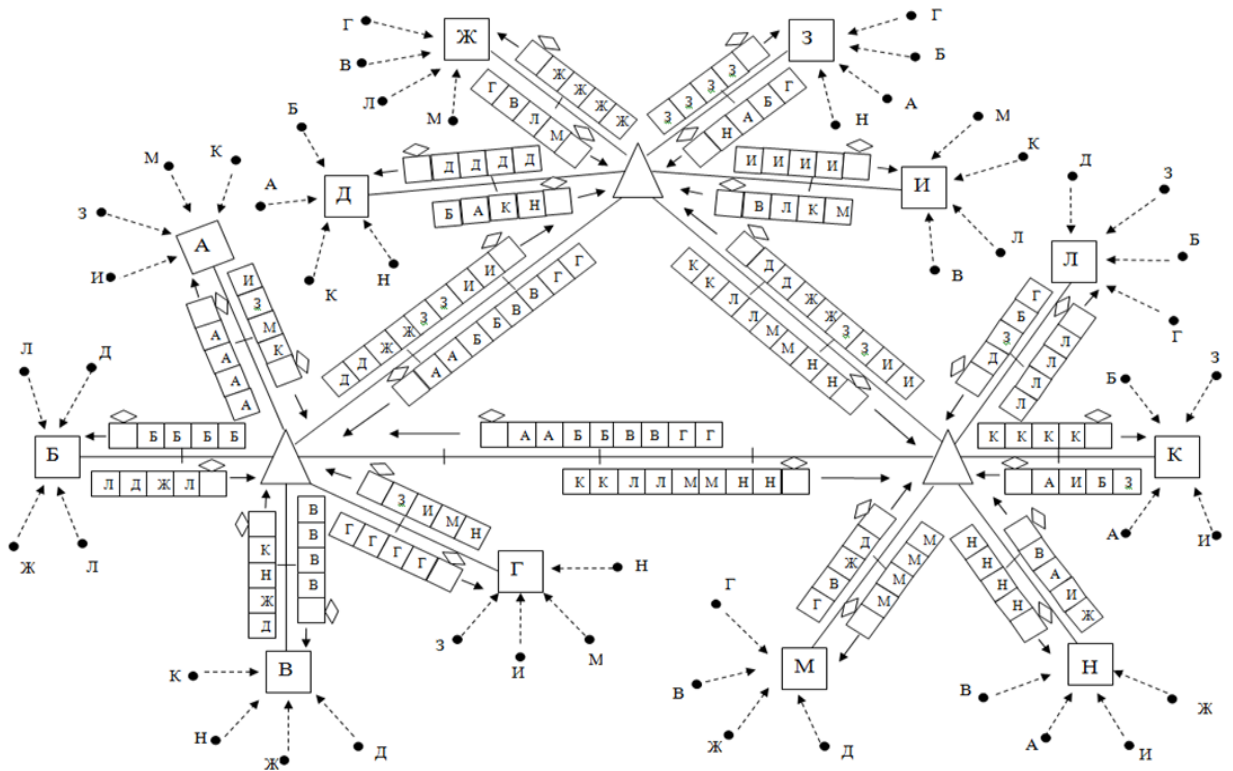
Возникает ситуация, когда в адрес каждого КТ назначения нет объема контейнеропригодной продукции, нужного для организации контейнерных поездов, вместе с тем, общий объем позволяет это сделать. Вследствие этого контейнеропригодная продукция отправляется повагонными отправками, а во многих случаях автомобильным транспортом.

Сложившаяся к настоящему времени ситуация, т. е. развитие новых производств, закрытие или частичная консервация старых производств, необходимость применения современных и прогрессивных перевозочных технологий, требует корректировки размещения терминальных объектов КТС, как в количественном, так и в технологическом отношении и построения новой модели её функционирования.

В работе предлагается концептуальная модель двухуровневой терминально-логистической инфраструктуры КТС, а именно: 1 уровень – сеть КТ, накапливающих контейнерные грузы от предприятий, и 2 уровень – сеть КНРЦ, накапливающих контейнеропотоки от КТ, обеспечивающих формирование контейнерных поездов. Создание такой двухуровневой сети перевозок позволит концентрировать объемы контейнеропригодной продукции, необходимой для формирования контейнерных поездов, исключить длинные сроки их накопления, а также увеличить скорость доставки грузов в контейнерах.

Для обеспечения гарантированной доставки контейнерных грузов получателю в установленные сроки, помимо ускоренных контейнерных поездов (УКП), курсирующих между КНРЦ, предлагается формировать с КТ на КНРЦ челночные контейнерные поезда (ЧКП) с продвижением их по «жестким ниткам» графика.

Схема предлагаемой модели организации функционирования КТС представлена на рисунке 2.



Условные обозначения: Δ — КНРЦ; \square — КТ; \bullet — грузоотправители-грузополучатели.

Рисунок 2 - Схема предлагаемой модели организации функционирования КТС

Основными целями предлагаемой концептуальной модели организации функционирования КТС являются:

- удовлетворение потребностей грузоотправителей с целью привлечения контейнерных грузов на железные дороги (рост возможностей по переориентации части клиентов с других видов транспорта);
- увеличение объёмов железнодорожных контейнерных перевозок за счет изменения существующей структуры потребителей КТС (привлечение контейнеропригодной производимой и/или добываемой продукции);
- изменение структуры объектов терминально-логистической инфраструктуры: развитие и модернизация контейнерных терминалов и станций примыкания, имеющих перспективы увеличения объёмов переработки контейнеропригодной продукции;
- выход на лидирующие позиции на российском контейнерном рынке, в том числе путем использования конкурентных преимуществ: повышение качества транспортно-логистических услуг, повышение скорости доставки, доставка «точно в срок» и другие;

- обеспечение экономической эффективности функционирования железнодорожной системы перевозок грузов в контейнерах.

Совокупность и взаимодействие требований и технологических решений, обеспечивающих основные клиентоориентированные принципы функционирования КТС, представлены в таблице 1.

Поскольку обеспечение технической готовности терминально-логистической инфраструктуры к реализации инновационных транспортных продуктов, согласно представленной концепции, связано с инвестиционными затратами, к приоритетным задачам относится разработка методологии по размещению не только КНРЦ, но и определению оптимального количества КТ, с необходимым местом расположения относительно целевых групп грузовладельцев и их параметров, а также по определению конкретного количества новых и подлежащих реконструкции терминальных комплексов с обоснованием их мощности и места расположения.

Проблемам моделирования инфраструктуры перевозок посвящено большое число работ. В них, в частности, отмечается, в качестве основной, проблема оптимального размещения терминально-логистических объектов различного уровня.

В диссертации рассмотрены классические задачи (задачи Торичелли-Штейнера) для решения проблем выбора мест расположения терминально-логистических центров. Все они изучают оптимальные свойства расположения точек на плоскости и, как было показано в работе, дают алгоритмы, которые можно использовать в более общей постановке задачи оптимизации размещения транспортных объектов.

Кроме того, рассмотрены методы нахождения оптимальных центров на плоскости, если заданы координаты и «вес» точек: задачи «о центрах обслуживания потребителей»; оптимизация мест терминально-логистических центров на основе задачи математического программирования; практические методики определения мест создания КТ.

Установлено, что рассмотренные классические задачи определяют оптимальные свойства некоторых точек - «центров», когда множество точек задано. Необходимо отметить, что в поставленной выше задачи оптимизации двухуровневой сети КТС «центры» должны соответствовать не заданному исходному множеству точек, а подмножествам заданного множества, которые заранее неизвестны. Их вариация и даёт дополнительный резерв оптимизации.

Таблица 1 – Требования и технологические решения концептуальной модели организации функционирования КТС на основе клиентоориентированного подхода

Требования к клиентоориентированному принципу организации функционирования КТС	Направления перспективных технологических решений
<p>Развитие и модернизация терминально-логистической инфраструктуры:</p> <ul style="list-style-type: none"> - транспортно-логистическая обеспеченность и доступность для потребителей. 	<p><i>Принцип многоуровневой функциональной структуры</i> терминально-логистических объектов (железнодорожный порт, КНРЦ, КТ). Формирование терминально-логистической инфраструктуры КТС по сетевому принципу предполагает создание определенного структурного взаимодействия и функционального назначения для каждого из уровней объектов сети.</p>
<p>Совершенствование технологий системы организации перевозок контейнерных грузов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - своевременность и сокращение сроков доставки; - регулярность доставки грузов; - полнота и качество оказания услуг; - гибкость в удовлетворении изменяющихся требований со стороны клиентов; - надежность всех звеньев логистической транспортной цепи доставки грузов; - обеспечение сохранности перевозимых грузов; - снижение транспортной составляющей в конечной цене продукции; - информатизация транспортно-логистических услуг; - безопасность и экологичность перевозок. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Организация регулярного контейнерного сообщения по пассажирскому принципу</i> предусматривает: <ul style="list-style-type: none"> • формирование сети курсирования регулярных контейнерных поездов различных категорий; • создание расписания движения регулярных контейнерных поездов (включая терминальную обработку) по выделенным «жестким ниткам» графика вне зависимости от наличия заявок на перевозку; • свободный доступ клиентов к продаже услуг на линейном сервисе посредством использования открытых информационных систем. - <i>Поточная (непрерывная) организация обработки контейнеров в условиях терминальной технологии</i> предусматривает: <ul style="list-style-type: none"> • замещение сортировочной работы с вагонами терминальной переработкой грузов; • своевременную (в соответствии с расписанием) подачу и уборку вагонов на фронты погрузки/выгрузки; • обработку контейнерного поезда на терминале без разрыва состава за фиксированный интервал времени. - <i>Координация действий операторов подвижного состава</i> предусматривает: <ul style="list-style-type: none"> • создание диспетчерского центра, действующего на основе договоров с операторами подвижного состава, с целью обеспечения перевозочными средствами в рамках транспортного узла; • полный и своевременный вывоз контейнеров в составе контейнерных поездов. - <i>Интеграция таможенной инфраструктуры с целью централизации экспортно-импортных грузопотоков</i> предусматривает: <ul style="list-style-type: none"> • наличие Центров таможенного оформления грузов (таможенный пост, СВХ и проч.) в составе функциональных объектов терминально-логистической инфраструктуры; • концентрация всех видов таможенной деятельности в месте, удобном для клиента. - <i>Единое информационное пространство</i> предусматривает: <ul style="list-style-type: none"> • наличие интегрированной системы информационного обеспечения, обеспечивающей автоматизацию процессов планирования и управления на объектах терминально-логистической инфраструктуры КТС, определения оптимальных цепей поставок, проведения PR-мероприятий, оказания клиентам максимально возможного объема информационно-консультационных услуг; • создание интеллектуальных технологий нового поколения, с апробированными механизмами информатизации и автоматизации, основанными на оптимизации использования погрузочных ресурсов, пространственного моделирования и мультиагентных способах управления работой КТ и КНРЦ.

Выявлено, что решение оптимизационных задач по выбору мест расположения КТ и КНРЦ при помощи графовых моделей и математического программирования при многих комбинаторных ограничениях приводят к сложным вычислительным процедурам переборного характера, что не позволяет применять их в рамках территорий федеральных округов или всей страны.

