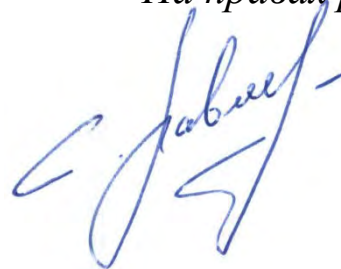


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
ИМЕНИ АДМИРАЛА С.О. МАКАРОВА»

На правах рукописи



Павленко Сергей Сергеевич

**ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ
МОРСКИХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ НА ОСНОВЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.22.19 – «Эксплуатация водного транспорта,
судовождение»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Кузнецов А.Л.

Санкт-Петербург – 2016

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Анализ современного состояния, тенденций и проблем развития контейнерной системы грузораспределения.....	10
1.1 Оценка этапов развития и современного состояния морского судоходства в глобальной системе контейнерного грузораспределения.....	10
1.2 Анализ тенденций и перспектив развития морских портов в глобальной системе контейнерного грузораспределения	15
1.3 Оценка современного состояния и проблем развития контейнерной системы грузораспределения в России.....	20
1.4 Степень разработанности темы диссертационного исследования	28
Выводы по главе, постановка цели и задач исследования.....	30
Глава 2 Моделирование процесса функционирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.....	33
2.1 Определение функциональной схемы и состава элементов проектируемых моделей.....	33
2.2 Выбор математического аппарата для разработки моделей.....	46
2.3 Обоснование структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов на основе имитационного моделирования	51
2.4 Моделирование технологического взаимодействия элементов системы грузораспределения морских контейнерных терминалов	66
2.5 Формирование общей модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.....	81
Выводы по главе.....	94
Глава 3 Разработка методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.....	96
3.1 Планирование экспериментов и установление адекватности разработанных моделей.....	96

3.2 Формирование методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.....	110
3.3 Формирование рекомендаций по использованию разработанной методики .	124
3.4 Оценка экономического эффекта от внедрения результатов исследования...	128
Выводы по главе.....	134
Заключение.....	136
Список сокращений и условных обозначений.....	139
Список принятых терминов	141
Список литературы	144
Приложения	158

Введение

Диссертационное исследование посвящено решению комплексной задачи повышения эффективности управления работой специализированных морских портов и терминалов, опирающихся на контейнерную транспортно-технологическую систему. Рассматриваемая система грузораспределения морских контейнерных терминалов состоит из функциональных элементов – объектов морского транспорта и наземной инфраструктуры, а также функциональных связей между ними.

Актуальность темы исследования. Современная мировая транспортная система сформировалась под влиянием сложного комплекса факторов, воздействующих друг на друга. Высокая динамика транспортной системы обусловлена наличием устойчивых причинно-следственных связей между различными факторами воздействия, в конечном счете, формирующими положительную обратную связь. Мировая транспортная система бурно развивается и видоизменяется на всех уровнях – от локального до общемирового. В результате изменяется характер взаимосвязей ее функциональных элементов, качество и прочность самих сетей, роль и функции транспортных узлов. Понимание направления развития системы и ее динамики возможно только в результате комплексного анализа механизмов ее развития, оценки влияния среды системы на ее содержание и тщательного анализа действующих внешних сил. Помимо этого, требуется пересмотреть методическую базу проектирования и управления сложными транспортными системами, направленными на доставку грузов в универсальных контейнерах.

Комплексному развитию морских портов и сопутствующих наземных систем грузораспределения посвящены действующие транспортные стратегии, в частности «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года», «Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года», «Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года», где однозначно определена необходимость формирования единого транспортного пространства, что предполагает объединение транспортных коммуника-

ций в единое целое. Создание высокоэффективной системы грузораспределения, в частности контейнерных потоков, в этом документе определено как стратегическая задача российского государства. Тщательная оценка действующих в России инфраструктурных объектов и сетей грузораспределения на разных видах транспорта показала значительное отставание качества транспортных услуг от ожиданий государства и требований пользователей. Текущее состояние контейнерной отрасли России демонстрирует значительное отставание методической базы от уровня зарубежной, особенно в части управления транспортными системами. При недостаточном уровне внимания к данной проблеме, причастный наукоемкий и высокодоходный сектор рискует быть утраченным, что явится сильным ударом для российской науки.

Отечественная наука, в части управления сложными системами грузораспределения, уже сталкивалась с подобными проблемами. Вопросы взаимодействия морского транспорта и наземных систем грузораспределения пытались решать за счет создания методик, базирующихся на теории массового обслуживания и статистическом моделировании. Однако бурный рост технологий и рост требований к качеству управления системами грузораспределения объектов морского транспорта исчерпали возможности разработанной методологической базы. Соответственно, необходимы новые научные разработки, основанные на инновационных методах компьютерного моделирования, что делает выбранное направление и тему исследования крайне актуальными.

Степень разработанности темы. В работах отечественных и зарубежных авторов и ученых вопросы управления работой морских портов, терминалов и транспортных сетей представлены, в общем, достаточно широко. Среди иностранных ученых можно выделить таких специалистов, как Дж. Берд (J. Bird), А. Бересфорд (A. Beresford), Д. Воксениус (J. Woxenius), Г. Гуджар (G. Gujar), К. Кабаллини (C. Caballini), М. Матсии (M. Matthee), К. Мачэрис (C. Macharis), А. Нж (A. Ng), Т. Ноттебум (T. Notteboom), С. Петтит (S. Pettit), Ж.-П. Родриге (J.-P. Rodrigue), В. Росо (V. Roso), Б. Слэк (B. Slack) и др.

В числе трудов отечественных специалистов, внесших наибольший вклад в решение задач управления работой морских контейнерных терминалов, необходимо выделить работы А. П. Агеева, Л. Д. Ветренко, Р. В. Дерябина, А. В. Кириченко, Р. Г. Король, А. Л. Кузнецова, В. С. Лукинского, О. Б. Маликова, В. А. Погодина, Ф. Д. Романовского, А. В. Степанца, А. Л. Степанова, В. А. Фетисова, А. С. Фролова и др.

В то же время, как зарубежные, так и отечественные ученые выбирают предметом исследования общие вопросы функционирования отдельных элементов в системе грузораспределения – морских портов, тыловых терминалов, грузовых фронтов, складов и операционных зон. При этом уделяется недостаточное внимание целостному взаимодействию элементов в системе грузораспределения, а также оценке эффектов от взаимного синергетического влияния функциональных элементов системы. Кроме того, большинство исследований было выполнено в период формирования и начального развития мировой и отечественной контейнерной транспортной системы доставки грузов. Современный этап развития контейнерной транспортной системы, характеризующийся ужесточением конкуренции, экономическими кризисами и нестабильностью геополитической обстановки, выдвигает принципиально иные требования к научной и теоретической базе, требующейся для создания высокопроизводительных и высокодоходных систем грузораспределения. В наше время наличие эффективных и научно обоснованных инструментов для принятия управленческих решений, связанных с созданием и управлением системой грузораспределения контейнерных терминалов, является критически важным для обеспечения стабильного развития морских портов.

Цель диссертационного исследования — повышение эффективности процесса грузораспределения морских контейнерных терминалов за счет проектирования рациональной системы управления.

Для достижения указанной цели диссертационного исследования необходимо решить ***научную задачу*** обоснования методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов на основе результатов имитационного моделирования логистических процессов.

Постановка данной научной задачи является следствием выявленного *противоречия* — современный транспортный бизнес остро нуждается в обоснованной методике, позволяющей осуществлять проектирование сбалансированных систем управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, основанных на тесном взаимодействии морской и наземной компонент системы грузораспределения.

Достижение сформулированной цели предполагает последовательное решение ряда *частных задач*:

- провести ретроспективный анализ и оценку современного состояния глобальной контейнерной системы грузораспределения;
- разработать комплекс математических моделей для целей осуществления проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов;
- разработать методику проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов и предложить рекомендации по её использованию.

Объектом диссертационного исследования является поддерживаемая морским транспортом система контейнерного грузораспределения.

Предметом диссертационного исследования служат модели и методы проектирования системы управления контейнерным грузораспределением морских терминалов.

Границы исследования. Исследование проведено в границах систем управления грузораспределением, опирающихся на морские контейнерные терминалы. Это касается, в первую очередь, определения типа и значений входных и выходных параметров при проектировании, определения состава и свойств элементов исследования, таких как узлы грузораспределения, транспортные сети, используемые технологии, оборудование, транспортные средства и персонал.

Методы исследования. Исследуемая проблема является комплексной и, вследствие этого, для ее решения применялись эмпирические методы, такие как анализ статистики, сравнения и эксперименты, а также смешанные методы —

аналитическое обобщение результатов, метод имитационного моделирования. Достоверность полученных с помощью имитационного моделирования результатов подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью и достоверностью, доказанной сформулированными критериями оценки, а также использованием положений фундаментальных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с данными экспериментов.

Научная новизна исследования состоит том, что в рамках исследования впервые в отечественной науке разработана специализированная методика, рекомендации по ее применению и комплекс программных инструментов, ориентированных на использование при организации систем управления грузораспределением морских контейнерных терминалов в части создания портовой и тыловой инфраструктуры, ее оснащения оборудованием, выбора типа и количества транспортных средств для ее обслуживания. При этом разработка проводилась с использованием передовых математических методов, в частности метода имитационного моделирования.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Имитационная модель, позволяющая осуществлять обоснование выбора структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов.
2. Общая имитационная модель системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.
3. Методика проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.

Практическая значимость исследования определяется тем, что:

- разработанные имитационные модели реализованы в виде компьютерных программных модулей, составляющих инструментарий для управления работой систем грузораспределения морских контейнерных терминалов;
- проведены практические исследования, доказывающие адекватность и эффективность разработанных имитационных моделей;

- предложены рекомендации по практическому использованию разработанной методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.

Апробация результатов диссертационного исследования была проведена в рамках следующих научных и научно-практических конференций:

1. Научная конференция «ГЧП в сфере транспорта: модели и опыт», г. Санкт-Петербург, 20 мая 2015 г.
2. Международная научно-практическая конференция «Наука и современность – 2015», г. Новосибирск, 8 октября 2015 г.
3. Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии научного развития», г. Пермь, 25 октября 2015 г.
4. Международная научно-практическая конференция «Логистика: современные тенденции развития», г. Санкт-Петербург, 7–8 апреля 2016 г.
5. Научная конференция «ГЧП в сфере транспорта: модели и опыт», г. Санкт-Петербург, 20 мая 2016 г.

Публикации по теме исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 4 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ. Личный вклад автора составил 3,19 печатных листов.

Структура диссертационного исследования. Структура диссертационной работы определена логикой и целью исследования. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка условных обозначений, списка использованных терминов, списка литературы из 130 наименований. Диссертационная работа изложена на 157 стр., содержит 9 таблиц и 74 рисунка.

Глава 1 Анализ современного состояния, тенденций и проблем развития контейнерной системы грузораспределения

1.1 Оценка этапов развития и современного состояния морского судоходства в глобальной системе контейнерного грузораспределения

Транспортная система, складывающаяся в мире после начала контейнеризации оказывает огромное влияние на мировую промышленность, торговлю и рынок, поставив задачи дальнейшего развития распределительно–логистических систем и совершенствования интермодальных услуг. Значительно влияние контейнеризация имеет на развитие основных элементов морского транспорта – морского судоходства, и инфраструктуры, т.е. морских портов [16].

На протяжении всей истории человечества морское судоходство оставалось одним из основных способов транспортировки людей и товаров на большие расстояния. Постепенное улучшение конструкции, увеличение скорости и маневренности судов, а также постепенный переход от гребного флота к парусному флоту, позволили расширять географию мореплавания и развивать международную торговлю. Развитие трансатлантической торговли, а также расширение торговых связей Европы с Америкой, Индией и Китаем проходило в условиях формирования активного тропического судоходства. Торговые суда в рамках тропического судоходства перемещались между морскими портами побережья в поисках грузов. При этом эти суда были универсальными, дабы иметь возможность работать с различными грузами при загрузках в портах побережья. Такая схема работы морского транспорта была удобна грузоотправителям и отвечала требованиям рынка. Высокая конкуренция на рынке морских перевозок требовала от судовладельцев увеличения эффективности используемых судов. Одним из средств ее достижения стала именно специализация судов, т.е. приспособление конструкции, устройства и грузовых средств судов к перевозке определенных видов грузов [10].

Появление устойчивых грузопотоков на определенных маршрутах позволило использовать специально приспособленные для перевозки конкретного груза суда с высокой рентабельностью и более экономично. За счет специализации морских судов и постепенного увеличения их грузоподъемности, участники транспортного процесса получили возможность уменьшать издержки на перевозку груза путем использования эффекта «экономии масштаба» (англ. «economy of scale») [4, 57, 91]. Экономическая рациональность и появление специализированных судов на устойчивых маршрутах перевозок позволило организовать новую форму судоходства – линейную [128].

Устоявшийся грузопоток между определенными портами на линии стал перевозиться специализированными судами, постепенно вытесняя трамповые универсальные суда. Работа на определенных линиях позволила увеличить размеры судов, скорости их хода и сократить стояночное время под грузовыми операциями в портах благодаря максимальной приспособленности судна для перевозки конкретного вида груза. Состояние рынка морских перевозок всегда напрямую зависело от состояния мировой экономики в целом. Активный рост судоходства наблюдался в бурные послевоенные годы в 50-х – 60-х годах XX века. При этом мировой грузооборот за два десятилетия увеличился в 9 раз, тогда объем перевозимых морским транспортом грузов возрос в 6,5 раз.

Первое резкое падение судоходного рынка произошло в начале 80-х годов, вследствие прошедшего мирового энергетического кризиса середины 70-х и циклических колебаний мировой экономики. Последовавший в 80-х экономический подъем подтянул за собой и судоходство. Увеличение произошло в объемах перевозок, тогда как грузооборот вырос не так значительно. В первую очередь это следствие оптимизации грузовых маршрутов. Дальность транспортировки товаров снизилась по причине изменения конъюнктуры рынка. Со второй половины 90-х годов по настоящее время рынок морских перевозок постепенно растет, но, как и мировая экономика, с перебоями. Продолжающийся мировой экономический спад и кризис 2007-2009 годов скорректировали прогнозы увеличения рынка морских перевозок на первые два десятилетия XXI века в сторону уменьшения.

Вместе с тем во второй половине XX века происходило изменение не только объемов морских перевозок, менялась их структура. До 70-х годов одним из трендов было увеличение доли наливных грузов. К 50-му году перевозки сырой нефти и нефтепродуктов составляли примерно 40%, к 60-му – 50 %, а к началу 70-х – более 55 %. Энергетический кризис резко уменьшил долю перевозок наливных грузов морским транспортом, на конец 80-х она составила чуть менее 37%.

При этом выросла доля перевозок насыпных и навалочных грузов – до уровня в 24 %, а также генеральных грузов – до 25 %. Тенденция к общему увеличению доли сухогрузных перевозок в общей структуре грузооборота сохраняется и по сей день. Значительный рост международных перевозок генеральных грузов пришелся на начало 60-х годов XX века и был напрямую связан с контейнерной революцией [58, 60]. Мировая торговля быстро оценила преимущества контейнеров – удобство грузовых операций, большую скорость доставки, высокую сохранность при относительно невысокой стоимости перевозки. Контейнерная революция стала поворотным моментом и в развитии морского флота [55].

С момента начала контейнеризации в середине 50-х годов и до наших дней специализированные суда для перевозки контейнеров – контейнеровозы, прошли 9 основных этапов в своей эволюции: этап «ранних контейнеровозов», этап «ячеистых контейнеровозов», стандарт «панамакс», подтип «панамакс-макс», стандарт «пост-панамакс», этап «пост-панамакс плюс», стандарт «новый панамакс», стандарт «пост новый панамакс» и, наконец, подтип суэцмакс. Сегодня существуют и дальнейшие планы по увеличению размеров судов контейнеровозов – так называемая серия судов «Малакка Макс» (Malacca Max), которые будут способны нести 27 000–30 000 TEU. Однако маловероятно, что такие суда будут построены в ближайшие 10–12 лет.

Изменение судов-контейнеровозов всегда проходило в сторону увеличения их физических размеров. Ведь чем больше контейнеров перевозит одно судно, тем меньше становится стоимость перевозки одного TEU. Процесс укрупнения судов стал гонкой за увеличением масштабов и сокращением издержек, что, по сути, помогло глобальному распространению контейнеров.

Активно использующийся в морском судоходстве эффект «экономии масштаба» стремительно подтолкнул промышленность и судоходство на строительство больших судов-контейнеровозов. Однако стремительное увеличение размеров судов-контейнеровозов не привело к уменьшению спроса на небольшие суда вместимостью менее 2000 TEU, пригодных и удобных для доставки контейнеров на небольшом плече по так называемым «фидерным» маршрутам, проходящим от крупнейших портов побережья до портов непосредственно рядом с районами потребления. За последние 10 лет около 30 % всех новых контейнеровозов, сошедших со стапелей на верфях – именно фидерные контейнеровозы. В приложении А приведен сравнительный размер судов различных типов.

В связи с увеличением размеров судна, растет и время необходимое и затрачиваемое на его погрузку и выгрузку. В связи с тем, что на современных линиях суда поддерживают очень строгое расписание, контейнеровозы вынуждены иметь высокую эксплуатационную скорость.

На сегодняшний день средняя скорость движения судов достигла максимальных значений и скорее всего в ближайшем будущем увеличения скорости движения судов не будет вследствие того, что из-за увеличения скоростных характеристик судна возникает целый ряд конструктивных и технологических проблем. Вполне очевидно, что увеличение вместимости, грузоподъемности и скорости судов ведет к снижению себестоимости перевозки одной единицы груза, ведь между скоростью судна и расходом топлива существует кубическая зависимость. Следовательно, увеличение скорости судна на 1,5 узла (с 25 до 26,5 узлов) приведет к увеличению потребления топлива на 25–30 %.

Текущие тенденции демонстрирую желание судовладельцев максимально возможно использовать эффект «экономии масштаба» при оперировании крупными судами контейнеровозами, что, в свою очередь, ставит задачи перед морскими портами и наземной сетью распределения. Чем больше судно, тем больше и производительнее должна быть техника на терминале, обрабатывающем такие суда и тем большие глубины должны быть в акваториях и у причалов.

В перспективе на 2014–2018 гг. ожидается рост рынка контейнерных перевозок на 4,5 % по сравнению с уровнями 2013–2014 г. Ведь количество судов-контейнеровозов в мире по состоянию на начало 2014 года составило 4894 судна или 6% от всего активного морского флота. Общая грузоподъемность судов-контейнеровозов составляет порядка 184 927 т или 17 % от показателей мирового торгового флота. В 2014 году на работу на линии было поставлено 38 новых судов-контейнеровозов общей вместимостью 333 239 TEU, из них 26 судов с вместимостью 8450 TEU, а средняя вместимость судов составила примерно 8770 TEU. Эта статистика свидетельствует о постепенном увеличении размеров судов и сокращении их количества. И эта тенденция является понятной, ведь если сравнивать издержки на перевозку судном-контейнеровозом вместимостью 12 000 TEU или же двумя судами вместимостью по 6000 TEU, то экономия составляет порядка 70 американских долларов на 1 TEU. Таким образом, контейнерный транспорт постепенно становится близким к «идеальному» транспорту, т.е. бесплатному, мгновенному, всегда доступному и перевозящему любые партии груза [75].

На сегодняшний день судостроение имеет все инженерные ресурсы для массового строительства судов-контейнеровозов класса «пост новый панамакс» и «суэцмакс» (Suez-Max Ultra Large Container Ships, ULCS). Однако увеличение размеров судов на маршрутах неизбежно ставит новые вызовы перед морскими портами и наземными контейнерными системами распределения.

Возникает вопрос с наполняемостью больших судов грузами, появляются проблемы с наличием в портах и на причалах высокопроизводительного оборудования и кранов, с наличием в портах и акваториях необходимых глубин для захода больших судов. От эффективной работы морских портов и наземных контейнерных систем распределения сейчас напрямую зависит то, каким путем в будущем будет развиваться рынок контейнерного судостроения и морское контейнерное судоходство [129].

1.2 Анализ тенденций и перспектив развития морских портов в глобальной системе контейнерного грузораспределения

Контейнерная революция оказала огромное влияние и на развитие портов в Новейшее время [14, 15, 67, 73, 88, 119, 126]. Работа с массовым однородным грузом (металлическими ящиками фиксированных размеров и веса) позволила значительно сократить время стоянки судов в порту под грузовыми операциями, снизила потребность в персонале и позволила увеличить производительность причального комплекса порта. Постепенно изменилась и роль морских портов в глобальной системе контейнерных перевозок. Она свелась к согласованию входящих и исходящих грузовых партий, парированию неравномерностей, возникающих вследствие необходимости быстрой обработки судов большой вместимости, и коммерческому хранению груза [29].