В результате анализа существующих практических методик определения местоположения терминально-логистических объектов установлено, что они не учитывают количество объектов, места их размещения относительно промышленного производства, объёмы грузопотоков от отдельных грузоотправителей и грузополучателей, а также существующую топологию железных дорог.

Для решения поставленных задач оптимизации КТС в настоящей работе предложена процедура кластеризации объектов – применение универсальной методологии разбиения множества объектов на подмножества со своими центрами, обладающими оптимальными свойствами. При этом использование метрик близости точек, применяемых в кластерном анализе, моделирует минимизацию расстояний при перевозке, а если в качестве «веса» каждой точки принять объём производимой/добываемой контейнеропригодной продукции производства, то можно решать задачу минимизации издержек при перевозках как задачу оптимизации кластеров и их центров.

Для постановки и решения задачи размещения терминально-логистических объектов, представленных на рисунке 2, вся задача оптимизации сети может быть разбита на несколько взаимосвязанных уровней задач.

1-й уровень: разбиение всего множества клиентов на подмножества (кластеры) с центрами кластеров, являющимися КТ. Это задача привязки i -го клиента к j -му КТ.

2-й уровень: разбиение всего множества КТ на подмножества с центрами кластеров, являющимися КНРЦ, находящимися на железнодорожной сети.

Итак, пусть задано множество клиентов, определяемое точками с географическими координатами x_i , y_i и объёмом контейнеропригодной продукции v_i .

Необходимо собрать грузы (контейнеропригодную продукцию) клиентов в близлежащие КТ и сформировать из них ЧКП назначением на КНРЦ соответствующего региона без учета конечного пункта назначения отдельных грузов. Задача привязки должна решаться на основе математической модели по критерию минимума затрат на перевозку, обработку и хранение грузов клиентов. Этот минимум достигается при решении математической задачи кластеризации всех

точек по алгоритмам, определяющим «центры» кластеров – КТ как центры тяжести точек (с весами v_i), входящими в каждый кластер.

Задача выбора местоположения КНРЦ должна решаться по некоторому показателю эффективности, связанному с близостью КНРЦ к уже полученным КТ, а также некоторым другим показателям, участвующим в интегральном показателе размещения КНРЦ.

Постановка такой задачи имеет следующий вид. Заданы точки расположения КТ и сеть основных железнодорожных направлений, по которым имеется возможность отправлять контейнерные поезда. Точки КТ уже определены как результат кластеризации клиентов в виде географических координат «центров» кластеров (КТ) x_j, y_j и объемом перерабатываемых контейнеров V_j . Этот объем определяется как сумма объемов клиентов, привязанных к данному КТ:

$$V_j = \sum_{i \in S_j} v_i . \quad (1)$$

Необходимо разбить множество КТ на кластеры с центрами, находящимися на одной из станций заданной железнодорожной сети. При решении такой задачи возникает новая задача кластеризации «с проекцией центров». Решение её направлено на оптимизацию общих затрат, связанных с перевозкой от КТ до КНРЦ.

При выборе терминально-логистических объектов для размещения КНРЦ необходимо учитывать критерии, присущие именно созданию КНРЦ, как крупных промышленных центров. В работе систематизированы и выбраны 9 таких критериев (z_1, \dots, z_9): наличие международных транспортных коридоров, проходящих по территории данного региона; уровень контейнерной привлекательности региона; степень готовности инфраструктуры; наличие на станции примыкания резервов пропускной способности; близость к крупному транспортному узлу и центру массового зарождения и/или погашения грузопотоков; наличие в зоне предполагаемого размещения КНРЦ резервных мощностей инженерных сетей; близость к основным (федеральным, областным) автомобильным дорогам; близость к городской агломерации; наличие резервов пропускной способности железнодорожной инфраструктуры на подходах к станциям примыкания.

Среди всего перечня станций выбирается подмножество возможных КНРЦ, такое, при котором время формирования и доставки груза в адрес k было бы минимальным. Так как эти времена противоречиво меняются для каждого клиента, то в качестве общего критерия оптимизации необходимо взять среднее время формирования и доставки груза от i -го клиента до пункта назначения k .

$$\frac{\sum_{i,k} t_{ik}}{I \cdot K} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где I – общее количество клиентов, а K – количество пунктов назначения.

Заметим, что эту задачу можно решать до привязки КТ к КНРЦ, считая, что в любом случае грузы из i в k проходят через некоторый пока условный КТ, который характеризуется некоторым усредненным показателем задержки формирования для данного региона.

Задача уточнения выбора мест расположения КНРЦ решается после решения задачи привязки КТ к КНРЦ.

В каждом l -м КНРЦ в какой-то момент времени имеется b_{ik} контейнеров i -го клиента для k -го КНРЦ. Тогда контейнерный поезд из c_k контейнеров для k -го получателя формируется из условия:

$$\sum_i b_{ik} = c_k. \quad (3)$$

Если динамика поступления грузов клиентов известна, то можно оценить время формирования контейнерного поезда, а также, используя сроки доставки, получить общее время формирования и доставки груза из i в k .

Третья глава – «Метод определения уровня контейнерной привлекательности региона» посвящена уточнению понятия уровня контейнеризации грузов, а также систематизации способов расчета этого показателя. Вводится новый комплексный показатель – «контейнерная привлекательность региона», предлагаются методика по его определению и математическая модель, позволяющая производить многокритериальную оценку контейнеропригодности добываемой / производимой продукции.

Одним из важных показателей развития транспортной системы страны в целом и КТС, в частности, является уровень контейнеризации грузов. Анализ различных источников показал отсутствие единого общепринятого определения и способа расчёта данного показателя. Поэтому часто возникают значительные расхождения по значению уровня контейнеризации. Так, например, в ряде документов уровень контейнеризации в России, согласно различным исследованиям, варьируется от 5% до 55%.

Наиболее объективным и позволяющим проведение мониторинга функционирования и развития контейнерных перевозок, с точки зрения автора, является способ определения уровня контейнеризации как отношение объёмов

грузов, перевозимых в контейнерах, к общему объёму перевозок контейнеропригодной продукции.

В свою очередь, уровень контейнеризации грузов определяет результат работы субъектов транспортного рынка и соответственно может быть рассчитан только после осуществления перевозок. В сложившихся сегодня условиях, при необходимости разработки конкретных мероприятий по развитию КТС страны и реализации программы развития сети КТ, необходимо иметь показатель, который бы отражал потенциал контейнеризации определенного региона страны и мог быть рассчитан до осуществления перевозок.

В связи с этим, предлагается ввести понятие «уровень контейнерной привлекательности региона», представляющий собой комплексный показатель, отражающий контейнеропригодность производимой (добываемой) на территории региона продукции, уровень развития транспортной инфраструктуры данного региона, а также прогноз изменения социально-экономической ситуации в регионе и стране в целом.

Для определения уровня контейнерной привлекательности региона P_R предлагается следующая методика. На первом этапе оценивается возможность перевозки в контейнерах продукции, производимой (и/или добываемой) на территории рассматриваемого региона, а именно: уровень контейнеропригодности продукции.

Обозначим J_{ij}^k - уровень контейнеропригодности k -ой продукции, находящейся в i -ом пункте и требующей перевозки в j -ый пункт. Учитывая множественность конечных пунктов j , получим:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n J_{ij}^k = J_i^k, \quad (4)$$

J_{ij}^k - общий средний уровень контейнеропригодности k -ой продукции в пункте i .

Для системной оценки уровня контейнеропригодности продукции предлагается выделить три наиболее важных критерия: технологический, транспортно-логистический и экономический.

Контейнеропригодность продукции по технологическому критерию (J_{tech}^k) зависит от требуемого типа контейнера (универсального или специализированного), а также дополнительного оборудования, необходимого для осуществления перевозки k -ой продукции.

$J_{tech}^k = 1$, если продукцию k можно перевезти в стандартном контейнере без дополнительных затрат на оборудование.

Пусть ΔT_+^k - дополнительные удельные затраты, необходимые для осуществления перевозки k -ой продукции в контейнере, а T_+^k - тариф перевозки k -ой продукции в контейнере. В случае, если продукция не пригодна к перевозке контейнерной отправкой, принимается $\Delta T_+^k = \infty$.

Тогда величина J_{tech}^k , будет определяться по следующей формуле:

$$J_{tech}^k = \frac{T_+^k}{T_+^k + \Delta T_+^k}; J_{tech}^k \in [0,1]. \quad (5)$$

В математической модели для оценки уровня контейнеропригодности по транспортно-логистическому критерию ($J_{log i}^k$) обозначим:

M_{ij}^k - объём k -ой продукции, находящейся в пункте i и требующей перевозки в пункт j с перегрузкой в пути следования с одного вида транспорта на другой;

P_{ij}^k - общий объём перевозок k -ой продукции из i -го пункта в j -ый пункт.

Тогда общие объёмы произведенной продукции в i -ом пункте, требующие перегрузки в пути следования, и общие объёмы перевозок k -ой продукции, будут рассчитываться по формулам:

$$M_i^k = \sum_{j=1}^n M_{ij}^k; P_i^k = \sum_{j=1}^n P_{ij}^k. \quad (6)$$

В этом случае, уровень контейнеропригодности по транспортно-логистическому признаку определяется, как

$$J_{log i}^k = \frac{\sum_{j=1}^n M_{ij}^k}{\sum_{j=1}^n P_{ij}^k}; J_{log i}^k \in [0,1]. \quad (7)$$

Если в процессе перевозки из i -го пункта в пункт j продукция k не перегружается с одного транспортного средства на другое или вовсе не вывозится из пункта i , то, очевидно, в этом случае для такого i и k $J_{log i}^k = 0$.

В свою очередь, экономический критерий контейнеропригодности (J_{econ}^k) показывает экономическую целесообразность доставки k -ой продукции с использованием контейнера.

При этом уровень контейнеропригодности по экономическому критерию тем выше, чем:

а) выше стоимость k -ой продукции по отношению к стоимости перевозки T_+^k ;

б) больше нормативный убыток (L^k), вызванный порчей груза при перевозке «неконтейнерным» способом, по отношению к разнице в тарифе за перевозку груза в контейнере и другим альтернативным способом транспортировки.

Для оценки J_{econ}^k определим рейтинги уровня контейнеропригодности продукции по экономическому критерию согласно условиям «а» и «б».

Обозначим S^k - стоимость k -ой продукции; L^k - средний нормативный убыток от порчи груза, перевозимого без контейнера; T_+^k - тариф перевозки k -ой продукции в контейнере; T_-^k - тариф перевозки k -ой продукции без контейнера.

Тогда для каждой k -ой продукции, можно вычислить удельный вес условия «а» - r_k и удельный вес условия «б» - P_k из условий

$$\left. \begin{aligned} S^k &= r_k \cdot T_+^k, \\ L^k &= P_k \cdot (T_+^k - T_-^k), \\ L &> T_+^k - T_-^k, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для определения рейтингов k -ой продукции R_a^k и R_b^k вычислим максимальные значения из определенных r_k и P_k : $\max_k r_k = r_{\max}$ и $\max_k P_k = P_{\max}$.

Тогда,

$$\left. \begin{aligned} R_a^k &= \frac{r_k}{r_{\max}}, R_a \in [0,1]; \\ R_b^k &= \frac{P_k}{P_{\max}}, R_b \in [0,1]. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В качестве общего показателя уровня контейнеропригодности по экономическому критерию J_{econ}^k предлагается использовать следующие выражения.

1. Расчет среднего показателя:

$$J_{econ}^k = \frac{R_a^k + R_b^k}{2}. \quad (10)$$

2. Расчет на лучший показатель:

$$\begin{cases} J_{econ}^k = R_{\sigma}^k, & \text{если } R_{\sigma}^k > R_a^k \\ J_{econ}^k = R_a^k, & \text{если } R_a^k > R_{\sigma}^k \end{cases}. \quad (11)$$

3. Расчет на худший показатель:

$$\begin{cases} J_{econ}^k = R_{\sigma}^k, & \text{если } R_{\sigma}^k < R_a^k \\ J_{econ}^k = R_a^k, & \text{если } R_a^k < R_{\sigma}^k \end{cases} \quad (12)$$

На заключительном этапе производим многокритериальную оценку общего уровня контейнеропригодности k -ой продукции в i -ом пункте (J_i^k). Строго говоря, такой оценкой является сам вектор $\vec{J}_i^k = (J_{tech}^k, J_{logi}^k, J_{econ}^k)$. Для получения скалярного критерия $J_i^k = f(J_{tech}^k, J_{logi}^k, J_{econ}^k)$ в работе рассмотрены различные виды свертки функции f .

Таким образом, на основании выбранного пользователем подхода получаем величины J_i^k . Обобщая его для всех видов продукции, получим среднее взвешенное значение для предприятия i

$$J_i = \frac{\sum_{k=1}^p Q_{ik} J_i^k}{\sum_{k=1}^p Q_{ik}}, \quad (13)$$

где p – количество видов продукции на предприятии, Q_{ik} – объём продукции k -го вида на i -м предприятии.

Для характеристики всего региона предлагается использовать величину

$$Y_{kn} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i J_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (14)$$

где n – количество предприятий региона, а Q_i – объём продукции i -го предприятия.

На основании предлагаемой математической модели разработана программа, позволяющая рассчитывать объёмы в тоннах и в двадцатифутовом эквиваленте (ДФЭ) контейнеропригодной продукции, производимой и/или добываемой в рассматриваемом регионе.

На втором этапе, после определения уровня контейнеропригодности производимой и/или добываемой продукции на территории региона, необходимо оценить уровень развития транспортного рынка региона и состояние

региональной транспортной инфраструктуры Y_{mp} . Этот показатель определяется методом экспертных оценок на основании следующих характеристик:

- наличие в регионе крупных транспортных компаний и операторов контейнерных перевозок;
- наличие в регионе крупных транспортно-логистических комплексов;
- количество станций, открытых для работы с контейнерами;
- наличие примыкания железнодорожных путей необщего пользования на предприятиях региона к общей сети железных дорог.

Заключительным этапом определения уровня контейнерной привлекательности региона является оценка уровня экономического развития региона $Y_{эк}$. Он характеризует потенциал региона в области развития промышленного производства. Показатель определяется методом экспертных оценок путем прогноза изменения объёмов добычи полезных ископаемых, обрабатывающего производства и др.

В результате, на основании трех установленных значений ($Y_{кп}$, Y_{mp} , $Y_{эк}$) производится определение уровня контейнерной привлекательности региона $П_R$.

$$П_R = f\{Y_{кп}, Y_{mp}, Y_{эк}\}. \quad (15)$$

В исследовании обоснованы возможные виды функций f .

В четвертой главе – «Методы кластерного анализа для размещения терминально-логистических объектов КТС» произведён анализ и выбор методов кластерного анализа для решения задач по выбору мест рационального размещения терминально-логистической инфраструктуры, обосновывается корректность и правомерность использования предложенного математического аппарата, а также связь функционалов качества кластеризации с экономическими критериями.

Из вышеизложенного во второй главе, следует, что для решения задачи оптимального выбора конфигурации многоуровневой КТС при заданных объектах промышленного производства и потребления на заданной территории необходимо разработать количественную модель, которая позволит математически поставить и решить разнообразные задачи проектирования. В работе показано, что для решения задач, связанных с выбором мест расположения объектов КТС, целесообразно использовать единую методологию, основанную на методах кластерного анализа (*clustering*). Эти методы базируются на математической теории разбиения множеств на

подмножества и включают многие алгоритмы практического решения задач большой размерности при значительно меньшей сложности вычислений.

В работе сформулирован критерий оптимальности кластеризации, вытекающий из постановки задач оптимизации мест расположения КТ и КНРЦ. Так при решении задачи «привязки» клиентов к региональным КТ, в качестве критерия оптимизации был выбран минимум затрат на доставку грузов клиентов на КТ. Величина этих затрат выражается в затратах тонно-километров. То есть, если каждый клиент перевозит объём груза V_i до КТ, расположенного в центре кластера X_k^* , то суммарные затраты на перевозку определяются выражением

$$E = \sum_{k=1}^K \sum_{X_i \in S_k} V_i d(X_i, X_k^*) \rightarrow \min. \quad (16)$$

Отсюда следует, что разбиение на кластеры (S_1, S_2, \dots, S_K) должно быть таким, чтобы, именно, величина E была минимальна. При заданном числе кластеров необходимым условием минимума функции E является то, что центры кластеров должны находиться в «центрах тяжести» кластеров.

Пусть координаты i -го клиента определяются в плоской системе координат x_i, y_i и имеют «вес» V_i . Следовательно, имеем случай кластеризации n объектов (клиентов), каждый из которых характеризуется двумя параметрами ($m = 2$) на K кластеров. Тогда центры тяжести кластеров определяются формулами:

$$x_k^* = \bar{x}_k = \frac{\sum_{i \in G_k} V_i x_i}{\sum_{i \in G_k} V_i}, \quad (17)$$

$$y_k^* = \bar{y}_k = \frac{\sum_{i \in G_k} V_i y_i}{\sum_{i \in G_k} V_i}. \quad (18)$$

В работе были исследованы основные методы кластеризации, согласно произведённым экспериментам, определена их вычислительная сложность и в качестве основного метода кластеризации предложен *k-means* Мак-Куина (*k*-средних), в котором кластеры и их центры минимизируют сумму квадратов расстояний от точек до своих центров тяжести. Вычислительная сложность метода *k*-средних оценивается как $O(nkl)$, где k – число кластеров, l – число итераций.

Использование данного метода приводит к минимизации суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от центров этих кластеров:

$$Q = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in G_k} \sum_{j=1}^m (x_{ijk} - x_{jk}^*)^2 \rightarrow \min, \quad (19)$$

где x_{jk}^* - координаты центра тяжести k -го кластера;

K - число кластеров;

G_k - полученные кластеры, $k=1, 2, \dots$;

x_k^* - центры масс векторов - точек x_i в m -мерном пространстве $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$.

Для случая точек на плоскости $m=2$ с декартовыми координатами (x_i, y_i)

$$Q = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in G_k} (x_{ik} - x_k^*)^2 + (y_{ik} - y_k^*)^2 \rightarrow \min. \quad (20)$$

На каждой итерации определяется новый центр тяжести кластера, полученного на предыдущем шаге. После этого объекты снова разбиваются на кластеры из условия: какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике к разбиваемым объектам.

Если на какой-то итерации не происходит изменения центров кластеров, то алгоритм завершается. Завершение работы алгоритма происходит за конечное число итераций, при этом на каждом шаге суммарное квадратичное отклонение Q не увеличивается, и поэтому заикливание алгоритма невозможно. Известно, что сложность таких вычислений по времени оценивается как $2^{\Omega(\sqrt{n})}$.

Процедура кластеризации для метода *k-means* начинается с того, что задаются K выбранных объектов, которые будут служить начальными эталонами - центрами кластеров. Несмотря на сходимость алгоритма к некоторому решению, полученный результат зависит от выбранного первоначального эталона и является локально-оптимальным. Поэтому важную роль играет правило выбора начальных эталонов и изучение результатов, получаемых при других эталонах. В работе изучены оценки глобального минимума и получения среднестатистических результатов оптимизации.

В пятой главе – «Методология оптимального размещения терминально-логистических объектов на основе новых методов и алгоритмов» разработан комплекс математических моделей оптимизации выбора мест расположения и количества КТ на первом уровне и КНРЦ на втором уровне двухуровневой модели КТС. Это позволяет с учётом заданного или произвольного количества кластеров количественно оценить оптимальные и подоптимальные решения, полученные как результат работы разработанного метода кластеризации.

Предложенный в четвёртой главе метод кластеризации на основе классического алгоритма *k-means* находит оптимальный «центр» в любой геометрической точке пространства. Вместе с тем, при определении мест расположения объектов терминально-логистической инфраструктуры (КТ и КНРЦ) приходится считаться с тем, что центр обязательно должен находиться на железнодорожной сети. Поэтому предложено производить проектирование центра, получаемого классическим алгоритмом, на железнодорожную станцию. В этих целях в настоящей работе разработан метод кластеризации «с проекцией», названный *k-means pro*.

Приведём описание метода кластеризации «с проекцией» *k-means pro*.

Пусть задано исходное множество объектов J ($j=1, n$), подлежащих кластеризации, характеризуемые своими координатами $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, их веса $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ и допустимое множество проекций P ($r=1, p$), со своими координатами $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$. Таким образом j -й объект и r -я допустимая точка-проекция задаются в G -мерном пространстве R^G , а именно: $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jG})$ и $y_r = (y_{r1}, \dots, y_{rG})$. Обозначим разбиение исходного множества на k кластеров в виде набора подмножеств $S = \{S_1, \dots, S_k\}$.

Задан параметр k - число кластеров, на которые производится разбиение множества X . В результате необходимо получить оптимальное разбиение $S^* = \{S_1^*, \dots, S_k^*\}$, центры которого являются оптимальным множеством проекций $C^* \subseteq Y$.

Обозначим: i, i' - номера кластеров, j - номер объекта, r - номер точки множества проекций, l - номер координаты точки, m - текущая итерация, G - размерность пространства, в котором выполняется кластеризация, n - количество объектов исходного множества, p - количество точек допустимого множества проекций.