В мировой транспортной системе основная функция порта осталась неизменной – передача груза между судном и берегом, и между судами. Физически морской порт состоит из одного или нескольких терминалов, включая контейнерные терминалы. Принципы устройства и оборудования контейнерных терминалов во всем мире практически одинаковые, независимо от их географического местоположения [39, 79, 86, 124]. Для того чтобы перемещать контейнеры с борта судна на берег и распределять по порту, контейнерные терминалы портов мира оборудованы причалами для стоянки судов, зоной для штабелирования контейнеров и хранения, а также погрузочно-разгрузочными устройствами для работы с контейнерами [11, 42]. На сегодняшний день в мире существует огромное количество разнообразного контейнерного оборудования, но, в общем, его можно разделить на две основные группы: причальные краны и тыловое оборудование для работы с контейнерами. Непосредственно на причале, контейнеры физически перемещаются между судном и терминалом, при этом крановые контейнерные перегружатели, краны типа «судно-берег» (англ. «ship to shore», STS), являются основным оборудованием лимитирующим скорость процесса загрузки/разгрузки судов [130].

Далее на контейнерной площадке контейнеры устанавливаются в штабели для хранения и последующего транзита, т. е. для передачи на сухопутные виды транспорта, или трансшипмента, т. е. для передачи на другое судно для дальнейшей морской перевозки [5, 81, 87]

На контейнерном складе осуществляются два типа операций с контейнерами — это вертикальная операция (установка в штабели на контейнерной площадке) и горизонтальная операция (перевозка между участками терминала). Подобный способ организации портовых работ на контейнерном терминале позволяет значительно сократить временные затраты на обработку одной единицы груза [65, 97]. Современный контейнерный причал, оснащенный четырьмя кранами для обработки контейнеров, способен обрабатывать до 700 000 TEU ежегодно. Так как основная задача контейнерного склада — это сглаживание колебаний уровня груза в порту, то при обработке, например, контейнеровоза типа «панамакс» вместимостью 4000 TEU контейнерный терминал должен одновременно обработать 8000 TEU. Причем эти 8000 TEU — это своеобразный буфер, при этом, чем больше судно — тем больше нужен буфер и, соответственно, тем большую полезную площадь должен иметь контейнерный склад.

На сегодняшний день стандартный контейнерный терминал в портах Европы имеет плотность складирования порядка 200–400 TEU на гектар (при максимально достигаемой плотности складирования 1000 TEU/гектар), производительность кранов порядка 25–30 TEU в час, среднее время хранения контейнера в порту — 5–6 суток и время оборота тягача с контейнерной площадкой около 1 часа [37].

Но в будущем требования к контейнерным терминалам станут гораздо более жесткими. Для приема и обработки судов контейнеровозов со средней вместительностью 18–20 тыс. TEU, контейнерным терминалам необходимо обладать плотностью складирования порядка 800–900 TEU на гектар, кранами производительностью порядка 50–60 TEU в час, средним временем хранения контейнера в порту максимум в 3 суток и временем оборота тягача с контейнерной площадкой менее 30 минут [48, 49].

Достижение подобных впечатляющих показателей грузооборота портов и контейнерных терминалов в мире было бы абсолютно невозможно без рационализации схем морских и наземных контейнерных перевозок.

Морские порты выступают интерфейсом между форлендом, являющимся понятием интеграции порта в судоходные системы, международную торговлю и рынки и хинтерлендом, являющимся понятием пространства для производства и окончательного распределения товарно-сырьевых потоков в обслуживаемом портом географическом регионе [35, 98].

В мировой транспортной науке принято выделять основной хинтерленд порта (географический район, на котором порт имеет доминирующее положение, вследствие географической близости и/или наличия эффективно работающих транспортных коридоров) и конкурентный хинтерленд (территория, на которой данный порт конкурирует с другими портами в отношении стоимости и качества предоставляемых услуг). Возможности порта и его эффективная работа влияют на логистику и потоки товаров в прилежащем хинтерленде и часто определяют, может ли местный производитель конкурировать в глобальном или региональном масштабе с другими производителями. Именно улучшение конкурентных позиций клиентов при оказании качественных логистических услуг является на сегодняшний день одной из основных задач любого морского порта [47, 120].

Рост международной торговли и грузооборота морского транспорта, наряду с постепенно увеличивающимся тоннажем судов-контейнеровозов и применением эффекта «экономии масштаба» в свое время поставил перед международной контейнерной логистикой проблему накопления грузовой базы для организации быстрого и ритмичного сервиса. Ведь чем больше морское судно, тем больше груза необходимо собрать для его полной загрузки и обеспечения максимального действия эффекта «экономии масштаба» на длинных маршрутах, и тем дольше этот груз приходится собирать в каждом порту.

На первоначальных этапах контейнерной революции грузовой базы конкретного порта было достаточно для полной загрузки небольших судов-контейнеровозов (маятниковый маршрут).

С увеличением размеров судов, потребовалось пропорциональное увеличение ритмично поступающей в порты грузовой базы и оснащение всех портов захода ни линиях высокопроизводительным, а, следовательно, и дорогостоящим оборудованием. На практике подобные действия оказались бы экономически нецелесообразными.

Реакцией промышленности и торговли стало выделение самых крупных портов побережья и организации между ними магистральных линий. Подобная система организации линейного судоходства получила в свою очередь название «spoke and hub» (англ. «спицы и ступицы») или «feeder-hub system» (магистрально-фидерная система, англ. «центр и питание») [32, 34, 40, 114].

Помимо решения вопроса накопления грузовой базы, необходимой и достаточной для загрузки больших судов, решился вопрос обеспечения ритмичности перевозок, выполнения сроков поставок и оказания качественного регулярного сервиса. Подобная схема организации контейнерного сервиса предъявила довольно жесткие требования к хамам: наличие высокоэффективного и дорогостоящего перегрузочного оборудования, больших контейнерных площадок, больших глубин акватории для захода крупных судов.

Основной функцией портов – хабов стал траншипмент, т. е. перевалка грузов между магистральными и фидерными морскими судами для дальнейшей перевозки. Тем не менее, построение логистической цепи перевозки на основе магистрально-фидерной системы не решает проблему взаимодействия между портом и хинтерлендом. Порты–хабы крайне чувствительны к изменениям маршрутов морских линий, ведь в случае ухода линии/магистрали в другой порт, хаб фактически остается без работы [44].

Поэтому одностороннее взаимодействие порта исключительно с форлендом, в условиях существующий на сегодняшний день жесткой конкурентной борьбой за грузопотоки, является неэффективным. Гораздо более эффективным является построение системы, в которой порт, помимо функций траншипмента, сочетает в себе функции хаба для транспортной сети хинтерленда, т. е. транспортного узла региона.

Глобализация мировой торговли вызвала к жизни процессы активной регионализации хинтерленда, что в свою очередь не могло не сказаться на развитии портов, постепенно превращая их в региональные грузовые центры, параллельно улучшая конкурентные позиции и повышая рентабельность деятельности. Порты перестали быть местом исключительно погрузки/выгрузки товаров и стали местом стыковки морской и наземной логистики, превратились в точки притяжения для транспортной сети регионов.

Узловые порты, связывающие транспортные сети хинтерленда и форленда, получили название – «гейтвей» (*gateway* – англ. «ворота», «шлюз»). Они являются точками стыковки магистральных морских, сухопутных и/или внутренних водных маршрутов. Наряду с траншипментом, гейтвеи выполняют транзитные операции – т. е. перевалку с морского транспорта на наземный (или внутренний водный) транспорт [45, 99].

В портах-гейтвей также происходит консолидация и собирание грузов поступивших как морским транспортом по магистрально-фидерной системе, так и внутренним транспортом – водным и сухопутным (железнодорожным, автомобильным).

В мировой транспортной системе подобные порты обычно обладают максимумом необходимых конкурентных преимуществ – развитой системой перевалки между видами транспорта, высокоэффективным погрузочно-разгрузочным оборудованием, глубокой и доступной акваторией, интегрированностью в сеть информационных технологий. В портах-гейтвей создается гораздо больше рабочих мест, нежели в портах-хабах, что позитивно сказывается на экономике региона порта.

В наше время мировые порты продолжают стремительно развиваться – на морских побережьях постепенно возникают новые портовые кластеры, концентрирующие вокруг себя транспортную инфраструктуру. Регионализация портов позволяет создаваемым портовым кластерам активно противостоять локальным ограничениям и глобальным вызовам.

В процессе регионализации происходит формирование и развитие так называемых грузовых распределительных центров – наземных объектов возникающих в местах стыковки видов транспорта и/или грузопотоков. Вокруг распределительных центров возникают предприятия транспортной области, связанные с предоставлением логистических, информационных, таможенных и иных услуг, т. е. так называемые логистические платформы. Тесное взаимодействие между морскими портами и наземными логистическими платформами приводит к появлению сети региональных грузовых центров, в которых порты играют узловую роль.

Создание и развитие эффективной наземной системы контейнерного распределения, состоящей из сети региональных грузовых центров и базирующиеся на тесном взаимодействии с морскими портами, является абсолютно необходимым условием для повышения эффективности работы транспорта, экономики, улучшения конкурентных позиций государства на международной арене и полной реализации его торгово-экономического потенциала.

1.3 Оценка современного состояния и проблем развития контейнерной системы грузораспределения в России

Общая особенность транспортной системы России — выраженная ориентированность на обслуживание экспортных грузопотоков. Это является очевидным, учитывая сырьевой характер экономики России и соотношение экспорта и импорта во внешнеторговом балансе. Основа внешнеторгового баланса – экспорт сырья и сырьевой продукции российского производства. Удельный вес товаров ТЭК в общей структуре экспорта – около 75 %, т. е. почти $\frac{3}{4}$ экспортных объемов – массовые грузы, имеющие короткие цепочки поставок и не использующие логистику добавленной стоимости. Более 80% процентов импортируемых в Российскую Федерацию товаров – генеральные грузы. Таким образом, в современных рыночных условиях наличие высокоэффективной контейнерной транспортной системы – необходимое условие для развития экономики и промышленности России [70].

На сегодняшний день в России контейнеризация импорта достигает 90%, а экспорта – всего 12–15 %, тогда как в мире контейнеризация перевозок генеральных грузов составляет практически 100 % [12, 80]. Практика показывает, что причиной столь низкого уровня контейнеризации является отсутствие в России развитой контейнерной транспортной системы, отвечающей требованиям сегодняшнего дня. Система распределения готовой продукции в России работает неэффективно. Причина отсталости развития контейнерной транспортной системы России — историческая закономерность, учитывая тенденции и ориентиры развития и функционирования транспортной отрасли СССР и затем Российской Федерации. Транспортная система России, в силу огромных географических размеров России, является одной из самых крупных в мире. Это накладывает свой отпечаток на процессы ее формирования и взаимодействия отдельных элементов.

Транспортная система России состоит из нескольких элементов, в т.ч. видов транспорта: железнодорожного, автомобильного, воздушного, морского, внутреннего водного и трубопроводного [6, 31]. Их доля в грузообороте по состоянию на 2015 год представлена на рисунке 1.1:

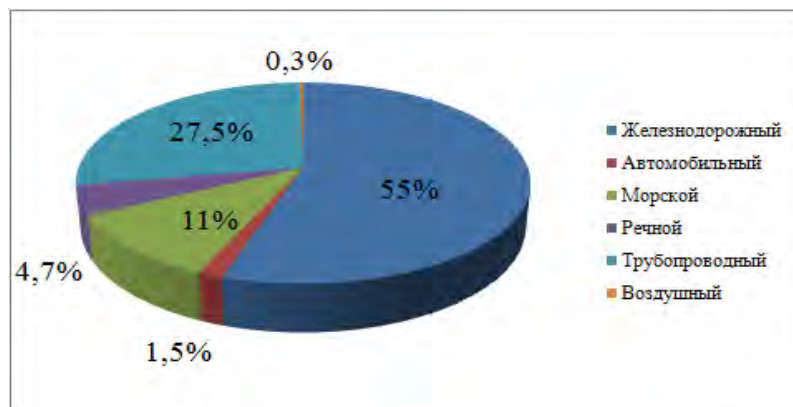


Рисунок 1.1 — Доли видов транспорта в грузообороте в России (2015) [23]

По состоянию на 2015 год в России проложено более 85 тыс. км железнодорожных путей, более 1 млн. км автомобильных дорог, построено и функционирует 232 аэропорта, 63 морских порта, более 150 речных портов и пристаней, общая длина магистральных трубопроводов составляет 233 тыс. км.

В пересчете на 1 кв. км площади территории страны показатели протяженности и густоты транспортной сети, а именно сети железных и автомобильных дорог значительно отстают от мировых. По общей длине железных дорог Россия значительно уступает государствам с меньшей площадью – США, государству, имеющему в 2 раза более протяженную и густую сеть железных дорог – 224 тыс. км и плотность 0,05, Китаю, общая протяженность дорог в котором составляет 105 тыс. км и плотность 0,03, и Германии, оперирующей 42 тыс. км железных дорог и обладающей показателем плотности железнодорожной сети в 0,12 [93].

Автомобильные дороги также являются проблемным местом в общей транспортной инфраструктуре России. Протяжённость сети автодорог общего пользования в России оценивается в 1 396 000 км, в том числе 984 000 км автодорог с твёрдым покрытием. Отставание от других крупных стран является огромным – в США построено и функционирует почти в 5 раз больше дорог – 6 586 610 км, в Индии – 4 865 000 км, в Китае – 4 356 200 км, Бразилии – 1 751 868 км [54].

Недостаток развитой инфраструктуры, сети высокоскоростных широкополосных автомагистралей, системы железных дорог с высокой несущей способностью полотна, приспособленных для движения поездов повышенной длины является «ахиллесовой пятой» транспортной системы нашей страны, препятствует контейнеризации и развитию экономики России [7].

Исторически модернизация инфраструктуры и транспорта для работы с контейнерами в Советском Союзе, а также интеграция СССР в мировую контейнерную транспортную систему происходило относительно медленно и со своими особенностями. Долгое время в перевозках по СССР и при международных перевозках использовались уникальные контейнеры, разработанные в Союзе и отличающиеся по конструкции и способам грузообработки от универсальных ISO – контейнеров. Необходимость постепенно контейнеризировать грузовые перевозки вынудила советских конструкторов учитывать требования международного стандарта ISO, что в итоге вылилось в создание советских контейнеров типа УУК-5-2 [59].

Распад СССР в 1991 году приостановил процесс интеграции России и стран СНГ в мировую контейнерную транспортную систему именно в тот момент, когда на рынке определялись основные маршруты, грузопотоки и игроки. Вследствие этого сегодня позиции России на рынке международных контейнерных перевозок достаточно слабы, и контейнеры до сих пор не стали массовым средством перевозки грузов в России [36].

Контейнерная транспортная система в России, в связи с практически полным отсутствием собственного морского флота для перевозки контейнеров представлена внутренней инфраструктурой и транспортом. Для перевозки контейнеров в России, учитывая их форму, размеры и вес, можно использовать железнодорожный, автомобильный и внутренний водный транспорт.

Наименее эффективным способом перевозки контейнеров в России на сегодняшний день является внутренний водный транспорт, базирующийся на речной системе европейской части страны. Недостатками данного вида транспортировки в России является крайне низкая скорость движения, ограничения по грузоподъемности, вызванные неравномерностью глубин, ограниченная протяженность внутренних водных путей. Полное отсутствие портовой инфраструктуры для работы с контейнерами на внутреннем водном транспорте делают невозможным создание в возможно короткие сроки на его базе эффективной контейнерной системы. Основным недостатком в работе речного транспорта в России является сезонность. Навигация по рекам России длится примерно 180–190 дней, что является недостаточным для использования этого вида транспорта для развития на его базе эффективной контейнерной транспортной системы.

Контейнерная транспортная система России тяготеет к регионам крупных морских портов и центрам потребления – Москве и Московской области, северо-западным и южным частям европейской территории России, Южному Уралу, Дальнему Востоку. Обращивается входящий и исходящий контейнеропоток преимущественно автомобильным и в меньшей степени железнодорожным транспортом.

Основные объемы перевалки входящего и исходящего контейнеропотоков приходятся на порты бассейнов Балтийского и Черного морей, а также Тихого океана [70]. Наибольшие объемы перевозок контейнеров в Северо-Западном регионе России. Данный регион находится ближе всего к крупнейшему потребительскому рынку – Москве и столичному региону. Основные порты, задействованные в обработке контейнеропотока — Санкт-Петербург, Усть-Луга, Калининград [69]. Крупнейшие терминалы региона – АО «Первый контейнерный терминал», АО «Петролеспорт», ООО «Моби Дик», ООО «Балтийская стивидорная компания», АО «Контейнерный терминал Санкт-Петербург», АО «Усть-Лужский Контейнерный Терминал», АО «Калининградский МТП» [74]. Азово-Черноморский бассейн обслуживается портами Новороссийск, Туапсе и Сочи. Крупнейшие контейнерные терминалы на юге России – АО «Новорослесэкспорт» и АО «Новороссийское УТЭП». На Тихом океане контейнерные мощности представлены терминалами в портах Владивосток и Восточный – АО «Владивостокский МТП», ООО «Восточная стивидорная компания», АО «Владивостокский морской рыбный порт» [84].

За 2015 год контейнерооборот портов России сократился на 25,4 % по сравнению с уровнем 2014 года и составил 3,94 млн. TEU. Грузовый экспорт составил 1,65 тыс. TEU (–28,4 %), импорт — 1,64 млн. TEU (–28,5 %), транзит –66,4 тыс. TEU (–35,4%), каботаж — 591,08 тыс. TEU (–0,1 %). За вычетом транзитного и каботажного контейнеропотока общий объем контейнеров, переваленных в портах России в экспортном и импортном сообщении в 2015 году, составил 3 290 760 TEU.

Все российские порты и терминалы, осуществляющие обработку контейнеров, сталкиваются с проблемой невозможности обеспечения качественной перевалки нарастающего контейнерного грузопотока из-за практически полного отсутствия эффективной наземной сети грузораспределения в России. Этот факт является причиной замедления роста количества импортных и экспортных контейнерных поставок в Россию [9].

На практике увеличить перевалку контейнеров можно двумя способами:

Первый способ – строить дополнительные перевалочные и складские мощности непосредственно в портах. Данный способ является тупиковым, ведь практически все российские порты на сегодняшний день вынуждены развиваться в условиях крайне ограниченной территории, и не имеют физических возможностей к расширению. Второй способ – уменьшить срок пребывания контейнеров непосредственно в порту за счет быстрого вывоза грузов с территории порта, тем самым освобождая порты для новых партий и повышая оборачиваемость. Второй вариант дает эффект только в том случае, если вокруг портов создано достаточное количество развитой тыловой инфраструктуры, способной осуществлять накопление грузовых партий, прием, обработку и хранение контейнеров. Подобной инфраструктуры на прилегающей к крупным портам России территории на сегодняшний день практически нет. Для обеспечения функционирования тыловой инфраструктуры жизненно важным является создание мощных транспортных коридоров, позволяющих осуществлять регулярное и устойчивое грузовое сообщение.

Автомобильный транспорт в России, обслуживающий контейнерное сообщение, постепенно перестает справляться со своими задачами. В первую очередь это связано с неразвитой автотранспортной инфраструктурой и отсутствием организованных подъездов к морским портам и контейнерным терминалам. Сегодня 90–95 % всех контейнеров, например, из петербургского порта вывозится автотранспортом. В условиях постоянных пробок обеспечение своевременного и регулярного вывоза/завоза контейнеров в порт и на терминал автотранспортом организовать практически невозможно. При уровне контейнерооборота в 2014 году в 2,3 млн. TEU и доле автотранспорта в 95 % количество заездов/ выездов автотранспорта (далее – ам.) на территорию портов и терминалов с учетом TEU-фактора (TEU-фактор – 1,75) уже сегодня составляет: $N_{\text{заездов}} = 2\,300\,000 \text{ TEU} / 1,75 \times 0,95 = 1\,248\,572 \text{ ам./год}$, или: $N_{\text{заездов}} = 1\,248\,572 \text{ TEU} / 365 \text{ сут.} = 3420 \text{ ам./сут.}$, или: $N_{\text{заездов}} = 3420 / 1440 \text{ минут} = 2,5 \text{ ам./мин.}$ Количество заезжающего и выезжающего автотранспорта может в скором времени приблизиться к критическим значениям с учетом ограниченной площади подъездных дорог и нехватки оборудованных стоянок для ожидающего транспорта [54].