Расстояние между точками t_1 и t_2 в G -мерном пространстве определяем по Евклидовой метрике:

$$d(t_1, t_2) = \sqrt{\sum_{l=1}^G (t_{1l} - t_{2l})^2}. \quad (21)$$

1. Выбираем начальное разбиение $S^0 = \{S_1^0, \dots, S_k^0\}$:

$$S_i^0 = \{x_{i1}^0, \dots, x_{in}^0\}, \bigcup_{i=1}^k S_i^0 = X, S_i^0 \cap S_{i'}^0 = \emptyset, i \neq i'. \quad (22)$$

2. Для каждого m -го разбиения $S^m = \{S_1^m, \dots, S_k^m\}$, начиная с $S^0 = \{S_1^0, \dots, S_k^0\}$, вычислим набор средних векторов (центров)

$E^m = \{e_1^m, \dots, e_k^m\}$, т.е. $e_i^m = (e_{i1}^m, \dots, e_{iG}^m)$,

здесь

$$e_{il}^m = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_j x_{jl}}{\sum_{j=1}^n v_j}, \quad (23)$$

где n_i - количество элементов (точек) i -го кластера.

3. Для m -го разбиения вычислим также множество проекций средних:

$$C^m = \{y \in Y : \forall i, d^*(y, e_i^m) = \min_{1 \leq r \leq p} d(y_r, e_i^m)\}. \quad (24)$$

4. Вычислим разбиение, порожаемое множеством C^m , и возьмем его в качестве $S^{m+1} = (S_1^{m+1}, \dots, S_k^{m+1})$, т.е.

$$S_i^{m+1} = \left\{ x \in X : d(x, c_i^m) = \min_{1 \leq i' \leq k} d(x, c_{i'}^m) \right\}, \quad 1 \leq i \leq k. \quad (25)$$

5. Проверяем: если $S^{m+1} \neq S^m$, то заменяем m на $m + 1$ и переходим к п. 2, а если $S^{m+1} = S^m$, то на этом алгоритм заканчивается. Полагаем $S^m = S^*$, $C^m = C^*$.

Критерием оптимизации в классическом алгоритме *k-means* является функционал

$$F(S) = \sum_{i=1}^k \sum_{X \in S^i} \|X - e_i(S)\|^2.$$

Функционал $F(S)$ при переборе разбиений $S^0, S^1, \dots, S^m, \dots$, не возрастает, причем равенство $F(S^m) = F(S^{m+1})$, возможно только, если выполняется равенство $S^m = S^{m+1}$. Таким образом, через конечное число шагов алгоритм заканчивает работу для любого начального разбиения S^0 . В рассматриваемом случае, достигаемый критерий оптимизации для найденных центров c_i^* имеет вид

$$F'(S) = \sum_{i=1}^k \sum_{X \in S^i} \|X - c_i^*(S)\|. \quad (26)$$

В результате расчётов каждый раз получаем локальный минимум $F(S)$. Координаты начального эталона e^0 в настоящей работе выбирались случайными числами, равномерно распределенными в пределах возможных координат исходных точек. Чтобы проверить устойчивость результатов и получить различные усредненные зависимости, выбор e^0 изменялся.

На рисунке 3(а), для примера, показаны результаты кластеризации точек на основе метода *k-means*, а на рисунке 3(б) – соответственно на основе *k-means pro*. Железнодорожная магистраль в данном примере представлена в виде

«синусоиды» (+ изображены центры кластеров, о – точки - железнодорожные станции).

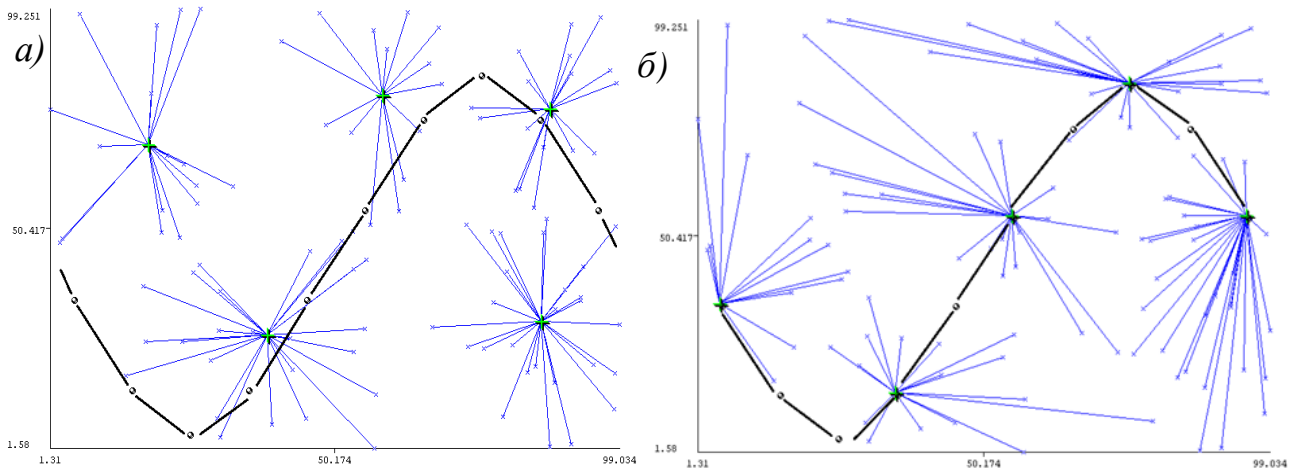


Рисунок 3 – Пример кластеризации по методам: а) – метод *k-means*, б) метод – *k-means pro*

Обоснованность формируемых кластеров, т.е. приемлемость полученных результатов по установлению мест расположения КТ, определялась валидацией кластеров. Для валидации применяются самые разнообразные индексы, выражающие качество результатов кластеризации. Наиболее популярным является индекс Дэвиса - Болдина, который был использован в работе:

$$DB = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k \max_{i \neq j} \left\{ \frac{S_k(Q_i) + S_k(Q_j)}{S(Q_i, Q_j)} \right\}, \quad (27)$$

где k - количество кластеров;

S_k - среднее расстояние от объектов до центра кластера;

$S(Q_i, Q_j)$ - расстояние между центрами кластеров.

Критерий, выражающий целевое предназначение кластеризации: выбор мест расположения КТ как центров кластеров среди всех заданных станций сети железных дорог, определялся, исходя из следующих условий:

1. Количество центров (КТ) задано. Это будет тогда, когда при проектировании определены инвестиционные ресурсы на создание всех КТ, и известна средняя нормативная стоимость одного КТ. В данном случае сами затраты на создание всех КТ не оптимизируются, а в качестве критерия выступают затраты на перевозку грузов от всех клиентов до своих КТ:

$$E_1 = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s \rightarrow \min, \quad (28)$$

где E_1 - затраты грузоотправителей на подвоз продукции от предприятия до КТ;

D_i - расстояние перевозки от предприятия до КТ;

V_i - объём производимой/добываемой контейнеропригодной продукции;

s - расходная ставка на перевозку.

2. Количество КТ не задано (k неизвестно), но известна средняя стоимость одного КТ - c . Критерием оптимизации выступает сумма общих затрат на перевозку и создание КТ:

$$E = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s + c \cdot k \cdot \gamma \rightarrow \min, \quad (29)$$

где γ – нормативный коэффициент эффективности.

Решение поставленной задачи в диссертационном исследовании производилось следующими методами кластерного анализа: *k-means* Мак-Куина (*k-средних*); *k-means* «с проекцией» на последнем шаге; *k-means* «с проекцией» (*k-means pro*). При этом методы, реализующие кластеризацию, были обозначены, как алгоритм 1, алгоритм 2, алгоритм 3 соответственно.

Для проведения экспериментальных и практических расчетов была написана программа на языке JavaScript. Она реализуется в нескольких режимах - с заданным или произвольным количеством кластеров.

В результате проведения экспериментов выявились следующие закономерности: уменьшение суммарного расстояния при увеличении числа кластеров k (КТ); сокращение общих затрат на перевозку при увеличении k . С этой точки зрения, чем больше КТ, тем меньше затраты на перевозку продукции от производств до КТ. Результаты выполнения алгоритма 1, алгоритма 2 и алгоритма 3 в виде графика зависимостей представлены на рисунке 4.

Результаты оптимизации количества КТ по критерию общих затрат E на проект создания сети представлены на рисунке 5. На графиках видно, что величина c влияет на оптимальное количество КТ. Эта величина является приведенной и увязывает затраты на доставку контейнеропригодной продукции на КТ (E_1) и инвестиционные затраты (ck). Это требует оценки срока окупаемости КТ. Отсюда следует, что оптимизация числа КТ должна проходить при тщательной оценке инвестиционных затрат.

В работе были рассмотрены отличия в результатах, получаемых на основе классического метода кластеризации *k-means* и метода кластеризации «с проекцией» *k-means pro*.

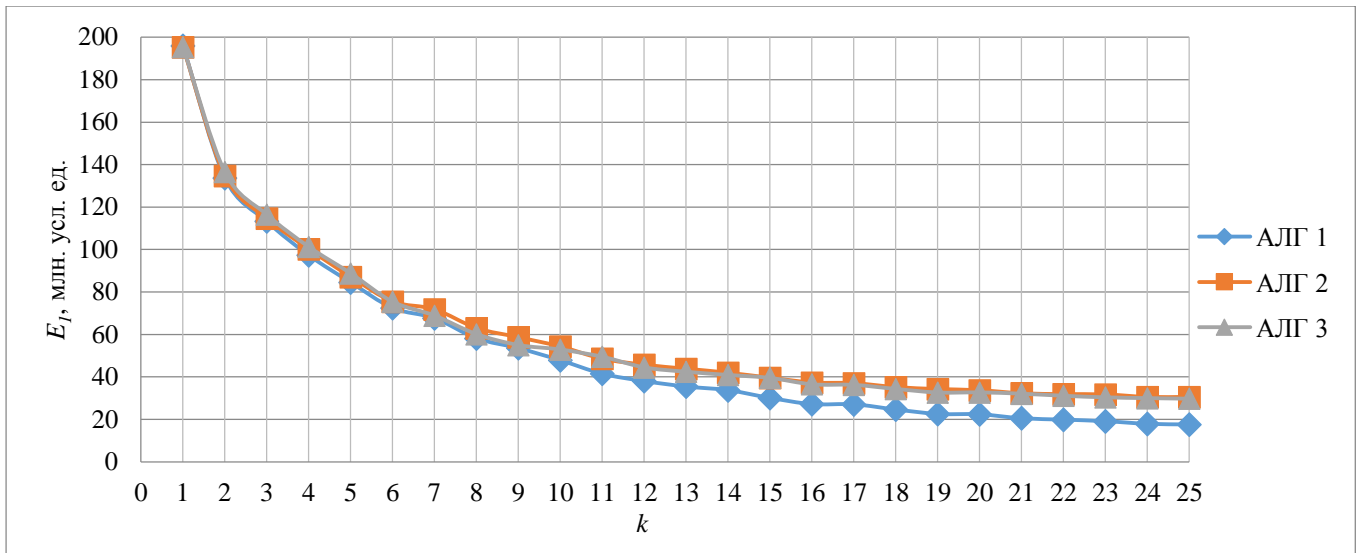


Рисунок 4 - Зависимости затрат грузоотправителей на перевозку от количества кластеров (планируемых к строительству КТ)