Единственный выход – привлечение железнодорожного транспорта к обработке грузопотоков контейнеров в крупнейших портах и контейнерных терминалах России. В настоящее время ОАО «РЖД» и его дочерние структуры обрабатывают лишь 10% от общего числа контейнеров. Низкая пропускная способность сети на подступах к портам и отсутствие системы центров железнодорожного транshipmentа не позволяют увеличить долю вывоза контейнеров по железной дороге. Для организации своевременного и регулярного железнодорожного сообщения с портами и терминалами, помимо развитой инфраструктуры, отсутствует и необходимая нормативная, законодательная и административная базы [83].

Как показано в приложении Б, в регионе деятельности порта Санкт-Петербург, крупнейшего узла по обработке контейнеров в России [36], сегодня функционируют всего шесть крупных центров железнодорожного транshipmentа терминалы «Восход» (Шушары), «Интертерминал» (ж/д станция Предпортовая, Санкт-Петербург), «Предпортовый» (ж/д станция Предпортовая, Санкт-Петербург), «Янино – 1» (поселок Янино, Ленинградская область), «Евросиб» (Шушары), а также терминал «Логистика–Терминал» (Шушары), но этого числа для региона недостаточно, что подчеркнуто динамикой, указанной на рисунке 1.2:



Рисунок 1.2 — Планы развития мощностей тыловых терминалов порта СПб [57]

Развитию сети специализированных тыловых терминалов в зонах морских портов помимо проблем с организацией устойчивого железнодорожного и автомобильного сообщения серьезно мешает сложившаяся практика таможенного оформления грузов, ввозимых или вывозимых на тыловые терминалы. В действующем законодательстве в области таможенного дела существует довольно много пробелов, связанных с перемещением грузов в тыл и обратно. Это, в соответствии с действующим Таможенным кодексом, не предполагает единого упрощенного порядка перемещения грузов, а, значит, делает перевозку грузов сложной, а работу тыловых терминалов – зачастую неэффективной. Но, даже не смотря на сложности, тыловые терминалы постепенно будут появляться. Это связано с их объективной полезностью и тем синергетическим эффектом, который они несут для транспортной системы региона в целом.

Внутренние регионы России также обладают низким уровнем развития контейнерной инфраструктуры. Именно железнодорожные перевозки контейнеров остаются единственной технологией доставки контейнеров во внутренние регионы. Это обеспечивается достаточно разветвленной сетью железнодорожных направлений, высокой скоростью доставки, возможностью крупногабаритной загрузки, применением специализированного подвижного состава для перевозки.

Все это позволяет именно железнодорожному транспорту создавать лучшие условия в соотношении всех параметров при перевозках контейнеризированных грузов. Существующая неразвитость внутренних железнодорожных контейнерных перевозок – следствие нескольких факторов, один из которых – нехватка контейнерных перегрузочных мощностей на железных дорогах. По состоянию на 2015 г. в России с 20-футовыми контейнерами может работать всего 174 железнодорожных станции, а с 40-футовыми – лишь 41 станция, что явно недостаточно [74]. Именно отсутствие у внутренних регионов России доступа к качественному контейнерному сервису тормозит общее развитие экономики России и не позволяет развивать логистику. Невозможно обеспечивать создание инновационных производств, требовательных к качеству логистических услуг, абсолютно не развивая наземную контейнерную систему грузораспределения.

1.4 Степень разработанности темы диссертационного исследования

Отечественная наука занималась вопросами создания и организации эффективной контейнерной системы грузораспределения со времен становления универсального контейнера, как общемировой транспортной единицы, используемой при перевозках генеральных грузов [64, 85, 86, 89].

Вклад в решение и изучение проблем, связанных с перевозками грузов в универсальных контейнерах морским транспортом, внесли советские и российские ученые-транспортники – В. Г. Бакаев [4], Э. А. Гагарский [14–16], Л. В. Канторович [25], А. В. Комаров [31], И. К. Мазур [59], В. Т. Осипов [73], Ф. Д. Романовский [85–86], А. А. Смехов [88–89], В. И. Снопков [91]. Труды указанных авторов содержат фундаментальные основы по организации и технологии перевозки контейнерных грузов на морских и речных судах различных конструкции и типов, а также устанавливают общие требования к организации и технологии перегрузки универсальных контейнеров в морских и речных портах с использованием комбинаций портового и судового перегрузочного оборудования.

На протяжении последних пятнадцати лет вопросами организации и управления грузораспределением морских контейнерных терминалов занимались такие ученые как А. П. Агеев [1, 2], Л. Д. Ветренко [11], А. В. Галин [19], А. В. Кириченко [27, 28], Е. А. Королева [32], Р. Г. Король [33], А. Л. Кузнецов [34–54], М. Л. Левина [57], О. Б. Маликов [64–66], В. А. Погодин [79–82], Я. Б. Спасский [94–96], А. Л. Степанов [97, 98], В. Н. Щербакова-Слюсаренко [104–113].

Однако в работах указанных авторов уделяется внимание лишь части вопросов, рассматриваемых в настоящем диссертационном исследовании. Вышеуказанными отечественными авторами рассматривается, прежде всего, базисный функциональный элемент контейнерной системы – морской контейнерный терминал, в разрезе его деятельности в разных экономических и эксплуатационных условиях. При этом недостаточное внимание уделяется вопросам взаимодействия морских терминалов с хинтерлендом, а также вопросам регионализации портов.

В работах указанных авторов не уделяется внимание задаче организации системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов с использованием передовых методов современной математики и вычислительной техники.

Общим недостатком существующих отечественных научных работ близких к теме настоящего диссертационного исследования является рассмотрение вопросов интеграции морских контейнерных терминалов в структуру контейнерной транспортной системы России лишь посредством обеспечения переработки имеющихся грузопотоков. В работах указанных авторов вопросы построения высокоэффективной отечественной транспортной системы, основанной на тесном взаимодействии морских и тыловых терминалов, эшелонировании портов, развитии внутренних контейнерных терминалов в сложных рыночных условиях не рассматриваются.

Свой вклад в решение вопросов, связанных с управлением контейнерным грузораспределением также внесли: В. В. Багинова [71], Г. Л. Бродецкий [8], Т. П. Воскресенская [13], М. Н. Горынцев [20], О. И. Титберия [36, 39], И. В. Максимей [61], И. Ю. Согрин [66, 92], В. А. Фетисов [102], Ю. Г. Щербанин [114]. При этом в работах вышеперечисленных авторов недостаточное внимание уделяется вопросам взаимодействия морских контейнерных терминалов с хинтерлендом, а также вопросам регионализации портов.

Указанные отечественные исследователи, в отличие от зарубежных [119, 120–122, 125, 126, 129, 130], рассматривают процесс построения интегрированной транспортной системы зачастую лишь с точки зрения повышения эффективности функционирования отдельных её элементов, тогда как вопросы связи и взаимодействия между элементами системы и видами транспорта в узлах грузораспределения, оснащенных высокопроизводительной перегрузочной техникой, остались вне поля их научной деятельности.

Развитие ЭВМ, повышение доступности и информативности электронных системы и баз данных, расширяет возможности для проведения научных исследований [62].

Использование достижений дискретной математики и программирования позволяет создавать сложные и многоуровневые модели, связанные с распределением контейнеропотоков и организацией перевозок контейнеропригодных грузов различными видами транспорта. Однако усложнение моделей систем уменьшает их универсальность, так как модель зачастую становится пригодна лишь для работы с узким кругом проблем.

Использование дискретно–событийного моделирования является на сегодняшний день одним из самых точных инструментов для исследования сложных транспортных систем. В связи с популярностью данного инструментария современная наука, изучающая вопросы транспортной логистики, обрела реальные возможности прогнозирования и выработки рекомендации по организации инновационных систем управления грузораспределением.

Выводы по главе, постановка цели и задач исследования

Проведенный анализ современного состояния контейнерной системы грузораспределения в России позволяет сделать вывод о том, что отсутствие у регионов России доступа к качественному контейнерному сервису тормозит общее развитие промышленности и бизнеса в России, что негативно сказывается на экономике государства. На практике развитие диверсифицированной системы контейнерного грузораспределения требует огромных инвестиций, а от момента приложения усилий по ее созданию до выхода на полную мощность проходят годы. Морские порты являются магнитом для возникновения логистических кластеров и местом тяготения крупных индустриальных центров, оставаясь при этом единственным местом концентрации морских операций.

Развитие наземной сети грузораспределения силами исключительно собственников портов и терминалов таит в себе угрозы перехода крупной части доходов портов в наземную сеть при получении портами крупных обременений.

Развитая сеть грузораспределения морского порта должна, в первую очередь, наоборот, оптимизировать работу порта и быть механизмом вознаграждения клиентов и собственников, а также становиться функциональной частью транспортной системы более высокого уровня [53].

Основной целью инвестиций портов в развитие наземной сети грузораспределения является стремление сгенерировать и привлечь грузопотоки, однако полное управление грузопотоками портам не гарантируется. При этом появление развитой наземной транспортной сети может привести к укреплению позиций портов-конкурентов. Основным двигателем процесса регионализации портов и терминалов, т.е. создания высокоэффективной наземной системы контейнерного грузораспределения, является рынок. Однако во многом регионализации зависит от политических условий, т.к. морские порты в основном полагаются на государственное финансирование [88].

Отечественные порты на сегодняшний день по экономическим и географическим причинам не могут служить мировыми портами - хабами. При этом создание на базе отечественных портов даже региональных хабов связано со значительными рисками. Некоторые крупные морские порты России могут послужить центрами для регионализации, что, в общем, отвечает требованиям сегодняшнего отечественного рынка потребления и производства. В данном процессе присутствуют определенные сложности, в частности: ведомственные барьеры и ограничения, политические предпочтения, несовершенство транспортного законодательства, а также несогласованность транспортных тарифов. Основной функцией российского государства должно быть обеспечение благоприятного административно-правового поля, которое позволит рынку находить решение задач, связанных с созданием и развитием высокоэффективной наземной системы контейнерного грузораспределения [63, 68]. Необходимо симметрично развивать внутреннюю контейнерную инфраструктуру и объекты в припортовой зоне. Повысить количество контейнеров, вывозимых из портов в регионы, мешает и дефицит необходимой тыловой и внутренней инфраструктуры. Соответственно необходимо строительство центров транshipmentа, распределяющих контейнеропотоки.

Привлечение железнодорожного транспорта к обработке грузопотоков контейнеров в крупнейших портах и контейнерных терминалах России является единственным возможным и необходимым решением для создания высокоэффективной системы контейнерного грузораспределения. Необходимо поступательное развитие железнодорожного сообщения для обеспечения вывоза и подачи контейнеров в порт составами повышенной длины и вместимости [27].

Соответственно, существует объективное *противоречие* — современный транспортный бизнес остро нуждается в обоснованной методике, позволяющей осуществлять проектирование сбалансированных систем управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, основанных на тесном взаимодействии морского транспорта, морских портов и наземных систем грузораспределения. Анализ научных исследований в данной области, а также проведенная оценка степени разработанности темы диссертационного исследования показали, что подобная обоснованная методика в российской науке на сегодняшний день отсутствует, что свидетельствует о наличии соответствующей *научной задачи*.

Существование данного противоречия и лежащей в его основе научной задачи позволяет выбрать цель исследования. *Цель диссертационного исследования* — повышение эффективности процесса грузораспределения морских контейнерных терминалов за счет проектирования рациональной системы управления.

В соответствии со сформулированной целью, в диссертационном исследовании поставлены следующие *частные задачи*:

- провести ретроспективный анализ и оценку современного состояния глобальной контейнерной системы грузораспределения;
- разработать комплекс математических моделей для целей осуществления проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов;
- разработать методику проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов и предложить рекомендации по её использованию.

Глава 2 Моделирование процесса функционирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов

2.1 Определение функциональной схемы и состава элементов проектируемых моделей

В современных условиях функции морских портов и их роль в транспортной цепочке вышла за границы лишь оказания услуг по обработке грузов, следующих морем. Морские порты постепенно стали оказывать услуги логистики добавленной стоимости. Перевозчики, тесно связанные с портами, берут на себя функции не просто транспортировки товаров морем, но и работы в дальнейшей цепочке поставок, а именно функции портовых операторов и провайдеров мультимодальных перевозок. Такая деятельность, как складирование, хранение товаров и логистическая доработка все чаще выносятся за границы морских портов, а клиентами, с которыми все теснее начинают работать порты, становятся логистические операторы, наземные перевозчики и провайдеры логистических услуг. Процесс синхронизации деятельности морских портов и морских перевозчиков с наземными перевозчиками, наряду с интеграцией морской, портовой и наземной транспортной инфраструктурой называется *регионализацией портов* (англ. «port regionalization») [2, 116, 122].

Отличительные особенности процесса *регионализации портов* – тесная связь участников транспортного рынка (морских и сухопутных перевозчиков, а также портов), совместное развитие инфраструктуры и логистических платформ, формирование региональных логистических центров. Основные причины возникновения явления регионализации – рост нагрузки на транспортную систему, недостаток территорий для развития портов, экологические ограничения, изменения и формирование глобальных товаропотоков, обработать которые не под силу отдельным участникам транспортного рынка [123].

Для регионализации морских портов недостаточно исключительно возникновения отдельных распределительных логистических центров и тыловых терминалов, что подробно показано в приложении В. Регионализация подразумевает создание организованной сети транспортных коридоров и грузовых центров в местах концентрации грузопотоков. В точках концентрации грузопотоков возникают кластеры логистических компаний, образующиеся вследствие приближенности к рынкам сбыта, наличия спроса на мультимодальные перевозки и дополнительные услуги. Сосредоточение компаний, предоставляющих логистические услуги в точках концентрации грузопотоков, обуславливает возникновение синергетического эффекта, привлекающего компании дистрибуторы, так генерируются *логистические полюса* [23, 117]. Морские порты начинают выполнять функцию узлов грузораспределения, обеспечивающих поступательное развитие логистических полюсов, а также объектов, зависящих от эффективной работы наземных сетей.

В современных мировых рыночных условиях, морские порты для повышения собственной конкурентоспособности привлекают крупных грузоперевозчиков и становятся элементом их цепочки поставок. Обширная тыловая зона портов становится магнитом для привлечения компаний, оказывающих услуги добавленной стоимости, а хинтерленд становится полигоном для развития и создания высокоэффективных узлов взаимодействия перевозчиков. При этом важную роль в этом процессе играет именно контейнеризация и ориентация наземной системы грузораспределения на работы с контейнеропригодными грузами [121, 125]. В России вышеуказанные процессы протекают довольно медленно, а модели развития в большинстве российских морских портов и в наземной транспортной сети реализуются слабо. Однако постепенное изменение глобальных экономических условий и грузопотоков ставит перед отечественными портами подобные вызовы уже сейчас, а, следовательно, развитие научных и практических концепций формирования структуры и состава элементов высокоэффективной системы управления грузораспределения является очень интересной и актуальной исследовательской задачей.

Создание в Российской Федерации высокоэффективной наземной системы грузораспределения морских портов на основе существующей инфраструктуры предусматривает очередность создания мощностей. В первую очередь необходимо создание опорной сети, служащей стимулом для привлечения потенциальных инвесторов и запуска «цепной реакции» по реализации проектов в регионах [111, 115].

Для этого необходимо максимальное использование тех преимуществ, которые существуют в транспортной системе России на сегодняшний день. Акцент на освоение контейнеропотоков силами железнодорожного транспорта позволит эффективно использовать и развивать уже существующую транспортную инфраструктуру.

В рамках обеспечения оборота груза железнодорожным транспортом целесообразна маршрутизация перевозок контейнеров из/в портов России поездами повышенной длины, способных перевозить до 640 TEU за один рейс.

Причем подобная маршрутизация должна осуществляться за счет концентрации железнодорожного траншипмента и грузовой работы на так называемых «опорных станциях». Для удобства предлагается также называть их *«центрами железнодорожного траншипмента»*.

Существующая и действующая по состоянию на 2016 год в России модель работы железнодорожного транспорта несовершенна и требует направленного поступательного развития для целей максимально охвата импортных и экспортных контейнеропотоков, а также значительного снижения расходов на перевозку каждой конкретной единицы груза.

Действующая схема организации железнодорожных перевозок грузов, следующих через морские порты в импортном направлении, представлена на рисунке 2.1 [66, 92]:

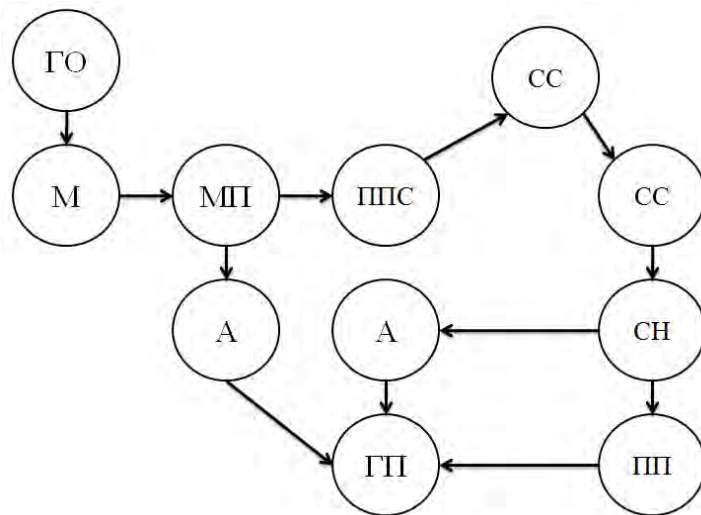


Рисунок 2.1 — Действующая схема организации железнодорожных перевозок грузов в России, следующих через морские порты в импортном направлении

На рисунке 2.1 обозначены следующие функциональные элементы: *ГО* — грузоотправитель; *М* — морской транспорт (суда-контейнеровозы); *МП* — контейнерный терминал морского порта; *А* — автомобильные пути сообщения; *ППС* — припортовая железнодорожная станция; *СС* — сортировочная железнодорожная станция; *СН* — железнодорожная станция назначения; *ПП* — подъездная путевая инфраструктура грузополучателя; *ГП* — грузополучатель.

Действующая схема организации железнодорожных перевозок грузов, следующих через морские порты в экспортном направлении, представлена на рисунке 2.2:

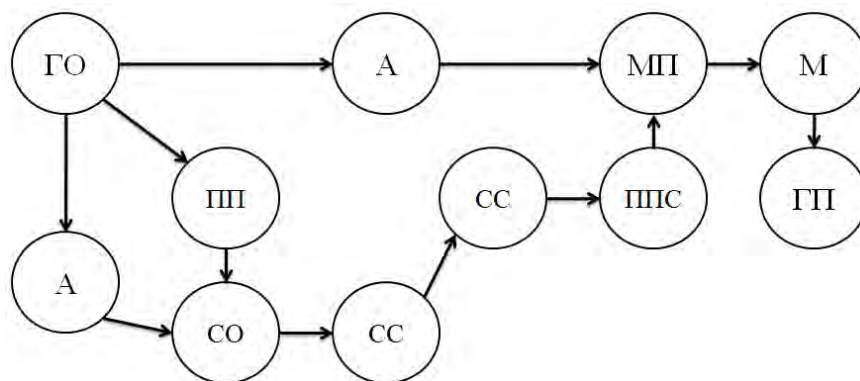


Рисунок 2.2 — Действующая схема организации железнодорожных перевозок грузов в России, следующих через морские порты в экспортном направлении

На рисунке 2.2 обозначены следующие функциональные элементы, отличные от элементов, приведенных на рисунке 2.1: **СО** — железнодорожная станция отправления.

Действующая модель организации железнодорожных перевозок грузов, следующих через морские порты, имеет ряд существенных недостатков, которые делают ее неприменимой для дальнейшего использования в процессе регионализации морских портов [100, 103]:

- Большие сроки доставки грузов;
- Высокие затраты на организацию переработки подвижного состава на сортировочных станциях;
- Высокие затраты на организацию маневровой работы на припортовых и сортировочных станциях;
- Необходимость чрезмерного развития путевого хозяйства сортировочных станций при увеличении грузопотоков;
- Большие сроки простоя подвижного состава и груза в ожидании накопления, и при формировании и расформировании поездов;
- Большая вероятность порчи и повреждения грузов при осуществлении маневровых работ на сортировочных станциях.

Рост количества обслуживаемых в морских портах России крупных судов-контейнеровозов и общая динамика контейнеропотоков требуют организации системы управления грузораспределением, обеспечивающей регулярный и своевременный ввоз/вывоз грузов и освобождения портов и железной дороги от побочных операций.

Существующее количество побочных операций делает организацию перевозок контейнеропотоков железнодорожным транспортом неконкурентоспособной автомобильным перевозкам и неэффективной. На рисунке 2.3 представлена общая функциональная схема железнодорожной перевозки импортного контейнера:

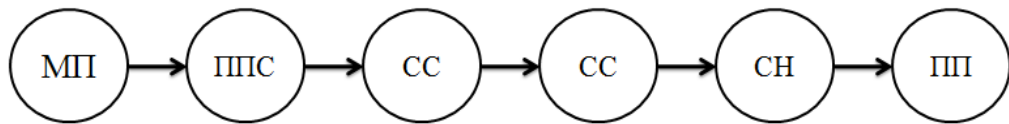


Рисунок 2.3 — Функциональная схема организации перевозки контейнеров из морского порта

Перевозка контейнера по данной функциональной схеме предполагает совершение большого количества технологических операций, среди которых можно выделить основные, приведенные на рисунке 2.4:

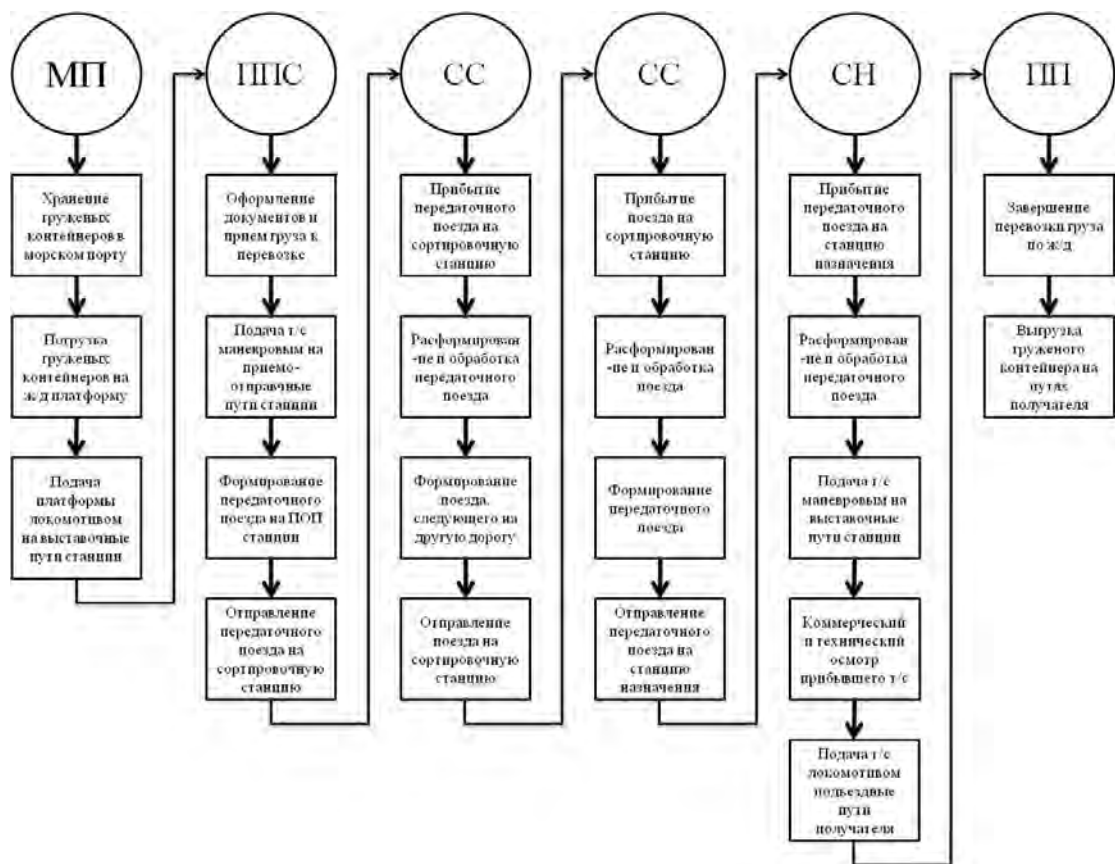


Рисунок 2.4 — Развернутая функциональная схема организации перевозки контейнеров из морского порта

Мировой опыт регионализации морских портов и построения высокоэффективных систем управления грузораспределением морских контейнерных терминалов диктует иные требования к составу элементов и структуре их взаимодействия в рамках обработки грузопотоков.

Прежде всего, необходимо уточнить, какие элементы являются краеугольными в системе управления распределением контейнеропотоков:

1. *Тыловой контейнерный терминал* (то же, что и ТКТ, «сухой порт», «dry port») — мультимодальный технологический комплекс, представляющий собой терминал или группу терминалов, инженерную сеть, транспортную и административную инфраструктуру, обеспечивающую обслуживание мощностей морских контейнерных терминалов или грузовых районов портов, в том числе за счет выполнения операций по коммерческому хранению, консолидации и дистрибуции грузовых партий, логистической доработке [19, 71].
2. *Распределительный логистический центр* (то же, что и РЛЦ, распыляющий хаб, «distribution center» или центр железнодорожного транshipmenta) — сетевой мультимодальный технологический комплекс, представляющий собой терминал или группу терминалов, транспортную, административную и инженерную инфраструктуру для обслуживания транзитных и региональных грузопотоков, позволяющий региональным клиентам получать услуги логистики добавленной стоимости [8].
3. *Сателлит* (то же, что и СТ, местный грузовой терминал, «satellite») — терминал или группа терминалов, связанных с распределительным логистическим центром единой технологией грузообработки и выполняющих вспомогательные операции для работы РЛЦ [8, 13].

Формирование высокоэффективной наземной сети грузораспределения морских портов России также подразумевает применение следующих системных решений — многоуровневая функциональная структура объектов, построение иерархической системы, наличие грузовых коридоров с высокой пропускной способностью.

Развитие адекватных грузовых коридоров на базе имеющейся железнодорожной инфраструктуры предполагает следующие действия [9, 102]:

1. Формирование инфраструктурного полигона для движения поездов по расписанию — полотно, разъезды, сигнализация, централизация и блокировка;

2. Обеспечение и диспетчеризация движения поездов по «ниткам» графика вне зависимости от поступивших заявок на перевозку;
3. Уход от сортировочной работы и ее замена обработкой грузов на сети РЛЦ и тыловых терминалов;
4. Терминальная обработка поездов без разрывов составов в рамках установленных нормативов;
5. Обеспечение свободного доступа клиентов к услугам и создание информационных порталов и систем с открытым доступом;
6. Проведение единой тарифной и технологической политики.

Осуществление вышеуказанных действий должно сопровождаться созданием интегрированной информационной системы с целью повышения диспетчерского управления, оптимизации транспортных и складских процессов. Основные факторы, определяющие выбор зон для размещения краеугольных элементов в системе управления распределением контейнеропотоков:

1. Максимальное использование существующей транспортной инфраструктуры и земельных участков, уже сегодня находящихся в собственности транспортных компании;
2. Наличие на существующих станциях примыкания достаточного путевого развития и резервов пропускной способности для обеспечения постепенного ввода в эксплуатацию терминалов;
3. Максимальная приближенность к крупным транспортным узлам, центрам зарождения и завершения грузопотоков, действующим автомагистралям;
4. Обеспечение потенциальных зон водоснабжением, водоотведением и электроэнергией.

Системообразующую роль в системе управления грузораспределением морских контейнерных терминалов должны выполнять *тыловые контейнерные терминалы (ТКТ)* [104, 107]. Подобные инфраструктурные объекты целесообразно сформировать в зонах, удобных для обслуживания морских контейнерных терминалах и грузовых районов бассейнов морей и океанов.

В общем, тыловые терминалы выполняют функцию узлов транshipmentа для различных транспортных потоков, а также системного интегратора для выстраивания высокоэффективных цепочек поставок [33, 105]. Вариант схема взаимодействия морского контейнерного терминала и тыловых терминалов приведен на рисунке 2.5:

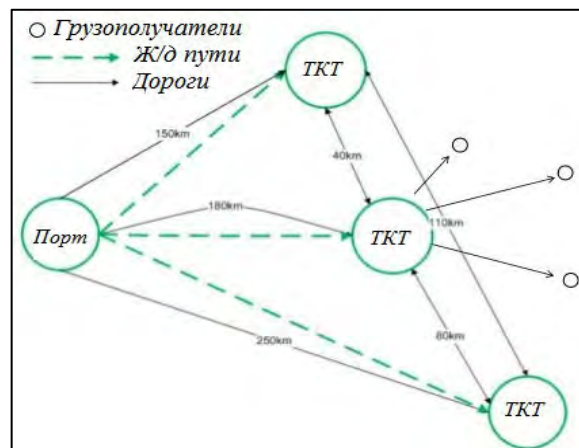


Рисунок 2.5 — Схема взаимодействия морского контейнерного терминала и тыловых терминалов (вариант)

В составе тылового контейнерного терминала необходимо реализовать следующие инфраструктурные объекты, обозначенные на рисунке в приложении Г цифрами: 1 – контейнерная площадка, 2 – площадка для таможенного досмотра и установки ИДК, 3 – зона обслуживания контейнеров, 4 – автостоянка, 5 – зона погрузки и склад консолидации, 6 – крытый склад для генеральных грузов, 7 – административное здание, 8 – зона погрузки и склад консолидации генеральных грузов.

Тесный уровень взаимодействия между тыловыми контейнерными терминалами и морскими портами обусловлен принципом формирования тыловых терминалов, как инструментов стивидорных компаний по увеличению пропускной способности причальной стенки морского терминала. Единый технологический процесс, связывающий морские и тыловые терминалы, обуславливает сходный подход к формированию портовых технологий, технологии обмена грузом и технологическому взаимодействию [71].

Реализация взаимодействия «морской контейнерный терминал — тыловой контейнерный терминал» позволяет получить следующие результаты [106]:

1. Увеличить перерабатывающую способность морских контейнерных терминалов;
2. Повысить эффективность перевозочного процесса и уменьшить транспортные издержки;
3. Оптимизировать инвестиционную нагрузку при формировании инфраструктуры морских портов и ускорить их ввод в эксплуатацию;
4. Исключить фактор «бросания поездов» по причинам занятости путей морских портов;
5. Уменьшить экологическую нагрузку на автодорожную сеть.

Распределительные логистические центры (РЛЦ) являются следующим звеном в функционально структуре наземных сетей грузораспределения морских портов [3]. Инфраструктура РЛЦ должна обеспечить следующее:

1. Обработку железнодорожных составов длиной – 88 условных вагонов (1050 метров), количеством платформ до 60 единиц;
2. Расстояние между осями смежных железнодорожных путей на станциях, в прямых участках не менее 4800 мм;
3. Прямой участок железнодорожных путей в зоне погрузки/выгрузки;
4. Возможности обработки крупнотоннажных контейнеров, а также подключения электропитания к рефконтейнерами;
5. Обеспечить единый уровень погрузочно-выгрузочной площадки терминала для обеспечения возможности передвижения техники.

К РЛЦ предъявляются жесткие требования к внутренней структуре, планировке, компоновке объектов (полный перечень объектов находится в приложении Д). На этапе планирования и предпроектных разработок РЛЦ необходимо учитывать следующие элементы региональных контейнерных терминалов и требования к ним [106], указанные в таблице 2.1. Для обработки контейнеров на РЛЦ, поступающих железнодорожным транспортом целесообразно использовать козловые краны на железнодорожном ходу.

Обработка грузов на железнодорожном фронте предусматривает постановку нескольких кранов для организации одновременной погрузки/выгрузки. Оптимальная рабочая зона для 1 крана – 250 метров.

Таблица 2.1 – Общие требования к размерам зон РЛЦ (вариант)

№	Структура объекта	Минимальные параметры			
		Длина ж/д фронта, м	Количество ж/д путей, шт.	Размеры участка, м	Площадь, Га
1	Центр таможенного оформления				
	– в составе ж.д. порта	1050	2	1400x160	22,4
	– в составе ТЛЦ	525	3	850x200	17
2	Контейнерный терминал	1050	2	1400x160	22,4
3	Склад	525	3	850x200	17
4	Сервис - центр, административный блок, деловой центр	*	*	*	30
Итоговая необходимая минимальная площадь					108,8

Современный РЛЦ должен обеспечивать предоставление широкого спектра услуг и включать следующие зоны для обработки грузов в рамках инфраструктурных объектов: 1 — зона для обработки и складирования контейнеров, 2 — зона обработки генеральных грузов, сборных грузов, 3 — зона таможенного оформления, 4 — зона складирования генеральных грузов, сборных грузов, 5 — зона обработки наливных и насыпных грузов (для танк и балк-контейнеров), 6 — площадка для осуществления обработки тяжеловесных и накатных грузов, 7 — КПП и зона стоянки автотранспорта.

Также на РЛЦ и тыловом контейнерном терминале необходимо обстроить следующую транспортную инфраструктуру:

1. Внутреннее железнодорожное путевое развитие, освещение, СЦБ, пассажирские платформы;
2. Автодороги и подъезды к терминалам, парковки, знаки и разметку.

На РЛЦ и тыловом контейнерном терминале необходимо обстроить следующую административно – хозяйственную инфраструктуру:

1. Административное здание и деловой центр;

2. Электроподстанции, системы водоснабжения и водоотведения, связь;
3. Систему безопасности (КПП и системы видеонаблюдения).

Низшим функциональным звеном в наземной сети грузораспределения морских портов являются *сателлиты* – объекты транспортной инфраструктуры, создаваемые на базе существующих грузовых дворов железнодорожных станций и образующих местную сеть контейнерных грузовых центров. Основными функциями сателлитов являются:

1. Обеспечение нужд локальных грузоотправителей при отправлениях и получении контейнеропригодных грузов;
2. Предоставления услуг по затарке/растарке контейнеров;
3. Предоставления уникальных услуг, ориентированных на местный рынок;
4. Обеспечения сервиса, связанного с мультимодальными перевозками.

Организация взаимодействия сателлитов и распределительных логистических центров представлена на проектной схеме, изложенной в приложение Е.

На рисунке 2.6 представлена общая функциональная схема железнодорожной перевозки в рамках проектируемой системы управления контейнерным грузораспределением морских терминалов:

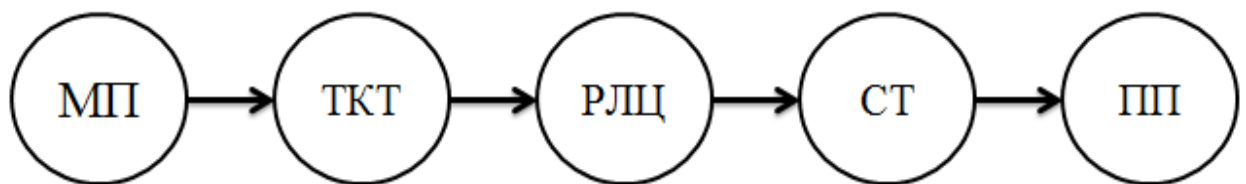


Рисунок 2.6 — Функциональная схема перевозки импортных контейнеров в рамках проектируемой системы управления контейнерным грузораспределением

Железнодорожное сообщение между морскими портами, тыловыми контейнерными терминалами, распределительными логистическими центрами и сателлитами в мировой практике организовано следующими видами и формами подвижного состава [28]:

- *Ускоренные контейнерные поезда* (УКП, «блок-поезда», «блок-трейны») – линейные маршрутные контейнерные поезда, в составе 57 – 71 контейнерных фитинговых платформ (в перспективе до 120 платформ);
- *Шаттлы* (ШТ, «поезда-шаттлы», передаточные или вывозные поезда) – в составе 27–57 фитинговых платформ.

Перевозка контейнера по данной функциональной схеме предполагает совершение меньшего количества технологических операций, среди которых следует выделить основные, приведенные на рисунке 2.7:

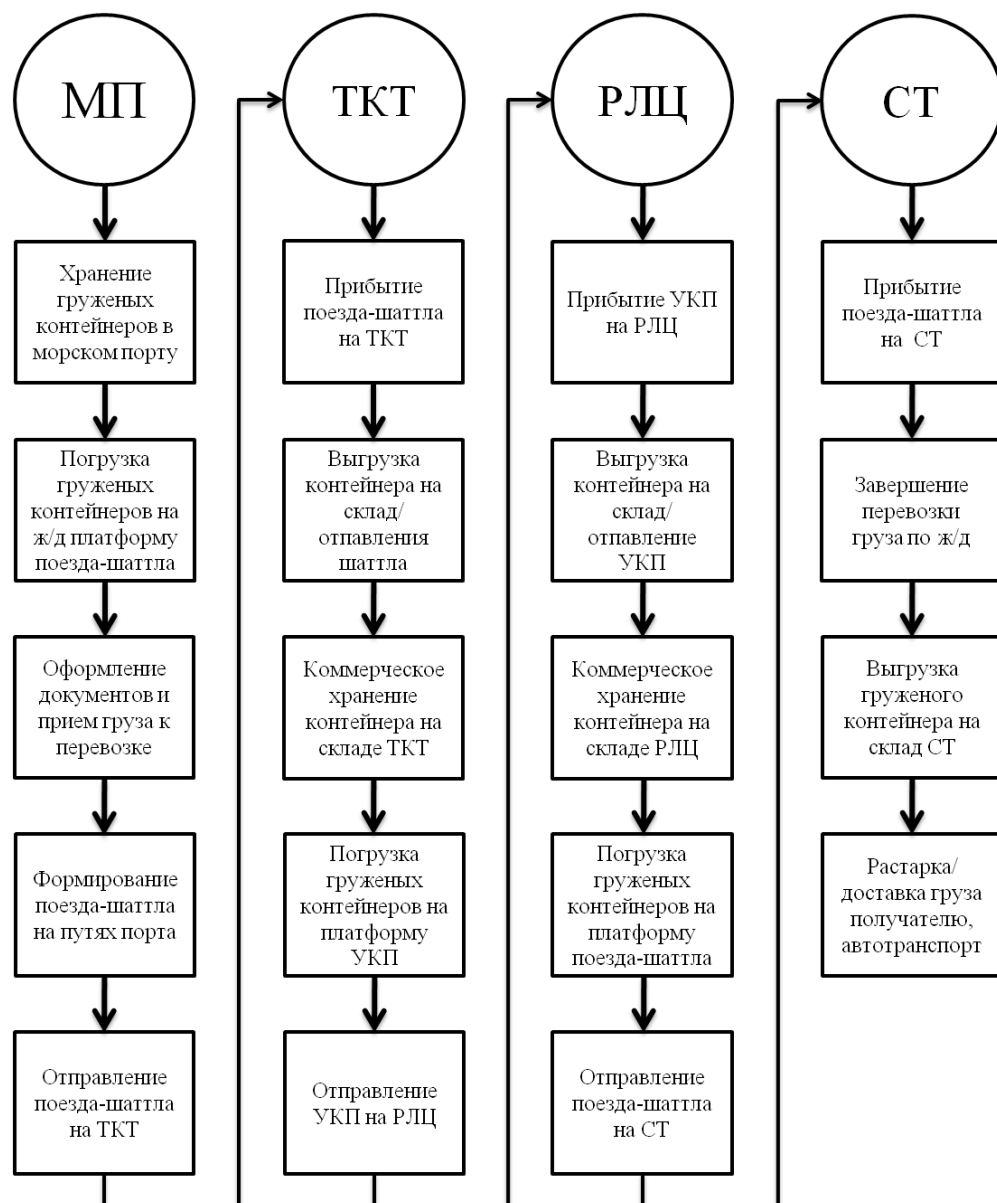


Рисунок 2.7 — Развернутая функциональная схема перевозки контейнеров в рамках проектируемой системы управления контейнерным грузораспределением

Согласно мировому опыту, преимуществами функционирования подобной системы контейнерного грузораспределения морских терминалов являются:

1. Повышение ритмичности наземного контейнерного сервиса;
2. Увеличение пропускной способности наземных путей сообщения;
3. Увеличение грузооборота локальной и региональной транспортных систем;
4. Повышение качества и своевременности обслуживания клиентов;
5. Снижение общих цен на доставку груза через морские порты.

К недостаткам представленной проектируемой системы контейнерного грузораспределения по праву следует отнести:

1. Повышения количества операций по погрузке/выгрузке груза;
2. Высокие капитальные затраты и инвестиции в строительство;
3. Глобальное изменение технологических процессов.

Таким образом, далее в диссертационной работе необходимо выбрать математический аппарат для разработки имитационных моделей. После этого, в первую очередь, необходимо сформировать модель для обоснования структуры грузораспределения морских контейнерных терминалов, обеспечивающей инфраструктурные возможности для транспортных процессов и достижения синергетического экономического эффекта.

2.2 Выбор математического аппарата для разработки моделей

Современные транспортные системы, являются сложным механизмом, состоящим из множества интегрированных подсистем и элементов. Каждый элемент в транспортной системе тесно связан с другими, причем их взаимное влияние выражается нелинейными закономерностями. Выразить и рассчитать параметры работы морских портов, наземных сетей грузораспределения и внутренних терминалов и распределительных логистических центров с помощью известных аналитических методов невозможно из-за присутствия в системе стохастических

процессов, появления задержек и очередей, существования приоритетов разных видов транспорта и грузов, наличия внутреннего параллелизма.