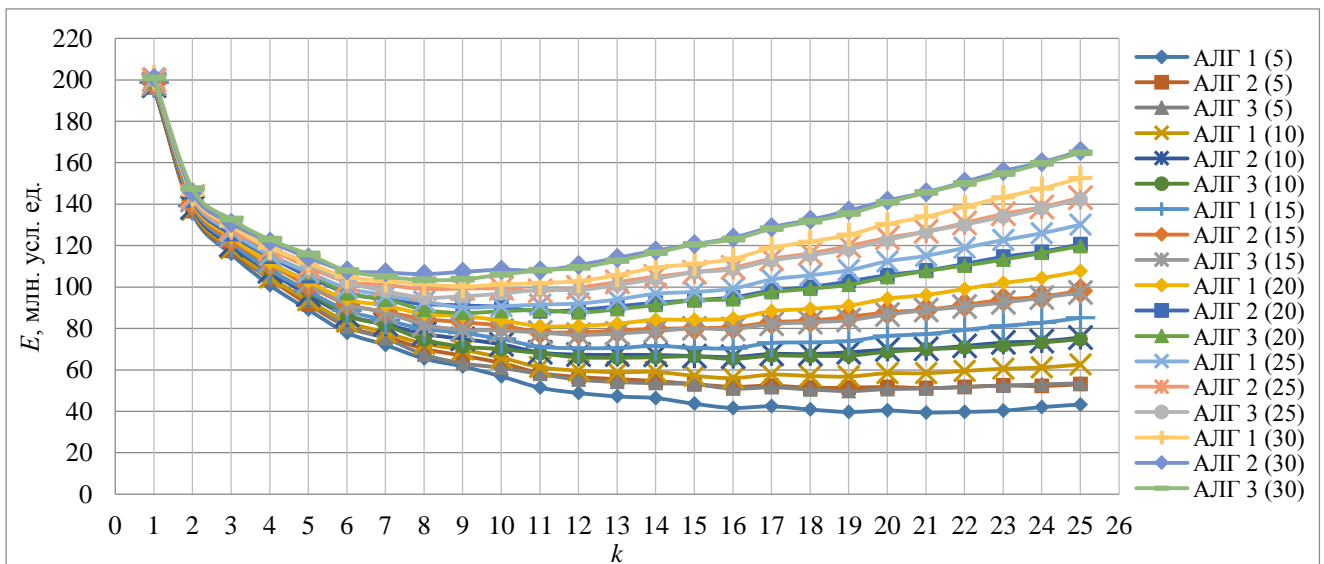


Рисунок 5 – Зависимости общих затрат от количества КТ при различных инвестиционных затратах

В разработанном методе кластеризации *k-means pro* центры кластеров обязательно должны находиться на станциях. Это ограничивает возможности получения лучших значений критерия для процесса кластеризации, так как на каждой итерации полученные центры кластеров проектируются на железнодорожную станцию. При этом получаем вариант кластеризации с худшим значением критерия E_{1np} , вычисленного с использованием величины D_{np} .

Для метода кластеризации *k-means*

$$D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} d(x_{ij}, e_i), \quad d(x_{ij}, e_i) = \sqrt{(x_{ij1} - e_{i1})^2 + (x_{ij2} - e_{i2})^2}. \quad (30)$$

Для метода кластеризации *k-means pro*

$$D_{np} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} d(x_{ij}, c_i^*), \quad d(x_{ij}, c_i^*) = \sqrt{(x_{ij1} - c_{i1}^*)^2 + (x_{ij2} - c_{i2}^*)^2}. \quad (31)$$

Вводится понятие «дефекта проекции» как разницы величины критерия качества кластеризации «с проекцией» и «свободной» кластеризации $\Delta = E_{1np} - E_1$. На рисунке 6 представлена зависимость Δ / E_1 от k .

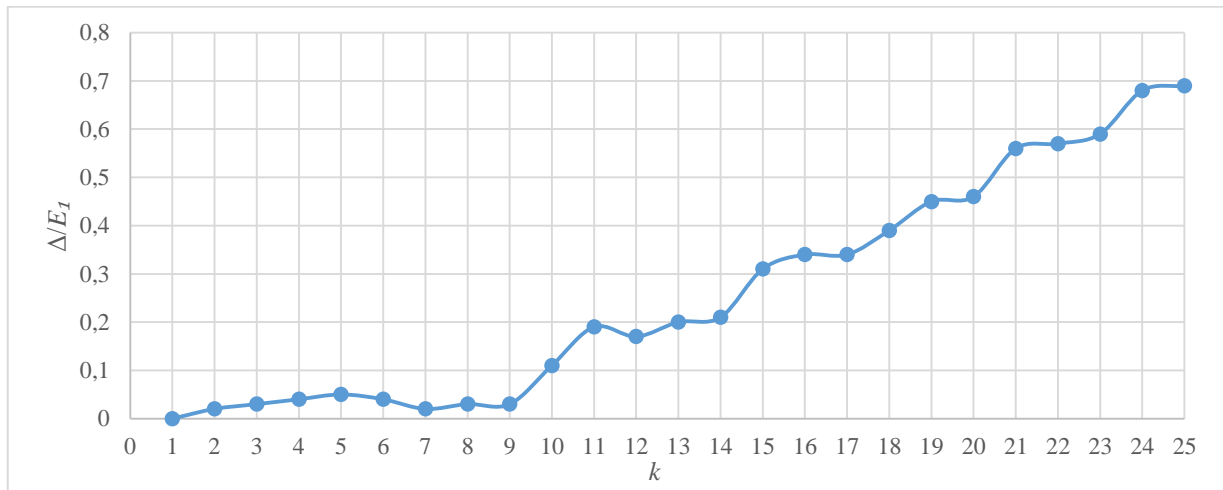


Рисунок 6 - Зависимость Δ / E_1 от k

При значительном увеличении числа КТ дефект проекции растёт. Отсюда следует, что, когда разница Δ значительна (в проведенных экспериментах она достигала 30-40%), возможно, выгоднее создавать новые объекты терминально-логистической инфраструктуры, а не размещать КТ или КНРЦ на уже существующих.

Вышеприведенные зависимости дают возможность количественно оценить различные варианты при проектировании КТС.

В результате решения задачи кластеризации первого уровня определяются КТ. Каждая такая точка-КТ помимо координат характеризуется «весом», который определяется объёмом перерабатываемых контейнеров.

Далее находятся КНРЦ как центры кластеров для точек-КТ, из условия что КНРЦ должны быть центрами некоторых кластеров. Разбиение на кластеры в этом случае должно быть таким, чтобы с учетом объёмов КТ получались, как можно более компактные в координатах (x, y) , кластеры, а их центры, как можно дальше были друг от друга. Таким образом, кластеризуемыми признаками являются лишь координаты (x, y) , а все остальные признаки будут дополнительными. С учетом объёмов, как показано выше, это приводит к минимизации общих затрат на перевозку грузов от КТ до КНРЦ.

На уровне предварительного проектирования мест расположения КНРЦ возможно два варианта постановки задачи.

1. При имеющихся инвестиционных средствах A построить $K = A/C$ КНРЦ в местах, оптимизирующих интегральный показатель эффективности, где C - средняя стоимость КНРЦ.

2. Построить оптимальное количество КНРЦ, оптимизирующих интегральный показатель эффективности с учетом затрат на создание сети КНРЦ. Эти затраты будут $K \cdot C$.

Для оптимизации мест размещения КНРЦ с использованием методов кластеризации была разработана следующая математическая модель.

Пусть заданы координаты и параметры железнодорожных станций (их номера $l = 1, 2, \dots, L$) и уже найдены k номеров станций из L , в которых будут КТ. Необходимо найти K номеров станций, в которых будут располагаться КНРЦ.

На первом этапе будем считать, что кандидатами на размещение КНРЦ могут быть любые станции из общего списка. Представим эту задачу как задачу нахождения центров кластеров станций-КТ. Решение выполняется на основе разработанного метода кластеризации *k-means pro*. При этом можно получить не только оптимальный вариант по критерию затрат на перевозку грузов от всех КТ до своих КНРЦ, но и некоторое количество подоптимальных вариантов, имеющих очень близкие критериальные значения.

Решив многократно задачу оптимального размещения сети КНРЦ для некоторых значений числа кластеров K (количества КНРЦ), были получены зависимости суммарных расстояний D и суммарных затрат E на перевозку от КТ до КНРЦ, величины которых уменьшаются с ростом K .

Если проект уже предполагает выделение инвестиций на создание всех КНРЦ, то K определяется делением инвестиционных затрат на стоимость одного КНРЦ.

$$K = \frac{E_{\text{КНРЦ}}}{C}. \quad (32)$$

Тогда полученные результаты позволяют оценить оптимальные параметры сети КНРЦ и их расположение.

Также был рассмотрен вопрос создания сети КНРЦ, когда можно варьировать количество создаваемых КНРЦ.

Как и в случае с оптимизацией сети КТ, можно оценить оптимальное количество КНРЦ из условия суммарных затрат на перевозку и создание всех КНРЦ.

$$E_{\text{КНРЦ}} = s_2 D'(K) + CK \rightarrow \min, \quad (33)$$

где $D'(K)$ – общее расстояние при перевозках от КТ до КНРЦ;
 s_2 – затраты на 1 км перевозки;
 C – средняя стоимость создания одного КНРЦ;
 K – количество создаваемых КНРЦ.

Зависимость суммарных затрат на перевозку и создание всех КНРЦ от их количества при разных значениях C (принятых условно, для выявления зависимостей) представлена на рисунке 7. Из данных графиков можно получить оценку величин C , для которых оптимальна величина K .

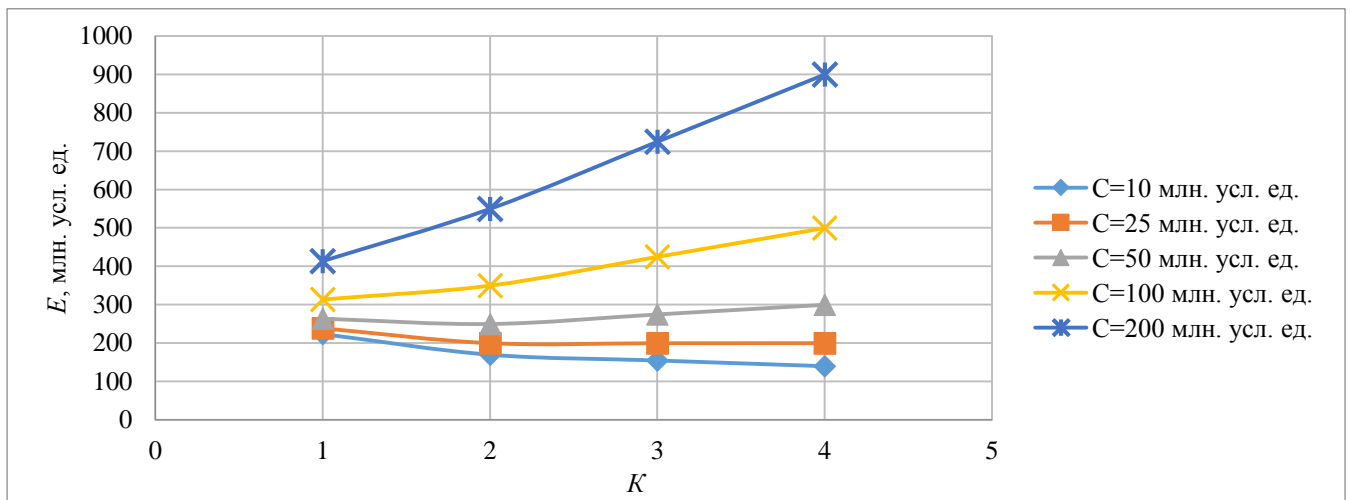


Рисунок 7 – Зависимости суммарных затрат на перевозку от КТ до КНРЦ и создание всех КНРЦ

На втором этапе рассмотрим свойства точек-станций и дополнительные критерии оптимальности выбора мест размещения КНРЦ.