Вследствие этого оптимальным инструментом для получения необходимой информации о работе морских портов, наземных сетей грузораспределения и распределительных логистических центров является их моделирование и проведение экспериментов с моделями для получения комплексных результатов [20, 30, 72, 94, 118].

Моделирование является механизмом познания свойств исследуемого объекта и позволяет оценить влияние различных факторов на объект, путем воздействия на его модель. Основные этапы моделирования – построение самой модели с помощью математических или физических методов, исследование модели, т.е. проработка внутренних связей элементов модели, и использование модели.

Модели в основном подразделяются на материальные модели (т.е. материальные копии оригинального объекта) и абстрактные модели (т.е. модели, созданные с помощью различных абстрактных средств описания – математики, графических методов и пр.) [101].

Одной из самых широко применяемых абстрактных моделей является математическая модель, для построения которой используется язык математики. Работа с математическими моделями позволяет получать формализованные, доказанные и математически обоснованные результаты.

Математическое моделирование принято подразделять следующим образом: аналитическое, имитационное, комбинированное и численное [26].

В аналитических моделях элементы модели и их структурная взаимосвязь выражается в виде алгебраических, интегральных и дифференциальных уравнений и соотношений. Однако использование исключительно аналитических моделей в отношении реальных сложных систем невозможно. В общем, существующие на сегодняшний день виды моделей можно представить, как показано на рисунке 2.8:

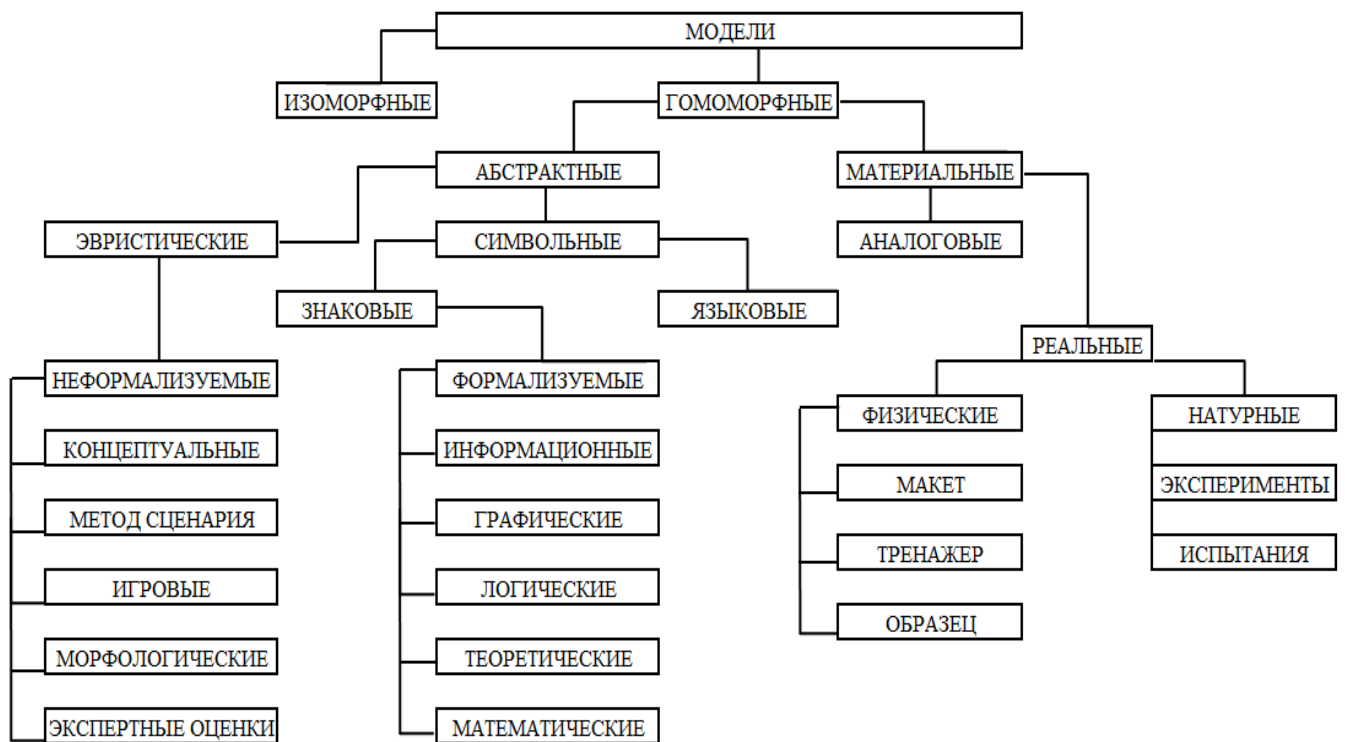


Рисунок 2.8 — Виды моделей [62]

Имитационное моделирование используется для воспроизведения функционирования системы во времени с сохранением логической структуры. Имитационное моделирование помогает по исходным данным определить состояние изучаемой модели в любой момент времени и получить необходимые для исследований данные о поведении модели. Основные виды имитационного моделирования — агентное, дискретно – событийное и системная динамика. Особенности каждого вида подробно изложены в таблице 2.2.

Имитационные модели бывают высокодетализированные (отображающие особенности протекания всех процессов) и агрегированные (в которых сходные параметры объединены).

В результате моделирования исследователи получают данные, измеряемые с помощью соответствующих физических величин. В процессе моделирования транспортных систем и СМО возможно получить такие показатели как объем обработанных грузов, моменты и сроки обработки грузов, интенсивность выполнения технологических операций, длительность процессов и т.д. [96, 109].

Таблица 2.2 – Виды имитационного моделирования

Вид моделирования	Объект	Цели
Агентное	Децентрализованные системы, где правила, и законы являются результатом индивидуальной активности агентов группы	Получить представление о правилах, общем поведении системы, исходя из частного поведения ее отдельных объектов и взаимодействии этих объектов в системе
Дискретно-событийное	Системы, в которых процессы представлены в хронологической последовательности	Получение сведений о поведении транспортных и производственных процессов, логистических систем и СМО
Системная динамика	Поведение системы во времени в зависимости от структуры ее элементов и уровня взаимодействия между ними	Выявление причинно-следственных связей между объектами и явлениями в системе

В зависимости от целей и задач исследования, характеристик рассматриваемой системы и ее среды, а также требований к точности и полноте результатов выбирается тот или иной вид модели, из представленных на рисунке 2.9. Для моделирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов целесообразно использовать дискретно-событийное моделирование, причем полученная общая модель должна обладать свойствами динамичности и непрерывности.

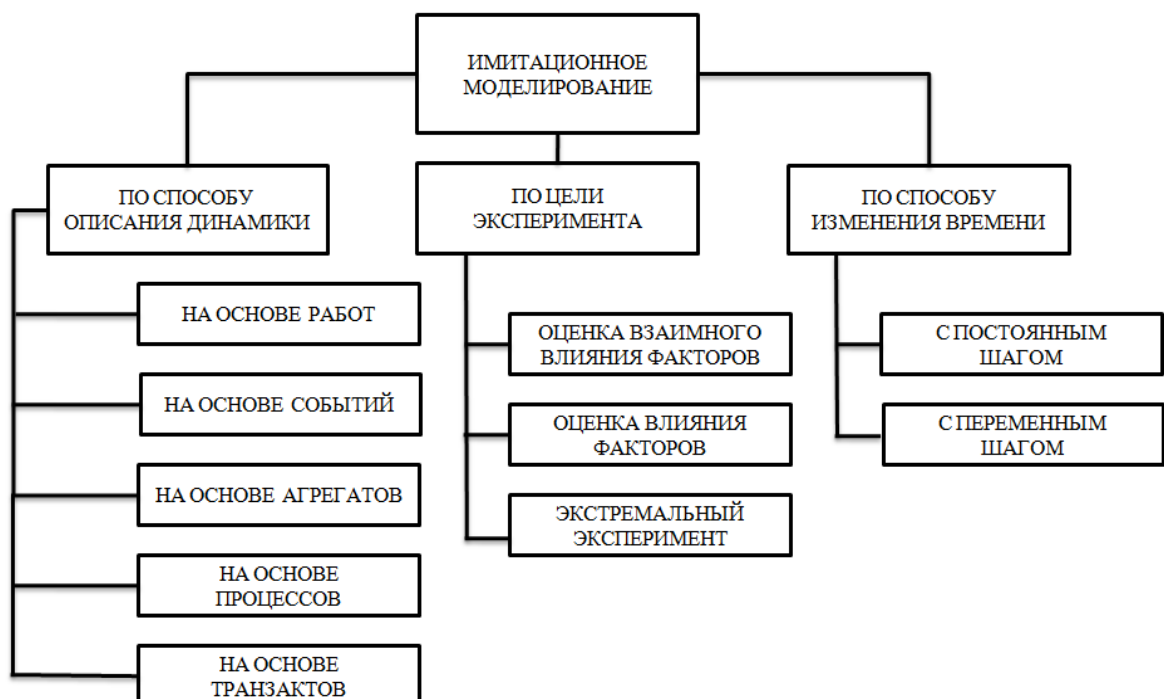


Рисунок 2.9 — Разделение имитационного моделирования по признакам

По окончании имитационного моделирования необходимо провести оценку качества полученной модели и её соответствия модели предназначению, а также оценить достоверности получаемых результатов. Для этого необходимо проверить адекватность модели (степень соответствия реальной системе), ее устойчивость (способность сохранять адекватность) и чувствительность (поведение модели в условиях изменяющихся данных и нагрузок) [51].

Если в результате проверки качества созданной модели оказалось, что ее характеристики не вполне удовлетворяют целям исследования, выполняется калибровка модели, т.е. её коррекция в соответствии с требованиями. Процедура калибровки состоит из трех шагов, представленных на рисунке 2.10:



Рисунок 2.10 — Процесс калибровки имитационной модели

Построение общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов позволит эффективно планировать работу системы распределения, оптимизировать ресурсы терминалов и транспортной инфраструктуры, а также же обеспечить переработку максимально возможного грузопотока. Установление баланса между эксплуатационными расходами на содержание транспорта и инфраструктуры в системе грузораспределения и доходами от обработки грузопотоков является ключевым условием функционирования системы грузораспределения терминалов в целом.

Оптимальный инструмент работы с подобными системами — имитационное моделирование [38, 50, 61, 90, 108–109, 127]. Для моделирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов целесообразно использовать дискретно-событийное моделирование. Полученная комплексная модель функционирования наземной сети грузораспределения должна обладать свойствами динамичности и непрерывности.

Построение общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов позволит эффективно планировать работу контейнерных терминалов и их системы грузораспределения.

2.3 Обоснование структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов на основе имитационного моделирования

Первичная оценка моделируемой системы. Эволюция системы контейнерного грузораспределения берет свое начало с последней четверти XX века. Начальный период развития системы контейнерного грузораспределения в большинстве стран предполагал растарку и затарку контейнеров на территории порта, как показано на рисунках ниже, не выпуская их в тыловые территории. Грузы выгружались из контейнера и покидали порт в виде генерального груза. Какая-то часть контейнеров загружалась в порту обратным грузом, так же прибывающим в порт в виде брейк-балка, что видно на рисунках 2.11 и 2.12:

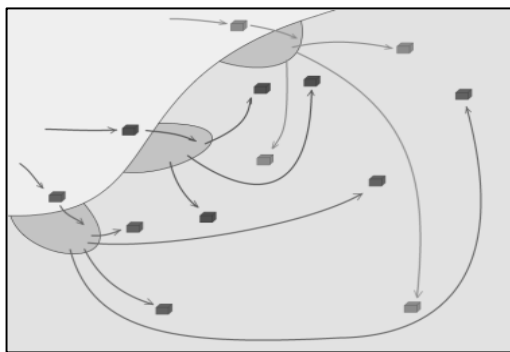


Рисунок 2.11 — Обработка на терминалах морских портов

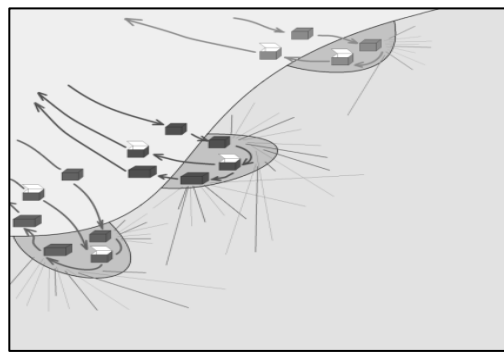


Рисунок 2.12 — Доставка импортных контейнеров в порты

Судоходные линии следили за обеспечением баланса выгруженных и погрузенных в каждом порту контейнеров (груженых или порожних), поскольку этого требовала природа их оборота как многоразовой тары и экономика замкнутых циклов обращения.

При превышении объема импортных грузов над экспортными из порта вывозился излишек порожних контейнеров, в обратном случае ввозились порожние. Однако идеальная сбалансированность импортно-экспортных потоков наблюдалась лишь на начальном этапе контейнеризации, когда для насыщения всего контейнерного оборота было достаточно самого малого объема имеющегося генерального груза.

Контейнер все больше завоевывал популярность как интермодальное оборудование, идеально подходящее для доставки грузов в территории грузового тяготения, и контейнеры линий под ответственностью экспедиторов начали проникать в территории грузового тяготения портов.

В России в импорте всегда преобладали груженые контейнеры, поскольку перевозимыми в них грузами являлись в основном промышленные товары. Эти импортные грузопотоки складывались обычно из отправок контейнерами мелким и потому многочисленным грузополучателям, рассеянными по значительной территории.

Малый размер грузовых партий заставлял делать выбор в пользу автомобильного транспорта — даже на расстояниях экономического предпочтения железной дороги или внутреннего водного транспорта и при наличии соответствующих транспортных путей. Транспортная процедура при этом разбивалась на несколько отдельных этапов.

Первым этапом процесса контейнерной транспортировки являлась доставка груженых контейнеров из порта в адрес грузополучателя, контейнер растаривался, тем самым переходя в категорию порожних по месту доставки. В большинстве случаев потребители промышленных товаров не имели обратного генерального груза для затарки образовавшихся порожних контейнеров, поэтому общим решением был возврат их в порт, откуда был получен груз.

Порожние контейнеры, возвращенные в порт получателями импортных грузов, ожидали там отправки морем к поставщикам грузов, что показано на рисунках 2.13 и 2.14:

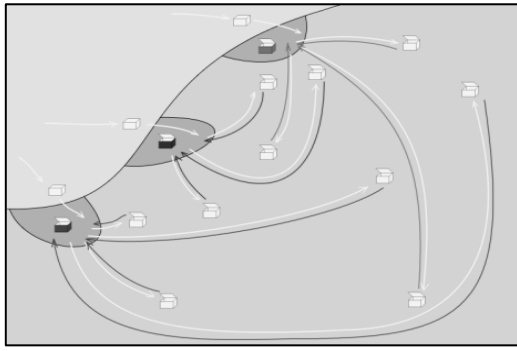


Рисунок 2.13 – Возврат порожних контейнеров в порт

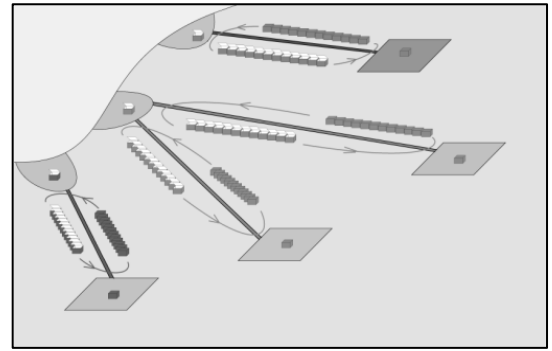


Рисунок 2.14 – Репозиционирование порожних контейнеров

Появление экспортных контейнеризированных грузов в первую очередь было связано с работой различных производств – химических, деревообрабатывающих комбинатов, металлургических заводов и пр. Природа их деятельности и экономика транспортировки диктовали использование, как правило, железнодорожного транспорта.

Продукция этих грузоотправителей, которая раньше перевозилась в крытых вагонах, полувагонах и на платформах, постепенно стала перевозиться в контейнерах. Отправка поездных партий груза стала требовать симметричной подачи из портов к месту загрузки соответствующих партий порожних контейнеров, как показано на рисунке 2.14. Подача порожних контейнеров под загрузку в тыловых территориях порта (хинтерленде) носит название репозиционирования.

Если объем производства был согласован с расписанием движения морских линий, проблемы транспортировки не возникало: заблаговременно к моменту подхода судна производство готовило необходимое число экспортных железнодорожных партий, для их транспортировки в порт подавались порожние контейнеры, которые загружались и возвращались в порт круговыми ж/д маршрутами.

Избыток или дефицит порожних контейнеров восполнялся морскими перевозками (как на начальном этапе, но с учетом железнодорожных звеньев). Сколько бы отдельных линий не заходило в тот или иной порт, импортный и экспортный контейнерные потоки к отдельным производствам реализовались через один порт, что позволяло легко устанавливать баланс порожних и использовать полные маршрутные поезда.

С течением времени, по самым разным причинам, список портов захода линий мог меняться. Кроме того, при возможном ухудшении конъюнктуры рынка, особенно во времена экономического кризиса, уровень «точечного» потребления падает.

Для сохранения объема производства и выживания на рынке, поставщики (производители) вынуждены расширять географию рынков и бороться за любых клиентов. Частота сервиса же напрямую связана с максимальным периодом ожидания отправки (получения) груза. Меньший требуемый период доставки грузов в адрес одного порта и множественность ее адресатов не позволяли накопить достаточные партии грузов.

Вытекающее из этого ухудшение экономики перевозок усугубляют обстоятельства наступающего экономического кризиса. Как следствие, сформировавшаяся картина сбалансированных перевозок нарушается. Производства заключают контракты с многочисленными потребителями, которые предполагают перевозку различными линиями через различные порты, не имеющие прямого железнодорожного сообщения и даже не имеющими железнодорожного сообщения вовсе.

Сроки доставки исключают возможность использовать длинные сроки накопления груза в адрес одного порта. Возникает ситуация, когда в адрес каждого порта партия не составляет объема, нужного для организации маршрутных контейнерных отправок, хотя общий объем продукции позволял бы это сделать, что показано на рисунках 2.15 и 2.16:

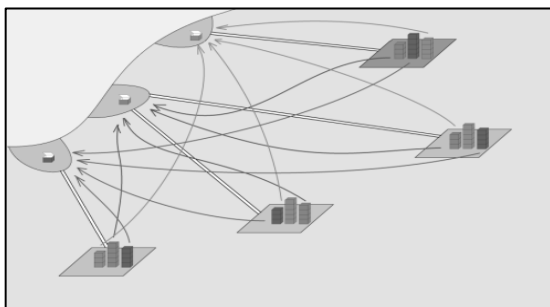


Рисунок 2.15 – Проблема репозиционирования

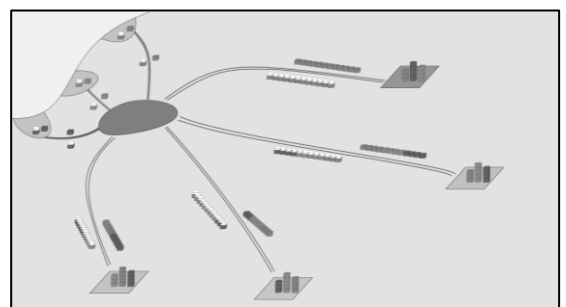


Рисунок 2.16 – Концепция тылового терминала

Появляется необходимость перехода на повагонные отправки или даже автомобильный транспорт, поскольку в каждом отдельном порту имеются порожние контейнеры, но они принадлежат различным линиям и не могут составлять объемы, требуемые для полноценных маршрутных контейнерных отправок. Производства начинают испытывать сильное экономическое давление. Решением этой проблемы является использование концепции тылового контейнерного терминала, расположенного в ближнем хинтерленде портового кластера. На территории тылового терминала осуществляется перекомплектация маршрутных контейнерных отправок, содержащих адресованные в разные порты партий, в контейнерные же поезда однородной адресации. Поскольку в любом случае изменение схемы транспортировки грузов связано с масштабными затратами, целесообразность перехода на концепцию «сухого порта» должна тщательно обосновываться. Традиционный инструментарий проектирования, планирования и управления оказывается непригоден для управления глобальными логистическими цепями поставок. Интуитивные решения, даже основанные на обширном опыте и коммерческом чутье топ-менеджеров с безупречными резюме, могут оказаться опасными для судеб компаний. Наиболее эффективным инструментом принятия подобных стратегических решений, как уже было отмечено в параграфе 2.1, является имитационное моделирование [76].