Рассмотренные методы оптимизации мест расположения КНРЦ на основе кластерного анализа предполагают минимизацию общих затрат на перевозку грузов от КТ до КНРЦ. После получения оптимального центра при выборе одной из ближайших станций такие затраты отличаются незначительно, поэтому более целесообразно применять критерий проекции центра на ближайшую станцию, слабо зависящий от расстояния d_{lc} , и более чувствительный к функциональным критериям z_1, \dots, z_9 станций как потенциальных кандидатов на КНРЦ. Тогда методика «проекции» точки (x_c, y_c) на «ближайшую» станцию следующая.

Введем в рассмотрение свойства точек-станций и критерии оптимальности выбора местоположения КНРЦ. Каждая точка-станция имеет q координат, которые определяют её свойства по отношению к тому, насколько эта точка удовлетворяет целям создания в ней КНРЦ. Первые две координаты - это координаты местности в плоской системе координат (x, y) . Далее идут компоненты вектора координат, количественно измеряющие критерии создания КНРЦ. Каждая компонента должна быть выражена в условных единицах, сопоставимых с другими координатами. Для этого исходные данные о значениях критериев z_1, \dots, z_9 необходимо преобразовать в безразмерные величины. В работе был использован наиболее распространенный способ нормировки величин z в виде

$$z_{\text{норм}} = \frac{z - \bar{z}}{\sigma_z}, \quad (34)$$

где \bar{z} - среднее значение;

σ_z - среднеквадратическое отклонение величин z .

Порядок расчетов следующий. Выбирается некоторая окрестность радиуса R_c . В неё попадает несколько станций с номерами $l_c = (1, 2, \dots, t)$. Для этих станций составляется матрица критериев z_1, \dots, z_9 и производится многокритериальная оптимизация.

Для учета всех свойств точек-станций необходимо обеспечить выполнение главного правила - чем большие значения имеют компоненты координат z_1, \dots, z_9 у точек-станций, тем более целесообразно выбирать центр-КНРЦ в этой точке-станции. Строго говоря, осуществление такого правила в общем случае противоречиво, поскольку точка может быть лучше по одному критерию и хуже по-другому. Если считать все компоненты z_1, \dots, z_9 независимыми, то решением задачи может быть лишь выделение из всех точек кандидатов КНРЦ множества Парето - безусловно несравнимых вариантов, оставшихся после отсеивания безусловно худших вариантов.

В работе приведены результаты получения Парето-оптимальных вариантов КНРЦ и далее с использованием свертки критериев дана методика получения единственного условно-оптимального варианта расположения КНРЦ.

Далее решается задача оптимизации всей двухуровневой КТС. Для этого необходимо минимизировать общие затраты на инфраструктуру двухуровневой КТС и затраты на перевозку

$$E = E_{KT} + E_{КНРЦ} \rightarrow \min. \quad (35)$$

В работе показано, что такую глобальную задачу целесообразно решать на основе методов кластеризации отдельно для каждого уровня: 1-й уровень – «производства - КТ»; 2-й уровень – «КТ - КНРЦ», но с учетом возможного перебора вариантов с разным количеством k и K .

$$E(k, K) = E_{КТ}(k) + E_{КНРЦ}(K) \rightarrow \min. \quad (36)$$

Очевидно, что выбор k и K противоречив. При увеличении числа КТ (величины k) уменьшаются затраты на перевозку от предприятий до КТ, при этом увеличиваются затраты на перевозку от КТ до КНРЦ, т.е. уменьшение первого слагаемого в вышеприведенной формуле может увеличить второе слагаемое. С другой стороны, увеличение числа k и K уменьшает затраты на перевозку, но требует увеличения инвестиционных затрат на создание сети КТ и КНРЦ.

Вышеприведенные методы, модели и методики показывают порядок расчетов различных постановок практических задач проектирования и создания инфраструктуры КТС.

В шестой главе - «Организация функционирования КТС на основе разработанных методов и алгоритмов» предложена методика моделирования двухуровневой терминально-логистической инфраструктуры КТС и произведена апробация предложенной концепции на основе разработанного практического инструментария, позволяющего производить эксперименты для выбора наиболее эффективной структуры КТС.

Задачу моделирования двухуровневой терминально-логистической инфраструктуры КТС можно сформулировать как многоуровневую и многокритериальную, состоящую из ряда последовательно решаемых задач: прогнозирования, определения количества и мест размещения КТ, определения количества и мест размещения КНРЦ, оптимизации полученной двухуровневой сети по критерию стоимости и окончательного многокритериального выбора мест размещения КНРЦ.

Алгоритм моделирования двухуровневой терминально-логистической инфраструктуры представлен на рисунке 8.

На первом этапе необходимо определить предприятия, добывающие или производящие продукцию, т.е. потенциальных грузовладельцев, произвести оценку уровня контейнеропригодности добываемой или производимой продукции и её объём, согласно методике, приведенной в третьей главе

диссертационного исследования. Кроме того, необходимы географические координаты для определения их физического расположения.

На втором этапе создается база данных железнодорожных станций с географическими координатами и таблицей векторов (z_1, \dots, z_9) для многокритериального анализа параметров создания КНРЦ.

На следующем этапе приступаем к моделированию и проектированию расположения терминальной инфраструктуры КТ на основе разработанной методологии, основанной на кластерном анализе и клиентоориентированном подходе. Все расчёты на основе предложенного метода *k-means pro* реализуются с помощью разработанного программного средства.

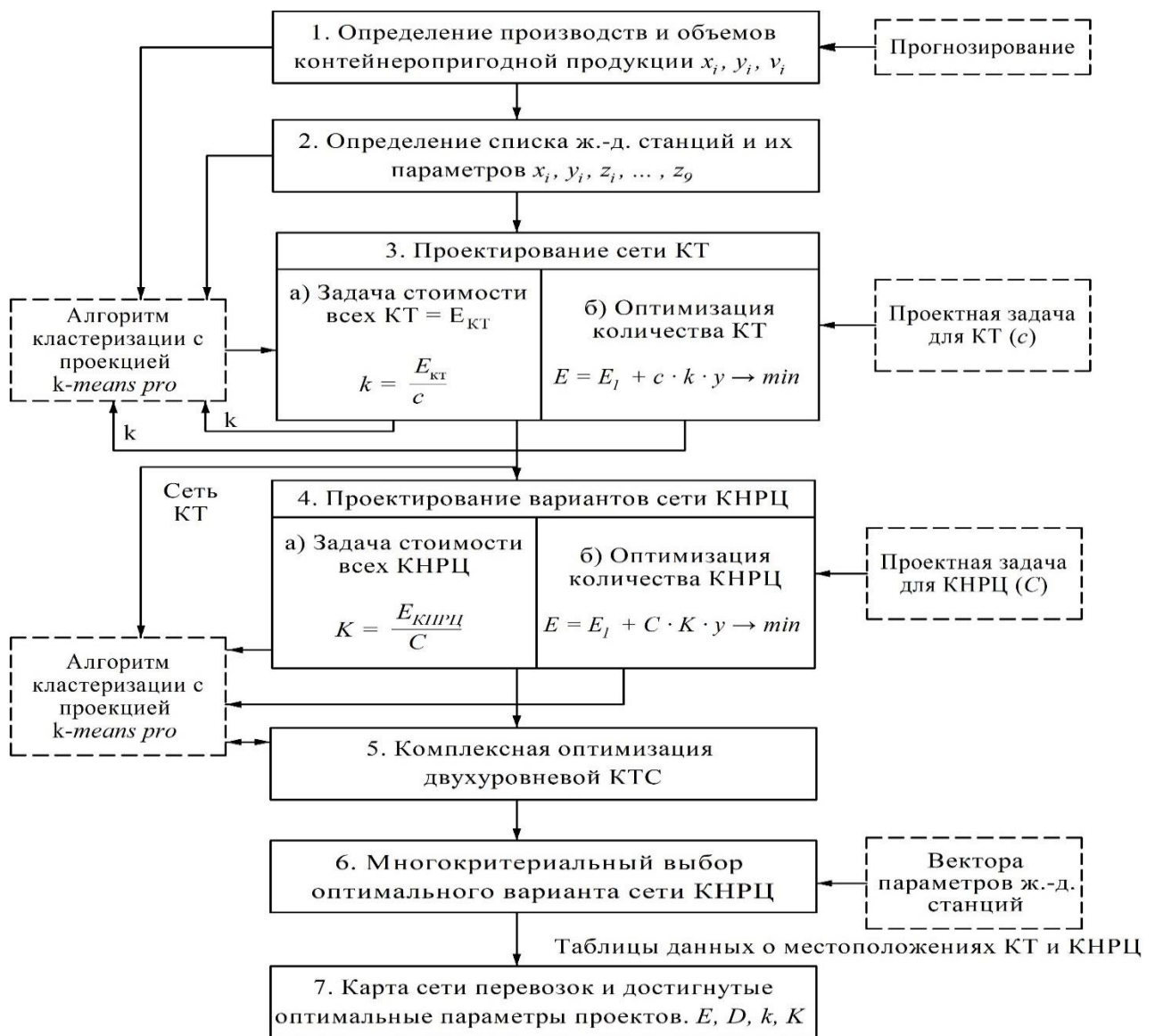


Рисунок 8 – Алгоритм моделирования двухуровневой структуры КТС

Показанные на блок-схеме блоки справа являются дополнительными для основной схемы и описывают возможное развитие методики за счет использования детализированных расчетов, например, прогнозирования объемов производств в рамках рассматриваемого региона и (или) изменения постановок оптимизационных задач. В схеме отображены только две главные постановки таких задач, а) и б), хотя, как отмечено выше, могут быть постановки задач с уже заданной частью сети КТ или с наличием ограничений на финансирование.

На четвертом этапе после определения оптимального количества КТ и мест их размещения, согласно многокритериальному анализу, переходим к моделированию второго уровня КТС, т.е. созданию сети КНРЦ для организации и продвижения ускоренных контейнерных поездов. Как показано в предыдущих главах, для определения мест оптимального расположения КНРЦ, где исходными точками являются уже полученные точки-КТ, могут быть использованы разработанные ранее методы и программное средство.

На пятом этапе производим оптимизацию полученной двухуровневой сети по критерию стоимости, согласно выражению (36). Для этого осуществляем ограниченный перебор структур сети – пар (k, K) вблизи оптимальных значений k_{opt} и K_{opt} , полученных при решении отдельных задач выбора КТ и КНРЦ соответственно.

На шестом этапе производится многокритериальный выбор оптимального варианта сети КНРЦ для окончательного решения о месте размещения КНРЦ. Для этого отдельно выделена задача формирования векторов параметров железнодорожных станций – кандидатов на создание в них КНРЦ, позволяющая при окончательном решении о месте размещения КНРЦ, руководствоваться дополнительными критериями, учитывающими особенности железнодорожных станций-кандидатов. Многокритериальный анализ вариантов КНРЦ производится среди подоптимальных вариантов, имеющих близкие к оптимальному значения общих затрат.

На заключительном этапе выдается таблица данных о месторасположении и количестве КТ и КНРЦ, карта сети и достигнутые оптимальные параметры проектов, а именно затраты на перевозку от клиентов до КТ, затраты на перевозку от КТ до КНРЦ, сумма общих затрат на перевозку и затрат на создание оптимальной КТС. Кроме этого, вычисляются и другие параметры сети: среднее расстояние перевозки от клиента до КТ, среднее расстояние между КТ, среднее расстояние от КТ до КНРЦ и среднее расстояние между КНРЦ.

В диссертационном исследовании были проведены практические расчеты для 900 предприятий и 145 железнодорожных станций, расположенных на территории Приволжского федерального округа (ПФО).

Приведенные в диссертационной работе характеристики ПФО показывают большую размерность поставленной для решения задачи и позволяют оценить возможность применения разработанной методологии для всех федеральных округов и территории РФ в целом.

Исследования проводились по различным вариантам постановок задач оптимизации размещения терминально-логистических объектов: а) определить на существующей сети КТ ПФО необходимое количество КНРЦ и места их размещения; б) определить оптимальное месторасположение существующего количества КТ в ПФО согласно современному распределению грузовой базы. Относительно получившейся новой структуры первого уровня определить необходимое количество КНРЦ и места их размещения; в) с учетом существующей сети КТ ПФО оптимальным образом разместить планируемые к строительству (согласно постановлениям областей и республик ПФО) новых 29 транспортно-логистических объектов. Относительно получившейся сети разместить КНРЦ; г) на рассматриваемой территории ПФО создать двухуровневую сеть терминально-логистических объектов КТС, исходя из уровня контейнерной привлекательности республик и областей, в соответствии с заданными критериями оптимизации.

Графики суммарных затрат для различных оптимальных структур двухуровневой сети КТС ПФО, согласно перечисленным вариантам, приведены на рисунке 9 а), б), в), г) соответственно.

Проанализировав территориальные изменения в размещении КТ по существующему варианту расположения и расчётным, было выявлено, что только 54 % КТ ПФО в настоящее время размещены оптимально существующему расположению грузовой базы контейнеропригодной продукции.

По результатам проведенных экспериментов установлено, что оптимальным в настоящих условиях является вариант, учитывающий формирование современной КТС на основе уже существующей инфраструктуры. Он показывает реальную возможность сократить расходы, связанные с доставкой контейнеров, и оптимизировать расходы клиентов. Так, результаты расчетов показывают сокращение расходов клиентов на доставку своей продукции на КТ на 33 %. Общие затраты, связанные с организацией перевозки при формировании инфраструктуры, согласно оптимизационным расчетам по третьему варианту, относительно

существующего, сократились на 6,7 млрд. руб./год, что, в свою очередь, подтверждает необходимость развития и строительства новых терминально-логистических объектов, но с учетом развития центров промышленного производства, которые должны обеспечить их загрузку и эффективное использование.

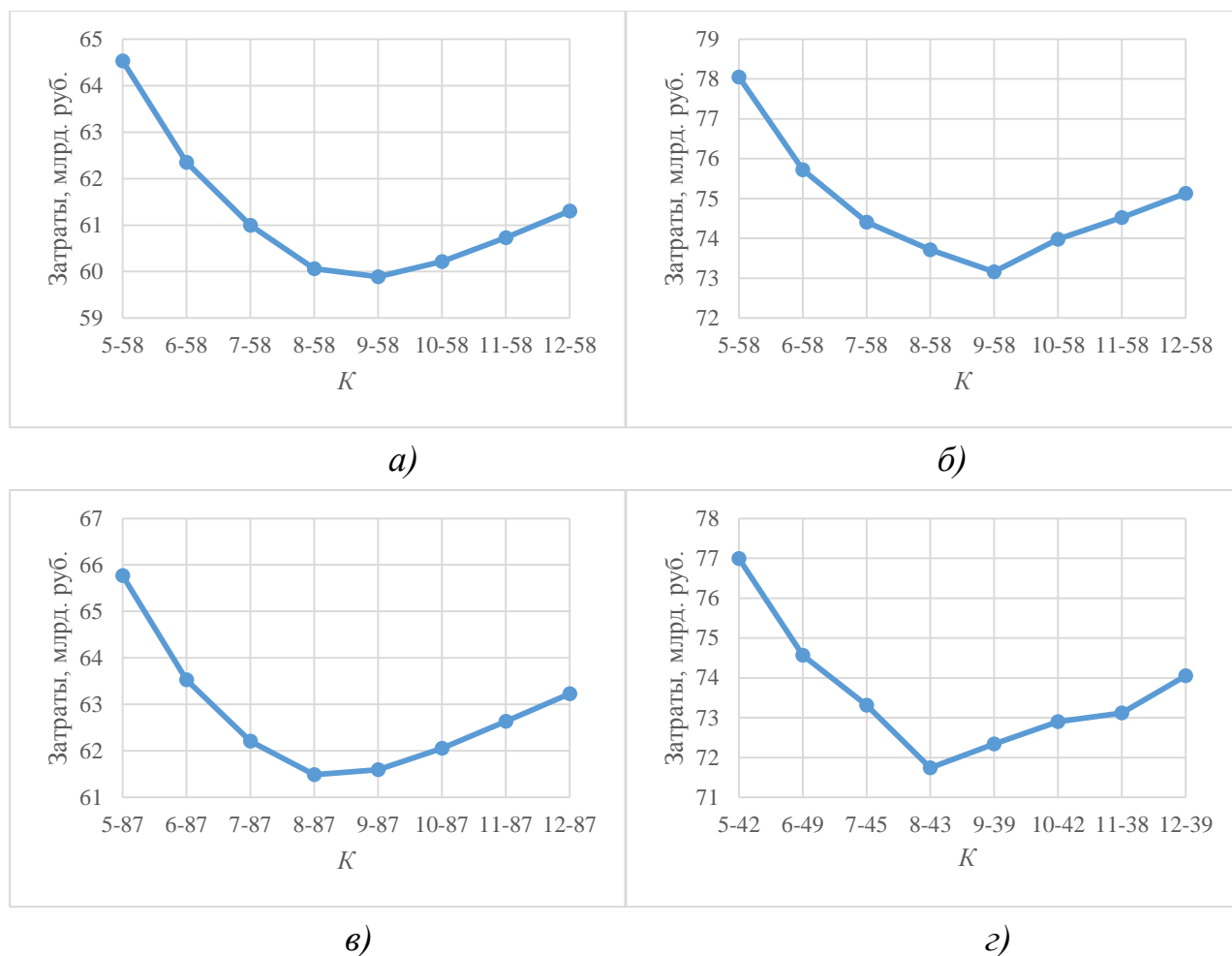


Рисунок 9 - Графики суммарных затрат для различных оптимальных структур двухуровневой сети КТС ПФО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации автором разработана методология организации функционирования КТС на основе клиентоориентированной организации перевозок грузов. В том числе получены следующие результаты.

1. Разработаны теоретико-методологические основы формирования и организации функционирования КТС в условиях массового внедрения технологии контейнерных поездов, а также предложена концептуальная модель двухуровневой

терминально-логистической инфраструктуры КТС, основанная на принципах клиентоориентированности.

2. Уточнено понятие «уровень контейнеризации», исследованы возможные варианты определения уровня контейнеризации и рекомендован свой вариант его определения. Введен новый показатель «уровень контейнерной привлекательности региона», характеризующий его потенциал в части развития контейнерных перевозок.

3. Разработана методика определения уровня контейнерной привлекательности региона, учитывающая контейнеропригодность производимой (добываемой) на его территории продукции, развитие транспортной инфраструктуры данного региона, а также прогноз изменения социально-экономической ситуации в регионе и государстве.

4. Разработана математическая модель многокритериальной оценки уровня контейнеропригодности производимой (добываемой) продукции, позволяющая определять контейнеропригодность конкретной грузовой базы.

5. Выявлено, что математическое моделирование и решение задач оптимального выбора мест размещения терминально-логистических объектов транспортной системы при помощи графовых моделей и методов математического программирования при многих комбинаторных ограничениях приводят к сложным вычислительным процедурам переборного характера, что не позволяет применять их в рамках территорий федеральных округов или всей страны.

6. Для решения общей задачи создания оптимальной двухуровневой сети контейнерных перевозок, реализующей технологию контейнерных поездов на принципах клиентоориентированности, предлагается применение единой методологии, основанной на известных и развитых методах кластерного анализа, позволяющих производить разбиение множества объектов на подмножества со своими центрами, обладающими оптимальными свойствами. Это позволило решить задачи оптимизации размещения объектов терминально-логистической инфраструктуры, определения их потребного количества и мощности, с учётом минимизации транспортных затрат и инвестиций.

7. На основе классического метода кластеризации *k-means* разработан новый метод кластеризации *k-means pro*, позволяющий решать задачу кластеризации с проекцией на железнодорожную сеть, и обосновано его применение для решения практических задач, связанных с размещением транспортно-логистической инфраструктуры.

8. Разработаны математические модели определения количества КТ и мест их размещения на основе методов кластеризации, позволяющие решать поставленные задачи при наличии инвестиционных ограничений, и/или когда часть множества КТ уже задана.

9. Разработана математическая модель определения количества и мест размещения КНРЦ на основе методов кластеризации, позволяющая взаимно увязывать различные исходные параметры производств и железнодорожной сети с разнообразными целевыми характеристиками.

10. Разработана методика для расчета оптимального варианта сети КНРЦ с учетом дополнительных характеристик железнодорожных станций-кандидатов на основе многокритериального выбора, позволяющая с применением методов векторной оптимизации, практически определить оптимальные места создания КНРЦ при известных инвестиционных затратах (количество КНРЦ задано), а также количественно оценить оптимальное количество создаваемых КНРЦ (количество КНРЦ не задано).

11. Получены количественные зависимости показателей затрат на перевозку в оптимально расположенные терминально-логистические объекты от их количества, дающие основу для проектирования инфраструктуры КТС. При многократных практических расчетах для ПФО на основе полученных зависимостей было выбрано 87 КТ и 8 КНРЦ.

12. Разработаны алгоритм моделирования двухуровневой терминально-логистической инфраструктуры КТС и практический инструментарий, позволяющие реализовать предложенные модели и методы при различных критериях оптимизации, и получать как табличные цифровые данные для эскизного проектирования, так и графическое изображение месторасположения спроектированных терминально-логистических объектов на карте территории.