Формулировка цели и задач имитационного моделирования. На рисунке 2.17 рассмотрены возможные варианты маршрутов между предприятиями–производителями и морскими портами:

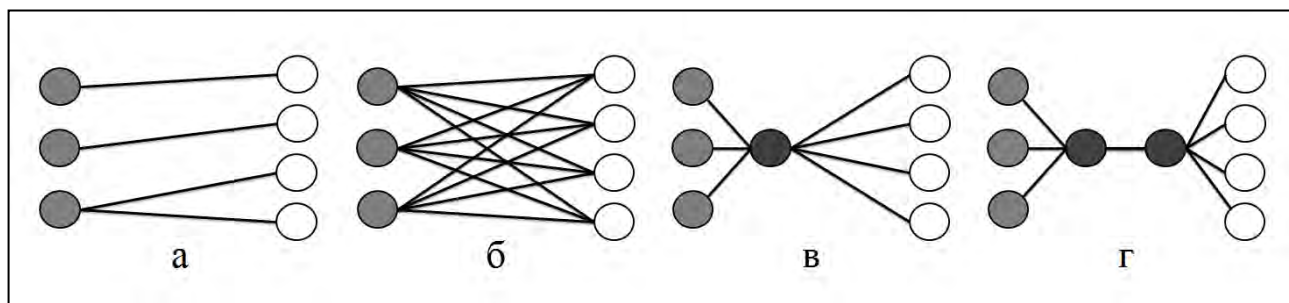


Рисунок 2.17 — Варианты конфигурации сети контейнерного грузораспределения

Как следует из содержательной постановки задачи, изменение объемов отправок продукции из предприятий-производителей в морские порты может приводить к отступлениям от схемы, показанной на рисунке 2.17а. Возможными вариантами является прямая доставка от каждого предприятия в каждый порт-получатель (рисунок 2.17б), использование консолидирующего узла — «тылового контейнерного терминала» (рисунок 2.17в), использование двух консолидирующих-распределительных узлов – ТКТ и РЛЦ (рисунок 2.17г).

Таким образом, целью создания имитационной модели для обоснования структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов является получение математически корректного инструмента для выбора той или иной структуры сети грузораспределения терминалов, исходя из имеющихся объемов перевозимого груза и стоимости доставки определенной партий груза тем или иным видом транспорта до терминала. Исходя из цели создания модели, необходимо, чтобы в результате моделирования получались бы следующие выходные параметры (условно обозначенные как *задачи моделирования*):

- Итоговая общая стоимость доставки годовой грузовой партии от всех отправителей до морского контейнерного терминала (ден.ед.);
- Итоговая стоимость доставки годовой грузовой партии от каждого отправителя до морского контейнерного терминала (ден.ед.);
- Стоимость доставки 1 грузовой единицы (TEU) от отправителя до морского контейнерного терминала (ден.ед./ TEU).

Полученные показатели будут основанием для принятия управленческого решения о строительстве и начале функционирования сети грузораспределения морского контейнерного терминала с той или иной структурой (исходя из вариантов, указанных на рисунке 2.17 (а,б,в,г)) [76].

Разработка структуры модели. Пусть r_i обозначает предприятие i и p_j обозначает порт j . В случае конфигурации сетей контейнерного грузораспределения, показанных на рисунках 2.17а и 2.17б, предприятие i направляет в порт j плановый годовой объем $q[r_i, p_j] = q_{ij}$.

Эти значения совокупно образуют матрицу годовых грузопотоков между предприятиями и портами $Q = Q_{ij} = q_{ij}$. Каждое предприятие r_i характеризуется своим предельным допустимым интервалом отправки груза в порт t_i^{int} , значения которых составляют вектор-столбец $T^{int} = T_{I \times 1}^{int} = t_i^{int}$. Тем самым, объем одновременной регулярной отправки из предприятия i в порт j составляет величину $v_{ij} = \frac{q_{ij}}{t_i^{int}}$. Соответствующие значения формируют матрицу объемов регулярных отправок $V = V_{i \times j} = v_{ij}$. Основные входные параметры для модели перечислены в таблице 2.3:

Таблица 2.3 – Описание входных параметров имитационной модели

Параметр	Ед. измерения	Описание параметра
Q_{ij}	TEU/год	Объем годовых отправок от предприятия грузоотправителя
T_i	сут.	Интервалы отправок от предприятия грузоотправителя в адрес морского терминала
V	TEU	Количество грузовых мест (контейнеров) в составе контейнерного поезда (УКП)
$C_{ваг\ ij}$	д.е./TEU	Тарифы при повагонных отправлениях от предприятия грузоотправителя в адрес морского терминала
$C_{марш\ ij}$	д.е./TEU	Тарифы при маршрутных отправлениях от предприятия грузоотправителя
$C_{УКП}$	д.е./TEU	Тарифы при отправлениях в составе ускоренного контейнерного поезда (УКП)

В случаях, если объем регулярной отправки $v_{ij} = \frac{q_{ij}}{t_i^{int}}$ превышает значение V , принимаемое равным максимальной вместимости поезда из 60 фитинговых платформ, т.е. 120 TEU, то для перевозки части регулярной отправки кратной значению V используется маршрутная отправка — железнодорожная отправка по одной накладной партии груза в количестве, соответствующем грузоподъемности целого состава поезда. Соответствующие значения формируют матрицу объемов регулярных маршрутных отправок $V_{марш} = V_{i \times j\ марш} = v_{ij\ марш}$.

В случаях, если объем регулярной отправки $v_{ij} = \frac{q_{ij}}{t_i^{int}}$ не превышает значение V или составляет большее значение, то для перевозки регулярной отправки более или менее значения V используется повагонная отправка — железнодорожная отправка по одной накладной партии груза, для перевозки которого по его объему, массе или роду требуется отдельный вагон.

Соответствующие значения формируют матрицу объемов регулярных повагонных отправок $V_{\text{ваг}} = V_{i \times j \text{ ваг}} = v_{ij \text{ ваг}}$. В случаях, когда для регулярной отправки используется маршрутная отправка — применяется тариф C_{ij}^{train} за каждую перевозимую единицу. В случаях, когда для регулярной отправки используется повагонная отправка, применяется тариф C_{ij}^{car} за перевозимую единицу, причем $C_{ij}^{train} = 0,9 C_{ij}^{car}$. Соответствующие тарифы образуют матрицы $C^{train} = C_{i \times j}^{train} = c_{ij}^{train}$ и $C^{car} = C_{i \times j}^{car} = c_{ij}^{car}$.

В случае конфигурации сетей контейнерного грузораспределения, показанных на рисунках 2.17а и 2.17б задача ставится следующим образом – при заданных значениях $Q = q_{ij}$, $T^{int} = t_i^{int}$, V , $C^{train} = c_{ij}^{train}$, $C^{car} = c_{ij}^{car}$, определить, какая из данных двух конфигураций транспортной сети является предпочтительной по критерию совокупных затрат. Решение задачи для сетей контейнерного грузораспределения, показанных на рисунках 2.17 а и 2.17 б предполагает следующие действия:

1. Вычисление матрицы объема регулярных вывозов с заводов

$$V_{\text{рег}} = v_{ij \text{ рег}} = Q_{ij} / \left(\frac{365}{T^{int}} \right) = q_{ij} / \left(\frac{365}{t_i^{int}} \right)$$

2. Формирование матрицы регулярных маршрутных отправок

$V_{\text{марш}} = V_{i \times j \text{ марш}} = v_{ij \text{ марш}}$ при соблюдении условия $v_{ij \text{ рег}} \geq V$ и матрицы регулярных повагонных отправок $V_{\text{ваг}} = V_{i \times j \text{ ваг}} = v_{ij \text{ ваг}}$ в случаях, когда $v_{ij \text{ рег}} < V$.

3. Формирование матрицы тарифов $C^{train} = C_{i \times j}^{train} = c_{ij}^{train}$ и $C^{car} = C_{i \times j}^{car} = c_{ij}^{car}$.

4. Вычисление матрицы стоимости перевозок из заводов в порты

$$X = X_{i \times j} = x_{ij} = c_{ij}^{car} \times v_{ij \text{ ваг}} + c_{ij}^{train} \times v_{ij \text{ марш}}$$

5. Вычисление суммы элементов матрицы X , дающее значение суммарной стоимости.
6. Вычисление вектора стоимости перевозки годовой партии от каждого завода $X_{zod} = x_{i\ zod}$ и вычисление вектора стоимости доставки одного TEU от каждого завода $X_{TEU} = x_{i\ TEU}$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17в предприятие i направляет грузы не прямо в порты, а в некий контейнерный центр грузораспределения L_1 , откуда общий объем далее распределяются между портами j . Соответственно, матрица годовых грузопотоков между предприятиями и портами $Q = Q_{ij} = q_{ij}$ распадается на два вектора — вектор-столбец, описывающий поставки из предприятий в некий контейнерный центр грузораспределения L_1 , т.е. $Q^r = Q_{i \times L_1}^r = q_{iL_1}^r$, и вектор-строку, описывающий поставки из некоего контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты. т.е. $Q^p = Q_{L_1 \times j}^p = q_{L_1j}^p$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17в каждое предприятие r_i также будет характеризоваться своим предельным допустимым интервалом отправки груза в контейнерный центр грузораспределения t_i^{int} , значения которых составляют вектор-столбец $T^{int} = T_{I \times 1}^{int} = t_i^{int}$. Тем самым, объем одновременной регулярной отправки из предприятия i в порт контейнерный центр грузораспределения L_1 как и в предыдущих вариантах составляет величину $v_{iL_1} = \frac{q_{iL_1}}{t_i^{int}}$. Соответствующие значения сформируют вектор объемов регулярных отправок $V = V_{i \times L_1} = v_{iL_1}$. В данном случае действуют те же условия и принципы применения повагонных и маршрутных отправок, что и случаях, показанных на рисунках 2.17а и 2.17б. В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17в тарифы на повагонную и маршрутную отправки будут отличаться по принципу $C_{i \times j}^{train} > C_{i \times L_1}^{train}$ и $C_{i \times j}^{car} > C_{i \times L_1}^{car}$ в связи с меньшим расстоянием перевозок. Тариф на перевозки партий груза из контейнер-

ного центра грузораспределения L_1 в морские порты j в поездах-шаттлах определяется значением U и задается вектор–строкой $U = U_{L1 \times j} = U_{L1j}$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17в задача ставится следующим образом – при заданных значениях $Q = q_{ij}$, $T^{int} = t_i^{int}$, V , $C^{train} = c_{iL1}^{train}$, $C^{car} = c_{iL1}^{car}$ и $U = U_{L1j}$ определить, какая из трёх конфигураций транспортной сети является предпочтительной по критерию совокупных затрат. Решение задачи для сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17в предполагает следующие действия:

1. Вычисление вектора объемов регулярных вывозов с заводов

$$V_{pez} = v_{iL1\,pez} = Q_i / \left(\frac{365}{T^{int}} \right) = q_i / \left(\frac{365}{t_i^{int}} \right).$$

2. Формирование вектора регулярных маршрутных отправок

$V_{марш} = V_{i \times L1\,марш} = v_{iL1\,марш}$ при соблюдении условия $v_{iL1\,pez} \geq V$ и вектора регулярных повагонных отправок $V_{вар} = V_{i \times L1\,вар} = v_{iL1\,вар}$ в случаях, когда $v_{iL1\,pez} < V$.

3. Формирование векторов применяемых тарифов $C^{train} = C_{i \times L1}^{train} = c_{iL1}^{train}$ и

$$C^{car} = C_{i \times L1}^{car} = c_{iL1}^{car}.$$

4. Вычисление вектора–столбца стоимости перевозок из заводов в контейнер-

ный центр грузораспределения $X = X_{i \times L1} = x_{iL1} = c_{iL1}^{car} \times v_{iL1\,вар} + c_{iL1}^{train} \times v_{iL1\,марш}$

5. Вычисление вектора–строки стоимости перевозок из контейнерного центра

грузораспределения в морские порты $Y = Y_{L1 \times j} = y_{L1j} = U_{L1j} \times q_i$.

6. Вычисление суммы элементов векторов X и Y , дающее суммарную стоимость перевозок.

7. Вычисление вектора стоимости перевозки годовой партии от каждого заво-

да $X_{zod} = x_{i\,zod}$ и вычисление вектора стоимости доставки одного TEU от каждого завода $X_{TEU} = x_{i\,TEU}$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17г предприятие i направляет грузы не прямо в порты, а в некий ближайший контейнерный центр грузораспределения L_2 , где партии объединяют-

ся, грузятся в ускоренные контейнерные поезда (далее – УКП) и направляются в контейнерный центр грузораспределения L_1 . Соответственно, матрица годовых грузопотоков между предприятиями и портами $Q = Q_{ij} = q_{ij}$ распадается на три элемента: два вектора — вектор–столбец, описывающий поставки из предприятий в некий контейнерный центр грузораспределения L_2 , т.е. $Q^r = Q_{i \times L_2}^r = q_{iL_2}^r$, вектор–строку, описывающую поставки из некоего контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты, т.е. $Q^p = Q_{L_1 \times j}^p = q_{L_1 j}^p$, а также на значение отправок в УКП — $Q_{УКП} = Q_{L_1 \times L_2}$. Тариф на перевозки партий груза между контейнерными центрами грузораспределения L_1 и L_2 в УКП определяется значением S . Объемы повагонных и маршрутных отправок рассчитываются в виде векторов аналогично с предыдущими вариантами. В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рисунке 2.17г, тарифы на повагонную и маршрутную отправки $C_{i \times L_1}^{train} > C_{i \times L_2}^{train}$ и $C_{i \times L_1}^{car} > C_{i \times L_2}^{car}$ в связи с меньшим расстоянием перевозок. Решение задачи для сети, показанной на рисунке 2.17г, предполагает следующие действия:

1. Вычисление объемов регулярных вывозов $V_{pez} = v_{iL_2\,pez} = Q_i / \left(\frac{365}{T^{int}} \right) = q_i / \left(\frac{365}{t_i^{int}} \right)$.
2. Формирование вектора регулярных маршрутных отправок $V_{марш} = V_{i \times L_2\,марш} = v_{iL_2\,марш}$ при соблюдении условия $v_{iL_2\,pez} \geq V$ и вектора регулярных повагонных отправок $V_{ваг} = V_{i \times L_2\,ваг} = v_{iL_2\,ваг}$ в случаях, когда $v_{iL_2\,pez} < V$.
3. Определение значения $V_{УКП} = V_{L_1 \times L_2\,УКП} = Q_{L_1 \times L_2} = Q$.
4. Формирование векторов тарифов $C^{train} = C_{i \times L_2}^{train} = c_{iL_2}^{train}$ и $C^{car} = C_{i \times L_2}^{car} = c_{iL_2}^{car}$.
5. Вычисление вектора–столбца стоимости перевозок из заводов в контейнерный центр грузораспределения L_2 : $X = X_{i \times L_2} = x_{iL_2} = c_{iL_2}^{car} \times v_{iL_2\,ваг} + c_{iL_2}^{train} \times v_{iL_2\,марш}$.
6. Вычисление значения стоимости перевозки груза между контейнерными центрами грузораспределения L_1 и L_2 в УКП: $S_{УКП} = S_{L_1 \times L_2\,УКП} \times Q_{L_1 \times L_2} = S \times Q$.
7. Вычисление вектора–строки стоимости перевозок из контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты $Y = Y_{L_1 \times j} = y_{L_1 j} = U_{L_1 j} \times q_i$.

8. Вычисление суммы векторов X , Y и значения S суммарной стоимости перевозок.
9. Вычисление вектора стоимости перевозки годовой партии от каждого завода $X_{год} = x_{i\text{год}}$ и вычисление вектора стоимости доставки одного TEU от каждого завода $X_{TEU} = x_{i\text{TEU}}$.

Алгоритм работы программы имитационной модели представлен в приложении Ж к настоящему диссертационному исследованию.

Реализация анимационного представления модели. Реализация модели проведена в программной среде пакета *Microsoft Excel*. Использование для создания программы имитационной модели программных средств *Microsoft Excel* имеет следующие преимущества — простота освоения и работы с программной средой, удобство ввода и корректировки данных, общедоступность программной среды, наглядность. Тем не менее, присутствуют и определенные недостатки, к которым можно отнести — неудобный интерфейс и высокая вероятность потери данных вследствие программных ошибок.

Интерфейс пользователя разработанной программы имитационной модели структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов представлен в виде двух массивов полей ввода данных, имеющих цветовую идентификацию — поля для ввода исходных данных обозначены *темно-серым*, поля для вывода полученных параметров обозначены *светло-серым*. Ячейки, выделенные черным цветом, закрыты для редактирования пользователем, в них появляются результаты расчёта программы или сообщения об ошибке.

При активации программы пользователь видит на экране монитора массив полей ввода исходных параметров. Каждое поле состоит из трех столбцов: первый столбец является описанием входного параметра, т.е. содержит вербальную его характеристику; второй столбец открыт для редактирования пользователем и предполагает ввод пользователем значений, соответствующих вербальному описанию параметра; третий столбец содержит данные о единицах измерения каждого исходного параметра. Пример пользовательского интерфейса, а именно экранная форма блока ввода исходных данных представлен на рисунке 2.18.

БЛОК ВВОДА ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ		
1. Выберите количество предприятий грузоотправителей	X	шт.
1.1 Введите объем годовых отправок от предприятия грузоотправителя № 1	X	TEU
1.2 Введите объем годовых отправок от предприятия грузоотправителя № 2	X	TEU
1.3 Введите объем годовых отправок от предприятия грузоотправителя № 3	X	TEU
1.4 Введите объем годовых отправок от предприятия грузоотправителя № 4	X	TEU
2. Выберите интервал отправок от грузоотправителей	X	сут./отпр.
3. Выберите количество максимальное количество контейнеров (TEU) в составе У КП	X	TEU
4.1 Введите тариф при повагонных отправлениях от предприятия грузоотправителя № 1	X	руб./TEU
4.2 Введите тариф при повагонных отправлениях от предприятия грузоотправителя № 2	X	руб./TEU
4.3 Введите тариф при повагонных отправлениях от предприятия грузоотправителя № 3	X	руб./TEU
4.4 Введите тариф при повагонных отправлениях от предприятия грузоотправителя № 4	X	руб./TEU
5. Введите размер скидки на тариф при маршрутных отправлениях	X	%
6. Введите тариф при отправлениях контейнеров в составе У КП (по направлению)	X	руб./TEU

Рисунок 2.18 — Разработанная экранная форма пользователя программы имитационной модели («Блок ввода исходных параметров»)

Показатель «1» соответствует количеству предприятий грузоотправителей, составляющих элементы сети грузораспределения морских контейнерных терминалов. Данный показатель может принимать значения от 2 до 4. Единица измерения – штуки.

Показатели «1.1» – «1.4» (для данного примера) соответствуют объему годовых отправок от предприятий грузоотправителей № 1–4. Данный показатель может принимать значения от 1 до 1 000 000. Единица измерения – TEU.

Показатель «2» соответствует интервалу отправок партий груза в адрес морских портов. Данный показатель может принимать значения от 1 до 30. Единица измерения – сутки на отправку.

Показатель «3» соответствует максимальному количеству контейнеров (TEU) в составе ускоренных контейнерных поездов (УКП) и выбирается индивидуально, исходя из возможностей транспортной инфраструктуры в рассматриваемом регионе. Данный показатель может принимать значения от 60 TEU до 240 TEU, что в свою очередь выражает грузовместимость одного железнодорожного состава из 30 вагонов с грузом, уложенным в 1 ярус, и грузовместимость одно железнодорожного состава из 60 вагонов с грузом, уложенным в 2 яруса. Единица измерения – TEU.

Показатели «4.1» – «4.4» (для данного примера) соответствуют тарифам при повагонных отправлениях от предприятий грузоотправителей № 1–4 до морских портов с учетом маршрута перевозок. Данные о тарифах пользователь получает из сторонних источников – тарифных руководств, нормативных документов или информационных систем перевозчиков. Данный показатель может принимать значения от 1 до 1 000 000. Единица измерения – руб./TEU.

Показатель «5» соответствует размер скидки на тариф при маршрутных отправлениях от предприятий грузоотправителей № 1–4 до морских портов с учетом маршрута перевозок и специфики работы перевозчиков. Данный показатель может принимать значения от 1 до 20. Единица измерения – проценты.

Показатель «6» соответствует тарифу при отправлениях от предприятий грузоотправителей № 1–4 до морских портов в составе ускоренных контейнерных поездов (УКП) и выбирается индивидуально, исходя из возможностей транспортной инфраструктуры в рассматриваемом регионе.