13. Приведены примеры конкретного применения разработанных моделей и методов для оптимизации КТС на примере ПФО и определен экономический эффект, показывающий сокращение расходов клиентов на доставку своей продукции на КТ на 33 %, что составляет 9,3 млрд. руб./год. Общие затраты, связанные с организацией перевозки при формировании инфраструктуры, согласно оптимизационным расчетам по оптимальному варианту, относительно существующего, сократились на 6,7 млрд. руб./год.

14. Перспектива дальнейшей разработки темы исследования заключается в научно обоснованном подходе к определению технологически допустимых

интервалов длин контейнерных поездов различных категорий на основе экономической эффективности.

Основные положения диссертации опубликованы:

а) в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Москвичев, О. В. Обобщенная экономико-математическая модель оптимизации сети контейнерных терминалов на выбранном направлении [Текст] / О. В. Москвичев // Бюллетень транспортной информации. – 2005. – № 12. – С. 27-30.
2. Москвичев, О. В. Концептуально новая транспортно-технологическая схема работы с контейнерами на транспорте [Текст] / О. В. Москвичев, П. В. Куренков, Е. Е. Москвичева // Бюллетень транспортной информации. – 2009. – № 1. – С. 22-25.
3. Москвичев, О. В. Кластерная политика в повышении конкурентоспособности контейнерно-транспортной системы страны [Текст] / О. В. Москвичев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. – № 1. – С. 31-33.
4. Москвичев, О. В. К вопросу повышения эффективности контейнерных перевозок [Текст] / О. В. Москвичев, Ю. С. Никонов // Транспорт Урала. – 2009. – № 4. – С. 22-24.
5. Москвичев, О. В. Сквозные терминалы с поточной обработкой контейнеров [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 3. – С. 21-24.
6. Москвичев, О. В. Роль и перспективы контейнерных перевозок в обеспечении продовольственной безопасности страны [Текст] / О. В. Москвичев // Вестник транспорта Поволжья. – 2010. – № 1. – С. 23-27.
7. Москвичев, О. В. Новые технологии перевозки мелких партий грузов в контейнерах [Текст] / О. В. Москвичев // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 6. – С. 50-54.
8. Москвичев, О. В. К вопросу несбалансированности железнодорожных контейнерных перевозок во внутригосударственном сообщении [Текст] / О. В. Москвичев, Ю. С. Никонов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 6. – С. 12-19.
9. Москвичев, О. В. Новый подход в развитии контейнерно-транспортной системы России на основе формирования контейнерного кластера [Текст] / О. В. Москвичев, Г. М. Третьяков, Е. Е. Москвичева // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 35-39.
10. Москвичев, О. В. Актуальные аспекты развития контейнерных перевозок [Текст] / О. В. Москвичев, Г. М. Третьяков, Ю. С. Никонов // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 26-29.

11. Москвичев, О. В. Информационные технологии как ключевой фактор в обеспечении пропускной способности инфраструктуры [Текст] / О. В. Москвичев // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 68-72.
12. Москвичев, О. В. Оценка потенциала и перспектив развития контейнерной транспортной системы [Текст] / О. В. Москвичев, Ю. С. Никонов // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 4. – С. 37-39.
13. Москвичев, О. В. О новом подходе к организации контейнерных поездов во внутреннем сообщении [Текст] / О. В. Москвичев // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 2. – С. 56-59.
14. Москвичев, О. В. К вопросу консолидации и доставки одиночных и групповых контейнерных отправок в составе контейнерных поездов [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, Ю. С. Никанов // Транспорт Урала. – 2014. – № 2. – С. 15-18.
15. Москвичев, О. В. Состояние методического базиса технического и технологического развития контейнерных перевозок в России [Текст] / С. М. Резер, О. В. Москвичев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – № 3. – С. 12-14.
16. Москвичев, О. В. Многокритериальная оценка контейнеропригодности производимой продукции как один из факторов, определяющих размещение терминально-логистической инфраструктуры [Текст] / О. В. Москвичев // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 74-80.
17. Москвичев, О. В. Проблемы и перспективы развития автоматизированных систем управления контейнерным пунктом на железнодорожном транспорте [Текст] / С. А. Никищенков, О. В. Москвичев, П. О. Скобелев // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 1. – С. 60-65.
18. Москвичев, О. В. Оптимизация модели формирования и функционирования контейнерно-транспортной системы страны [Текст] / С. М. Резер, О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 7. – С. 3-7.
19. Москвичев, О. В. Методологические основы размещения транспортных объектов на основе методов кластерного анализа [Текст] / О. В. Москвичев // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 2. – С. 74-81.
20. Москвичев, О. В. Модели, методы и алгоритмы оптимизации контейнерно-транспортной системы железнодорожного транспорта на основе кластерного подхода [Текст] / О. В. Москвичев // Транспорт Урала. – 2017. – № 2. – С. 18-27.
21. Москвичев, О. В. Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда: кластеризация объектов // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. № 5 (72). – С. 158-173.

б) монографии:

22. Москвичев, О. В. Организация контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / Г. М. Третьяков, И. В. Горюшинский, О. В. Москвичев. – Самара: М-во трансп. Российской Федерации, Федеральное агентство ж.-д. трансп., Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Самарский гос. ун-т путей сообщ. - 2008. – 359 с.

23. Москвичев, О.В. Клиентоориентированная контейнерная транспортная система. – М.: ВИНТИ РАН, 2018. – 186 с. Ил.

в) в других изданиях и материалах конференций:

24. Москвичев, О. В. Складской терминал как важнейший элемент инфраструктуры логистических систем [Текст] / О. В. Москвичев, В. И. Варгунин // Материалы научно-практической конференции. – Самара: СамГАПС. – 2006.

25. Москвичев, О. В. Роль информационных технологий в организации контейнерных перевозок [Текст] / О. В. Москвичев // Труды всероссийской научно-практической конференции «Транспорт – 2007». Часть 2. – Ростов – на – Дону: РГУПС. – 2007. – С. 77-79.

26. Москвичев, О. В. Проблемы, пути решения и перспективы развития контейнерных перевозок в России [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева // Вестник СамГАПС: Вып. 7. – Самара: СамГАПС, 2007. – С. 9 – 11.

27. Москвичев, О. В. Роль системы «ЭТРАН» в автоматизации управления контейнерными перевозками [Текст] / О. В. Москвичев // Экспедирование и логистика. – 2007. – № 2. – С. 37-41.

28. Москвичев, О. В. Ноу-хау в работе с контейнером [Текст] / О. В. Москвичев, В. И. Варгунин, Е. Е. Москвичева // РЖД - Партнер. – 2007. – № 21. – С. 60-62.

29. Москвичев, О. В. Причины и проблемы низкого уровня контейнеризации в России [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса: материалы IV международной научно-практической конференции. – Самара: СамГУПС, 2008. – С. 63-65.

30. Москвичев, О. В. К вопросу технической модернизации инфраструктуры по переработке вагонов и контейнеров на транспорте [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, В. В. Суетин // Контейнерный бизнес. – 2008. – № 10. – С. 36-41.

31. Москвичев, О. В. Формирование контейнерного кластера, как фактора самостоятельной точки роста экономики [Текст] / О. В. Москвичев, // Актуальные

проблемы развития транспортного комплекса: материалы V международной научно-практической конференции. – Самара: СамГУПС, 2009. – С. 239-242.

32. Москвичев, О. В. О необходимости создания контейнерных терминалов сквозного типа с поточной обработкой контейнеров [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева // Наука и образование транспорту: материалы международной научно-практической конференции. – Самара: СамГУПС, 2009. – С. 50-52.

33. Москвичев, О. В. Анализ перспектив развития инфраструктуры для контейнерного бизнеса [Текст] / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, Ю. С. Никонов // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса: материалы VI международной научно-практической конференции. – Самара: СамГУПС, 2010. – С. 7-10.

34. Москвичев, О. В. Развитие прогрессивных транспортно-технологических систем на базе создания новых типов контейнерных терминалов [Текст] / О. В. Москвичев // Инновации транспорта. – 2011. – № 6. – С. 34-37.

35. Moskvicev, O.V. Model of improvement of the equipment-structure ratio and equipment capability of the transportation-container system of the Russian Federation / O.V. Moskvicev // Abstract proceedings 1-st international Electromobility Congress in Prague 12-13.05.2011 National Technical Library Prague, Czech Republic – S. 18-20.

36. Moskvicev, O.V. Der Containertransport: Herausforderung und Perspektive / O. Moskvicev, I. Nikonov, R. König, A. Mukhametshin // „Güterbahnen. Güterverkehr auf der Schiene: Markt -Technik-Verkehrspolitik“. Zeitschrift. Offizielles Organ Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. 2013. #2. S. 42-44.

37. Москвичев, О. В. Роль организации движения местных контейнерных поездов по расписанию в повышении надежности грузовых железнодорожных перевозок [Текст] / О. В. Москвичев, Ю. С. Никонов // Труды 14-й науч.-практ. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ. – 2013. – С. IV-36 – 38.

38. Москвичев, О. В. Методика определения контейнеропригодности продукции, производимой в регионах страны [Текст] / О. В. Москвичев, Ю. С. Никонов // Тенденции и перспективы развития транспортно-логистических услуг // Материалы международной науч.-практ. конф., посвященной 40-летию института коммерции, маркетинга и сервиса / Самарского государственного экономического университета. – Самара, 2014. – С. 275-277.

39. Москвичев, О. В. Определение эффективности назначения регулярных контейнерных поездов различных категорий [Текст] / О. В. Москвичев, Г. М. Третьяков, Е. Е. Москвичева // Совершенствование технологии перевозочного

процесса к 80-летию факультета «Управление процессами перевозок»: сборник научных трудов. Новосибирск, 2015. - С. 151-158.

40. Москвичев, О.В. Разработка и исследование алгоритма кластеризации с проекцией для решения задач оптимизации транспортной инфраструктуры [Текст] / О. В. Москвичев, Б. А. Есипов, Н. С. Складнев, А. О. Алёшинцев // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017) труды Международной научно-технической конференции. - 2017. - С. 633-637.

41. Москвичев, О.В. Алгоритм кластеризации с проекцией для решения задач оптимизации размещения транспортных объектов [Текст] / О. В. Москвичев, Б. А. Есипов, Н. С. Складнев, А. О. Алёшинцев // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. - 2017. - Т. 16, № 4. - С. 108-117.

42. Москвичев, О.В. Организация и функционирование железнодорожной контейнерно-транспортной системы на основе кластерного подхода и клиентоориентированности [Текст] / О.В. Москвичев, Е.Е. Москвичева // Наука и образование транспорту: материалы международной научно-практической конференции. – Самара: СамГУПС, 2017. – С. 104 - 108.

МОСКВИЧЕВ ОЛЕГ ВАЛЕРЬЕВИЧ

МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
КОНТЕЙНЕРНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ
КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ

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

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Подписано в печать _____ 2019 Заказ № _____ Формат 60X90/16
Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 3,0

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