Данные о тарифах при отправлениях в составе ускоренных контейнерных поездов (УКП) пользователь получает из сторонних источников – нормативных документов или информационных систем перевозчиков. Данный показатель может принимать значения от 1 до 1 000 000. Единица измерения – руб./TEU.

После ввода исходных данных в блок ввода данных, программа выводит на экране монитора массив «*Результаты моделирования*». Каждое поле результатов состоит из трех столбцов: первый столбец является описанием графы результатов, т.е. содержит вербальную его характеристику; во втором столбце программа вы-

водит цифровые значения, соответствующие вербальному описанию результата; третий столбец содержит данные о единицах измерения каждого параметра блока результатов. Пример пользовательского интерфейса программы модели, а именно блока «*Результаты моделирования*» представлен на рисунке 2.19:

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ		
Оптимальный вариант конфигурации сети грузораспределения морского порта:		Г
Описание варианта:	Вариант "Г" является вариантом конфигурации сети грузораспределения с использованием двух консолидирующих–распределительных узлов	
1.1 Стоимость доставки грузовой партии от предприятия № 1	XXX	руб.
1.2 Стоимость доставки грузовой партии от предприятия № 2	XXX	руб.
1.3 Стоимость доставки грузовой партии от предприятия № 3	XXX	руб.
1.4 Стоимость доставки грузовой партии от предприятия № 4	XXX	руб.
2.1 Стоимость доставки 1 TEU от предприятия № 1	XXX	руб./TEU
2.2 Стоимость доставки 1 TEU от предприятия № 2	XXX	руб./TEU
2.3 Стоимость доставки 1 TEU от предприятия № 3	XXX	руб./TEU
2.4 Стоимость доставки 1 TEU от предприятия № 4	XXX	руб./TEU

Рисунок 2.19 — Разработанная экранная форма пользователя программы имитационной модели («Результаты моделирования»)

Всего программа выдает 10 результатов, соответствующих цели и задачам моделирования, и необходимых для принятия пользователем управленческих решений при организации системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.

2.4 Моделирование технологического взаимодействия элементов системы грузораспределения морских контейнерных терминалов

Вопросам технологического взаимодействия морских контейнерных терминалов и тыловых контейнерных терминалов в последнее время уделяется активное внимание, количество научных трудов по этой тематике непрерывно растет. Однако некоторые базовые формулы и методики подвергаются многочисленным изменениям и правкам, а задача оптимизации технологического взаимодействия и ёмкости складов в двухзвенной системе морской порт — «сухой порт» остается нерешенной.

Нахождение решения и разработка соответствующих рекомендаций в общем виде с учетом возрастающей конкуренции между объектами транспортной инфраструктуры также является актуальной научной задачей. Морские и тыловые контейнерные терминалы объединяет сходная функциональная структура и назначение (передача груза между видами транспорта, согласование грузопотоков, коммерческое хранение, логистическая доработка) [52, 112].

Общая постановка задачи. Для начала рассмотрим морской контейнерный терминал как простейший функциональный элемент, служащий для стыковки входных и выходных потоков через него [78]. Экспортный грузопоток $Q^{\text{эксп}}$, поступающий в порт сухопутным транспортом и обрабатываемый на наземном грузовом фронте порта (далее – НГФ), обозначим как $Q_{\text{НГФ}}(t)$, а убывающий из него морем и обрабатываемый на морском грузовом фронте порта (далее – МГФ) как $Q_{\text{МГФ}}(t)$. Значение объема хранимого на складе терминала груза в момент времени получается интегрированным выражением:

$$E_{\text{скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{НГФ}}(t) - Q_{\text{МГФ}}(t)] dt + E_0, \quad (2.4.1)$$

E_0 является произвольной константой, определяемой как начальный запас груза на складе. Характер подобной зависимости показан на рисунке 2.20:

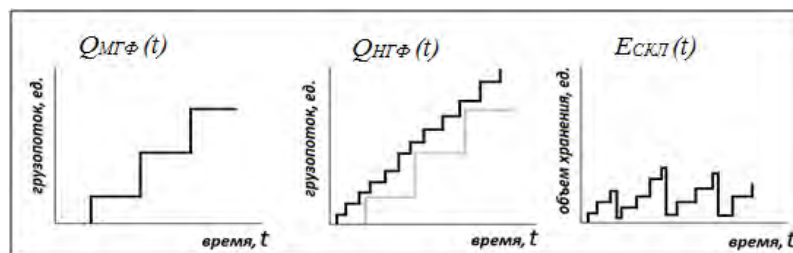


Рисунок 2.20 — Образование объема хранения груза на складе терминала

Завоз груза в порт обычно осуществляется как автомобильным транспортом (малыми грузовыми партиями), так и по железной дороге (средними партиями), а вывоз грузов – крупными судовыми партиями. Неравномерность завоза и вывоза приводят к избытку или дефициту груза на складе морского терминала. В связи с этим в порту требуется хранить груза больше, чем одна судовая партия. Т.е., на складе терминале необходимо иметь возможность хранить избыточный запас, возникающий при задержке вывоза вследствие неприбытия транспортного средства (судна), а так же накапливать «страховочный» запас, предназначенный для загрузки прибывшего ранее срока судна [82, 113].

Наконец, при годовом грузопотоке Q необходимость хранить груз на терминале в течение некоторого времени $T_{хр}$ (по требованиям госорганов или по поручению клиента) приводит к тому, что на складе образуется дополнительный постоянный запас E_0 , что показано на рисунке 2.21:

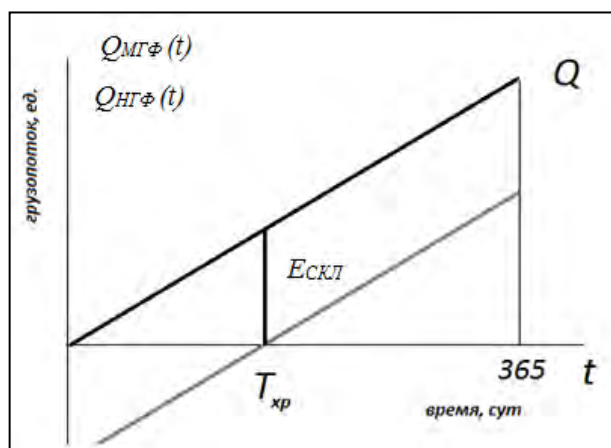


Рисунок 2.21 — Оценка объема хранения на складе порта

Объем груза на складе вызванный хранением $T_{\text{хр}}$ равен расстоянию по вертикали между средними линиями завоза и вывоза, т.е.:

$$E_0 = \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}, \quad (2.4.2)$$

Объединяя выражение (2.4.1) и (2.4.2) возможно получить выражение объема груза на складе:

$$E_{\text{скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{НГФ}}(t) - Q_{\text{МГФ}}(t)] dt + \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}, \quad (2.4.3)$$

Введем в цепь перевозки еще один элемент — «сухой порт». Общая схема взаимодействия элементов двухзвенной системы приведена в приложении И к настоящему диссертационному исследованию. Введение в цепь транспортировки дополнительно элемента позволяет рационально распределить между морским и тыловым терминалами функции хранения избыточного запаса, возникающего при задержке вывоза вследствие неприбытия транспортного средства (судна), а так же накапливания «страховочного» запаса, предназначенного для загрузки прибывшего ранее срока судна.

В системе взаимодействия морской порт – «сухой порт», кроме входящего в систему (непосредственно в «сухой порт») сухопутного грузопотока $Q_{\text{НГФ}}(t)$ и исходящего морского грузопотока $Q_{\text{МГФ}}(t)$ появляется грузопоток из «сухого порта» в морской порт — $Q_{\text{СП}}(t)$. Двухзвенная система позволяет уменьшить требования к объему склада в наиболее дефицитных прибрежных зонах за счет переноса *коммерческого хранения* в тыловые территории, а так же возможности частичной передачи в «сухой порт» функции буфера неравномерностей завоза и вывоза груза. Двухзвенная система позволяет разделить эти функции между морским и тыловым терминалами, оставив за первым исключительно функции обработки морских судов.

Поток из морского терминала в «сухой порт» может находиться в полном управлении оператора терминала (если для его реализации используются технологические транспортные пути), или иметь те или иные внешние ограничения на вместимость транспортных средств и расписание их движения (если используются пути общего пользования оператора железнодорожных перевозок). Все три потока характеризуются соотношением непрерывности грузопотока:

$$\int_0^{365} Q_{\text{МГФ}} dt = \int_0^{365} Q_{\text{НГФ}} dt = \int_0^{365} Q_{\text{СП}} dt, \quad (2.4.4)$$

Различие размеров и несогласованность расписаний поступления грузовых партий на входе и на выходе элементов – меняют характер своего действия на размеры склада. Если при экспортных отправлениях вывоз с морского терминала в двухзвенной системе остается неизменным, то ввоз экспортного груза на морской терминал теперь уже осуществляется промежуточным грузопотоком $Q_{\text{СП}}(t)$.

Грузопоток на входе наземного терминала $Q_{\text{НГФ}}(t)$ остается неизменным, а вывоз из него характеризуется промежуточным потоком $Q_{\text{СП}}(t)$. Таким образом, абсолютное значение объема груза на складе морского порта:

$$E_{\text{мор.скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{СП}}(t) - Q_{\text{МГФ}}(t)] dt + \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}, \quad (2.4.5)$$

Тогда как объем значения объема груза на складе «сухого порта»:

$$E_{\text{наз.скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{НГФ}}(t) - Q_{\text{СП}}(t)] dt + \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}, \quad (2.4.6)$$

Если промежуточный поток $Q_{\text{СП}}$ находится под управлением оператора терминала и не имеет ограничений по размерам и частоте подач, то за счет его изме-

нения можно решить любую задачу – от полного устранения хранения на морском терминале до полного исключения хранения на тыловом терминале.

Для целей разработки рекомендаций по формированию внутреннего грузопотока и распределению функций между звеньями транспортной цепи служат следующие соображения — уменьшение необходимой для организации хранения площади на наиболее дорогостоящей территории (снижение капитальных затрат), уменьшение парка и равномерное распределение интенсивности работы требуемого перегрузочного оборудования на морском терминале, возможность адекватной реакции на изменения размеров требуемых партий. Действие фактора образования запаса на складе в рассматриваемом случае полностью переносится на территорию «сухого порта», освобождая морской терминал от необходимости долгосрочного хранения груза [78].

В связи с тем, что стоимость складирования груза на терминале зависит от удельных расходов собственника терминала на содержание инфраструктуры, целесообразно далее перейти к определению характеристик склада морского терминала $E_{\text{мор.скл}}$ и склада «сухого порта» $E_{\text{наз.скл}}$, как показано на рисунке 2.22:

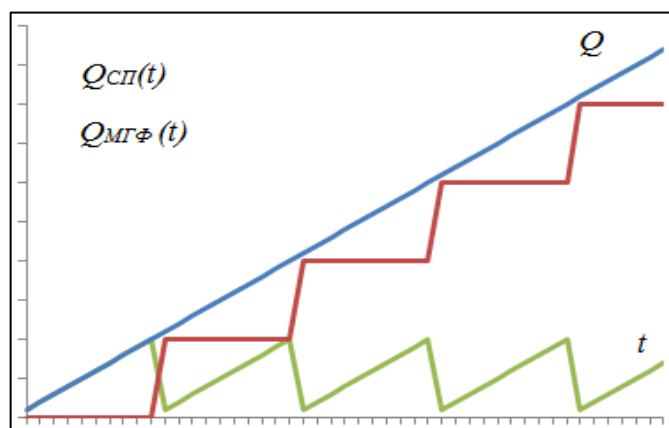


Рисунок 2.22 — Динамическая составляющая объема склада морского порта

Проанализировав приведенную кривую динамической составляющей объема склада морского порта для экспортного грузопотока, изображенную на рисунке 2.22, можно увидеть, что при регулярном завозе и вывозе максимальные значения объема груза на складе не превышают объем судовой партии V .

Следовательно, максимальную оценку вместимости морского контейнерного терминала дает следующее выражение:

$$E \leq V + \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{хр}}}{365} = V + \frac{N \cdot V \cdot T_{\text{хр}}}{N \cdot T_{\text{суд}}} = V \left(\frac{T_{\text{хр}}}{T_{\text{суд}}} + 1 \right), \quad (2.4.7)$$

При этом полная передача функции коммерческого хранения в «сухой порт» (т.е. $T_{\text{хр}} = 0$) позволит уменьшить максимальную вместимость морского контейнерного терминала и даст следующее выражение:

$$E \leq V + \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{хр}}}{365} = V, \quad (2.4.8)$$

Для тылового контейнерного терминала ситуация будет схожей. При завозе железнодорожным транспортом входящий грузопоток $Q_{\text{НГФ}}(t)$ на терминал будет характеризоваться объемом груза, доставляемым ускоренными контейнерными поездами (далее – УКП) $V_{\text{УКП}}$, тогда как вывоз груза со склада «сухого порта» будет характеризоваться объемом груза, вывозимым поездами-шаттлами $V_{\text{ШТ}}$.

Значение $V_{\text{УКП}} > V_{\text{ШТ}}$, так как в УКП является магистральной линией в рассматриваемой сети, тогда как шаттлы выполняют роль фидеров. На рисунке 2.23 построим график кривую динамической составляющей объема контейнерного склада «сухого порта»:

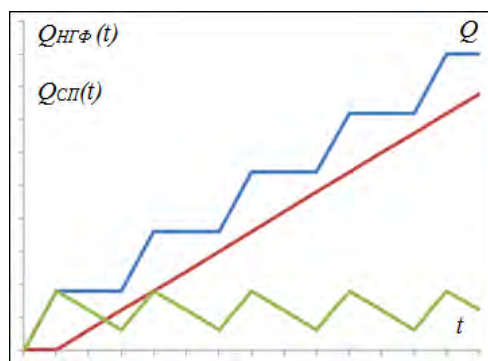


Рисунок 2.23 — Динамическая составляющая объема склада «сухого порта»

Проанализировав приведенную на рисунке 2.23 кривую динамической составляющей объема склада «сухого порта», можно увидеть, что при регулярном вывозе максимальные значения объема груза на складе не превышают объем партии УКП $V_{\text{УКП}}$. Следовательно, максимальная вместимость тылового контейнерного терминала для обработки грузопотока дает следующее выражение:

$$E \leq V_{\text{УКП}} + \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{хр}}}{365} = V_{\text{УКП}} + \frac{N \cdot V_{\text{УКП}} \cdot T_{\text{хр}}}{N \cdot T_{\text{УКП}}} = V_{\text{УКП}} \left(\frac{T_{\text{хр}}}{T_{\text{УКП}}} + 1 \right), \quad (2.4.9)$$

Полная передача функции коммерческого хранения в «сухой порт» из морского порта (т.е. $T_{\text{хр}} > 0$) также потребует от склада возможности хранить и судовую партию V , тогда:

$$E \leq V_{\text{УКП}} + \frac{N \cdot V_{\text{УКП}} \cdot T_{\text{хр}}}{N \cdot T_{\text{УКП}}} + V = V + V_{\text{УКП}} \left(\frac{T_{\text{хр}}}{T_{\text{УКП}}} + 1 \right), \quad (2.4.10)$$

Далее предлагается рассмотреть случай одновременного поступления в двухзвенную систему экспортного ($Q^{\text{эксп}}$) и импортного ($Q^{\text{имп}}$) грузопотоков. Данные грузопотоки возможно условно разделить на увеличивающие груз на складах (завоз экспортного груза через НГФ «сухого порта», завоз экспортного груза из «сухого порта» на склад морского порта, прием импортного груза через МГФ морского порта, приём импортного груза из морского порта в «сухой порт») и на уменьшающие груз на складах (вывоз экспортного груза через МГФ морского порта, вывоз экспортного груза из «сухого порта» на склад морского порта, вывоз импортного груза из морского порта на склад «сухого порта», вывоз импортного груза через НГФ «сухого порта»).

В общем виде их можно записать как:

Для морского склада: $q_{\text{сп}}^{\text{эксп}} - q_{\text{МГФ}}^{\text{эксп}} + q_{\text{МГФ}}^{\text{имп}} - q_{\text{сп}}^{\text{имп}}$;

Для склада «сухого порта»: $q_{\text{НГФ}}^{\text{эксп}} - q_{\text{сп}}^{\text{эксп}} + q_{\text{сп}}^{\text{имп}} - q_{\text{НГФ}}^{\text{имп}}$.

Рассуждения, аналогичные приведенным выше, позволяют вывести значение базовой вместимости склада для экспортного и импортного направлений в отношении контейнерных складов морского и тылового терминалов:

$$E_{\text{мор.скл}}(t) = \int_0^t [q_{\text{сп}}^{\text{эксп}}(t) - q_{\text{мгф}}^{\text{эксп}}(t) + q_{\text{мгф}}^{\text{имп}}(t) - q_{\text{сп}}^{\text{имп}}(t)] dt + \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}, \quad (2.4.11)$$

$$E_{\text{тыл.скл}}(t) = \int_0^t [q_{\text{нгф}}^{\text{эксп}}(t) - q_{\text{сп}}^{\text{эксп}}(t) + q_{\text{сп}}^{\text{имп}}(t) - q_{\text{нгф}}^{\text{имп}}(t)] dt + \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}, \quad (2.4.12)$$

Для получения необходимых данных для определения характеристик склада морского терминала $E_{\text{мор.скл}}$ и тылового терминала $E_{\text{тыл.скл}}$ при одновременном поступления в двухзвенную систему экспортного и импортного грузопотоков предлагается использовать имитационное моделирование.

Описание предполагаемой модели. Пусть имеются две независимые транспортные системы – однозвенная, состоящая из морского порта и двухзвенная, состоящая из морского порта и «сухого порта». Также пусть имеются заданные для каждой рассматриваемой системы экспортный грузопоток ($Q^{\text{эксп}}$) и импортный грузопоток ($Q^{\text{имп}}$), реализуемые поступлением в систему судов с интервалом $T_{\text{суд}}$ и УКП с интервалом $T_{\text{УКП}}$.

УКП характеризуются объемом груза $V_{\text{УКП}}$, морские суда характеризуются объемом груза V , поезда–шаттлы, работающие на линии между портом и «сухим портом» характеризуются объемом груза $V_{\text{шт}}$. МГФ характеризуется производительностью $P_{\text{МГФ}}, TEU/\text{сут.}$, тогда как НГФ характеризуется производительностью $P_{\text{МГФ}}, \text{УКП}/\text{сут.}$ Производительность погрузочного фронта для технического грузопотока морским и тыловым терминалами характеризуется производительностью $P_{\text{СП}}, \text{ШТ}/\text{сут.}$

Формальное описание логики модели.

Вначале рассмотрим двухзвенную транспортную систему, состоящую из морского порта (морского контейнерного терминала) и «сухого порта»:

Шаг 0. Груз на складах морского и тылового контейнерных терминалов отсутствует. Временной интервал в модели принят равным 1 суткам.

Шаг 1. Железнодорожным транспортом (УКП) экспортный груз поступает на тыловой контейнерный терминал через НГФ и находится на нем в течение срока хранения $T_{\text{хр}}$.

Шаг 2. В случае запланированного в ближайшие 10 суток подхода судна груз с помощью системы поездов-шаттлов доставляется партиями размером $V_{\text{шт}}$ на контейнерный склад морского терминала, где выгружается на склад в случае отсутствия судна у причала в ожидании прихода судна. Если судно стоит у причала и готово принимать экспортный груз, то груз перегружается на судно по прямому варианту.

Шаг 3. Приход судна происходит в интервале $T_{\text{суд}}$. После прихода судна с его борта через МГФ полностью выгружается импортный груз, который помещается на контейнерный склад морского терминала.

Шаг 4. После окончания выгрузки импортного груза в объеме V на МГФ начинается погрузка экспортного груза на судно (причем размер партии экспортного груза может быть как меньше, так и больше размеров импортной, но не более максимальной вместимости судна) для отправки грузополучателям морем.

Шаг 5. После окончания выгрузки первой же партии импортного груза, больше или равной $V_{\text{шт}}$, данная партия погружается в поезда-шаттлы и в эти же сутки отправляется на склад «сухого порта».

Шаг 6. Железнодорожным транспортом импортный груз поступает на контейнерный склад тылового терминала НГФ и находится на нем в течение срока хранения $T_{\text{хр}}$.

Шаг 7. После того как объем груза на складе «сухого порта» будет больше или равен $V_{\text{УКП}}$, то партия импортного груза $V_{\text{УКП}}$ грузится в УКП и отправляется грузополучателям.

Шаг 8. Модель состоит из серии в 365 интервалов, каждый из которых равен 1 суткам.

Далее рассмотрим однозвенную транспортную систему:

Шаг 0. Груз на складе морского порта отсутствует. Временной интервал в модели также принят равным 1 суткам.

Шаг 1. Железнодорожным транспортом (УКП) экспортный груз поступает на контейнерный склад морского через НГФ и находится на нем в течение срока хранения $T_{\text{хр}}$.

Шаг 2. Приход судна происходит в интервале $T_{\text{суд}}$. После прихода судна с его борта через МГФ полностью выгружается импортный груз, который помещается на контейнерный склад морского терминала.

Шаг 4. После окончания выгрузки импортного груза в объеме V на МГФ начинается погрузка экспортного груза на судно (причем размер партии экспортного груза может быть как меньше, так и больше размеров импортной, но не более максимальной вместимости судна) для отправки грузополучателям морем.

Шаг 5. После окончания выгрузки первой же партии импортного груза, больше или равной $V_{\text{УКП}}$, партия импортного груза $V_{\text{УКП}}$ грузится в УКП и отправляется грузополучателям.

Шаг 8. Модель состоит из серии в 365 интервалов, каждый из которых равен 1 суткам.

Полученная имитационная модель позволяет провести исследование основных параметров технологического взаимодействия морского и тылового контейнерных терминалов в однозвенной и двухзвенной системах. С помощью модели можно получить данные о динамике ввоза/вывоза импортного и экспортного грузов на склады, максимальном и минимальном объеме груза на складах в каждый момент времени. Проведем серию экспериментов с разработанной имитационной моделью:

Эксперимент № 1. Пусть экспортный грузопоток ($Q^{\text{эксп}}$) составит 30000 TEU/год, импортный грузопоток ($Q^{\text{имп}}$) составит 45000 TEU/год. Поток реализуется равномерным поступлением в систему морских судов с интервалом 10 суток и УКП с интервалом 3 суток. Срок хранения груза составит 7 суток.

Полученные результаты моделирования приведены на рисунках 2.24–2.26:

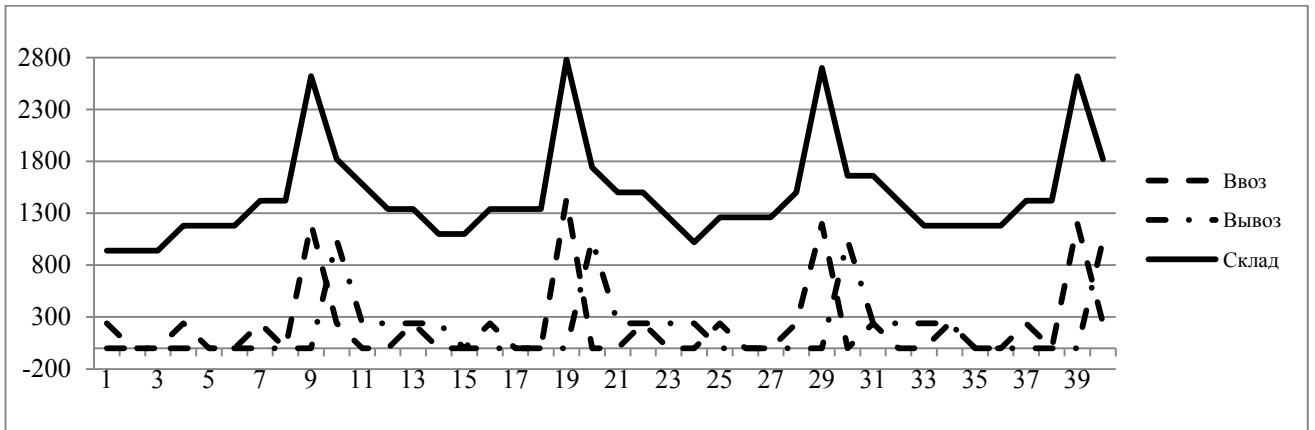


Рисунок 2.24 — Полученная динамика изменения объема груза на складе морского порта в однозвенной системе

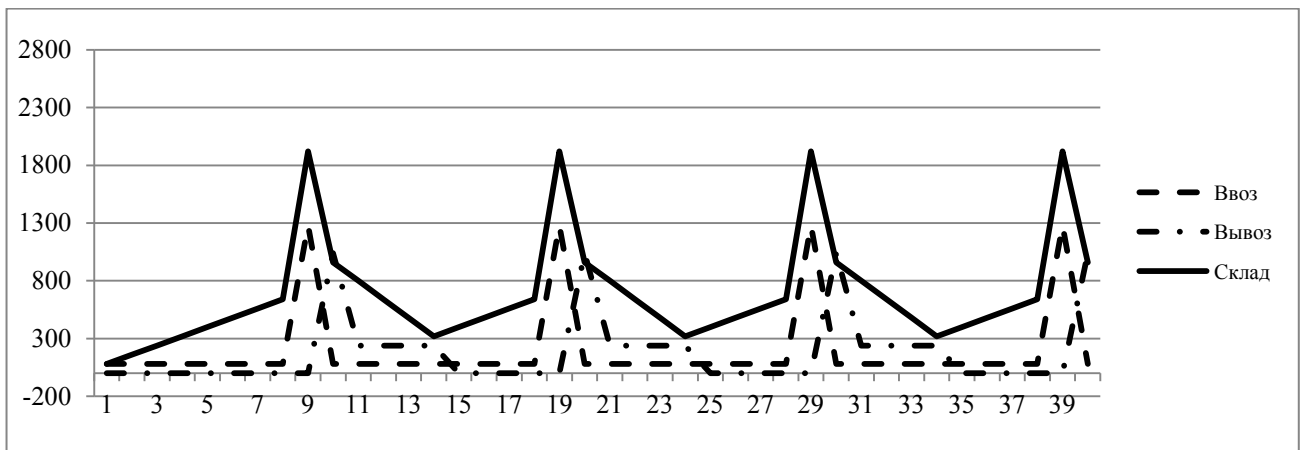


Рисунок 2.25 — Полученная динамика изменения объема груза на складе морского порта в двухзвенной системе

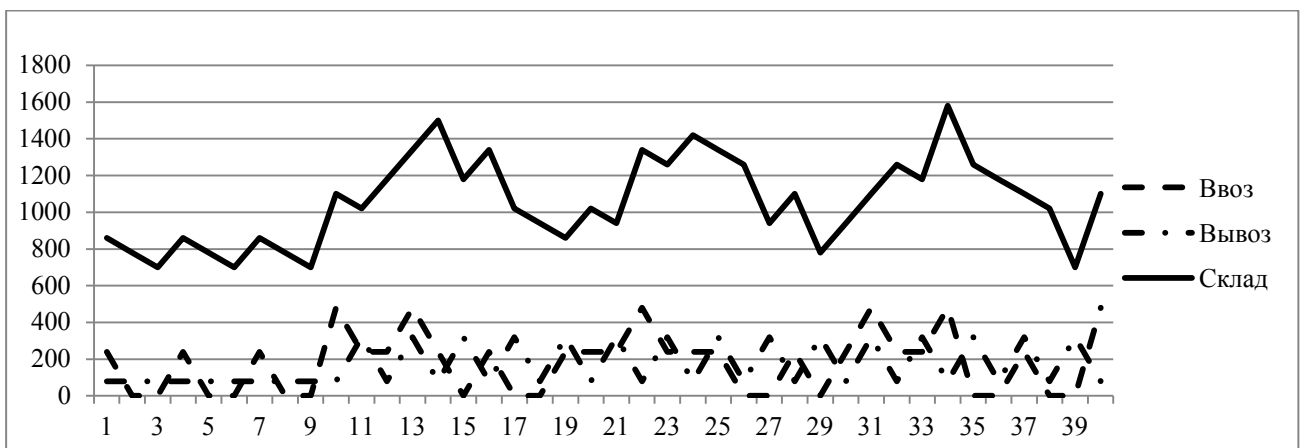


Рисунок 2.26 — Полученная динамика изменения объема груза на складе «сухого порта» в двухзвенной системе

Анализ результатов первого эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

1. Системы успешно справляются с поступлением экспортного и импортного груза. При этом системы обслуживают *38 судозаходов* и *122 поступления УКП*. Работа в двухзвенной системе осуществляется посредством ежедневной работы от 1 до 3 поездов – шаттлов.

2. В однозвенной системе при заданных исходных данных среднее количество контейнеров на складе морского терминала составляет – *1489 TEU*, тогда как в двухзвенной системе – *710 TEU* (при этом среднее количество контейнеров на складе тылового терминала составляет – *1129 TEU*).

3. В однозвенной системе при заданных исходных данных максимальное количество контейнеров на складе морского терминала составляет – *2700 TEU* ($>2V$), тогда как в двухзвенной системе – *1920 TEU* ($<2V$), что на 28% меньше.

Эксперимент № 2. Пусть экспортный грузопоток ($Q^{\text{эксп}}$) также составит 30000 TEU/год, импортный грузопоток ($Q^{\text{имп}}$) составит 45000 TEU/год. Однако поступление в систему морских судов будет неравномерным – с произвольным интервалом от 5 до 15 суток, тогда как УКП будут поступать равномерно с интервалом 3 суток. Срок хранения груза также составит 7 суток. Полученные результаты моделирования приведены на рисунках 2.27 – 2.29:

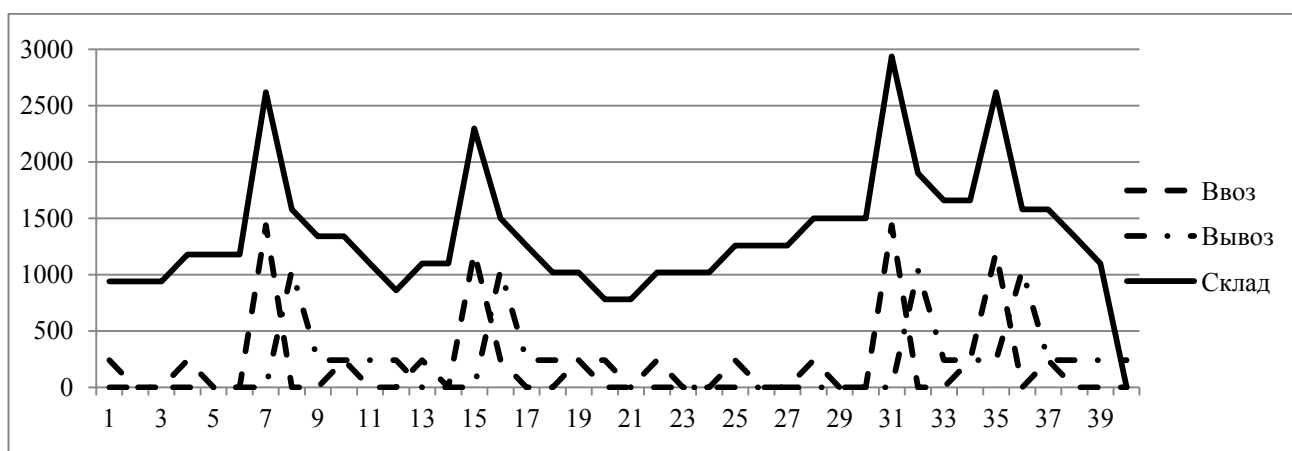


Рисунок 2.27 — Полученная динамика изменения объема груза на складе морского порта в однозвенной системе

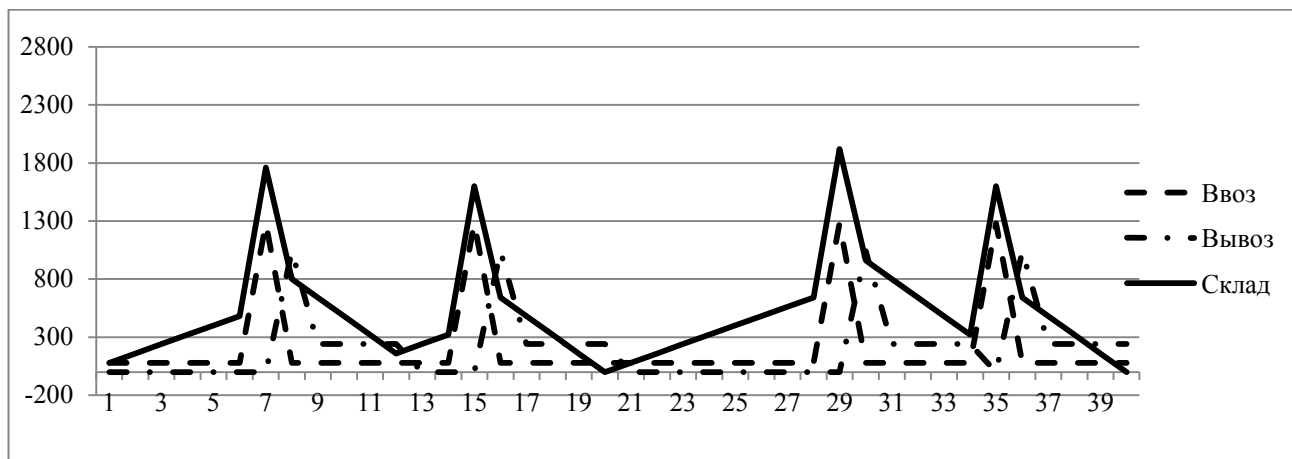


Рисунок 2.28 — Полученная динамика изменения объема груза на складе морского порта в двухзвенной системе

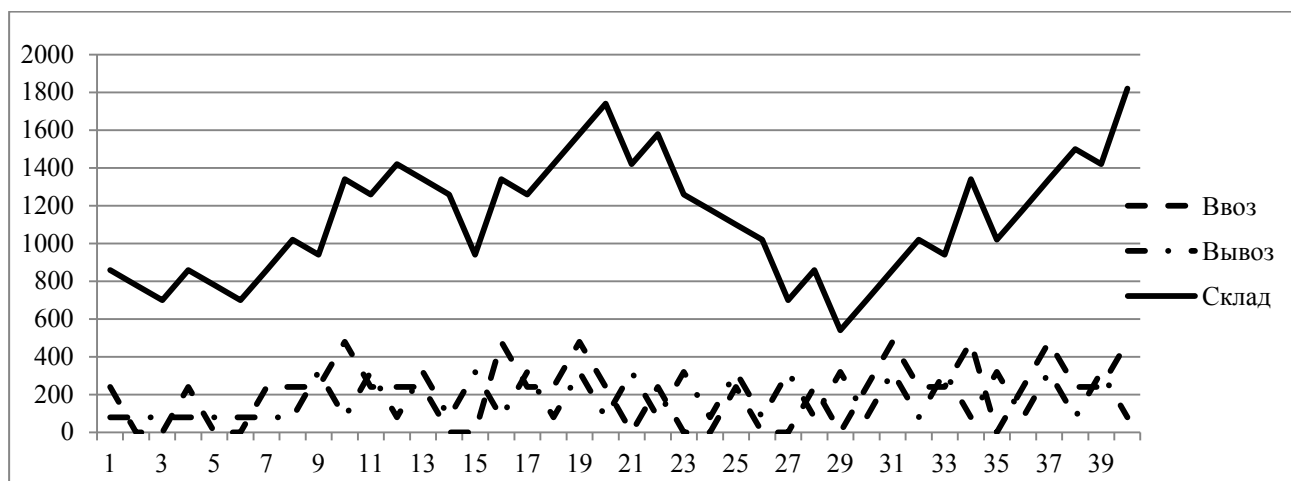


Рисунок 2.29 — Полученная динамика изменения объема груза на складе «сухого порта» в двухзвенной системе

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

1. Системы успешно справляются с поступлением экспортного и импортного груза. При этом системы обслуживают 38 судозаходов и 122 поступления УКП. Работа в двухзвенной системе осуществляется посредством ежедневной работы от 2 до 3 поездов – шаттлов.

2. В однозвенной системе при заданных исходных данных среднее количество контейнеров на складе морского терминала составляет – 1344 TEU, тогда как

в двухзвенной системе – $507 TEU$ (при этом среднее количество контейнеров на складе тылового терминала составляет – $1102 TEU$).

3. В однозвенной системе при заданных исходных данных максимальное количество контейнеров на складе морского терминала составляет – $2940 TEU$ ($>2V$), тогда как в двухзвенной системе значение не изменилось – $1920 TEU$ ($<2V$), что на 35% меньше.

Проведенные эксперименты и имитационное моделирование позволяет оценить максимальную требуемую вместимость склада морского и тылового контейнерных терминалов при обработке экспортного и импортного контейнернопотоков.

При полной передаче функции коммерческого хранения в тыловой терминал (т.е. для морского склада $T_{xp} = 0$) максимальная необходимая вместимость морского контейнерного терминала и даст следующее выражение:

$$E \leq 2 \cdot \left(V + \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{xp}}{365} \right) = 2 V, \quad (2.4.13)$$

Полная передача функции коммерческого хранения в «сухой порт» из морского порта (т.е. для тылового терминала $T_{xp} > 0$) потребует от склада возможности хранить как судовую партию V , так и сглаживать колебания, возникающие при неравномерном подходе морских судов $\Delta T_{\text{суд}}$.

Таким образом, максимальная емкость склада тылового контейнерного терминала составит:

$$\begin{aligned} E &\leq 2 \cdot \left(V_{\text{укп}} + \frac{N \cdot V_{\text{укп}} \cdot T_{xp}}{N \cdot T_{\text{укп}}} \right) + V + V_{\text{шт}} \cdot \Delta T_{\text{суд}} = \\ &= 2 \left(V + V_{\text{укп}} \left(\frac{T_{xp}}{T_{\text{укп}}} + 1 \right) + V_{\text{шт}} \cdot \Delta T_{\text{суд}} \right), \end{aligned} \quad (2.4.14)$$

Проведенные эксперименты также показывают, что введение в цепь транспортировки дополнительного звена – тылового контейнерного терминала приводит к увеличению суммарного размера складов – $E_{\text{мор.скл}} + E_{\text{тыл.скл}}$ по сравнению со складом однозвенной системы $E_{\text{скл}}$, т.е. $E_{\text{мор.скл}} + E_{\text{тыл.скл}} > E_{\text{скл}}$.

Основная причина – необходимость компенсировать две пары неравномерностей размеров партий и поступления транспортных средств. Однако размер непосредственно склада морского терминала $E_{\text{мор.скл}}$ в двухзвенной системе оказывается на 35% меньше склада однозвенной системы $E_{\text{скл}}$, т.е. $E_{\text{мор.скл}} < E_{\text{скл}}$, и поскольку стоимость земли и требования к системе складирования в границах порта обычно выше по сравнению с территорией, находящейся вне границ порта и даже города, то удельная стоимость хранения груза на этих складах также будет различаться.

Можно выразить стоимость складирования для однозвенной системы как: $C_1 = c_M \cdot E_{\text{скл}}$ и двухзвенной системы $C_2 = c_M \cdot E_{\text{мор.скл}} + c_L \cdot E_{\text{тыл.скл}}$ (где c_M – удельная стоимость хранения на морском складе как, а c_L – на складе тылового терминала). Если $C_1 > C_2$ то вариант использования в транспортной цепи двухзвенной системы — морского и тылового контейнерного терминала, является более предпочтительным.

Таким образом, имитационное моделирование позволяет оценить влияние неравномерности поступления транспортных средств на величину необходимого объема складов морского и тылового терминалов, а также получить данные о требуемом уровне технологического взаимодействия между терминалами, что в итоге может быть использовано для планирования работы транспорта и инфраструктурных объектов.

2.5 Формирование общей модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов

Общая постановка цели и задач моделирования. Проведенная в первой главе диссертационного исследования оценка существующих отечественных научных работ в области моделирования сложных транспортных систем, связанных с обслуживанием морских портов, показала, что большинство исследований сосредоточены, в основном, в области оценки функционирования и взаимодействия отдельных инфраструктурных объектов или их элементов, при этом существующие научные наработки не позволяют эффективно прогнозировать поведение транспортно – логистической системы в целом. Отечественные исследования также практически не предоставляют необходимых сведений о требованиях к проектированию, строительству и управлению работой систем грузораспределения морских контейнерных терминалов.

Как известно, проектирование – это процесс определения архитектуры, компонентов и характеристик системы или ее части (согласно ISO 24765). Результатом проектирования является проект – совокупность моделей, определенных свойств и характеристик, пригодных для реализации системы [95].

Поскольку точно определить свойства и характеристики динамической системы со стохастическими процессами с помощью аналитических моделей практически невозможно, как невозможно анализировать и несуществующие системы, то, как уже было отмечено, целесообразно обращаться к имитационному моделированию. Для целей проектирования систем управления грузораспределением, в которых содержатся много параллельно функционирующих взаимодействующих элементов, также потребуется визуализация динамики происходящих в ней процессов [1].

В качестве основных принципов реализации комплексной имитационной модели с помощью средств ЭВМ были выбраны следующие:

- Возможность самостоятельной реализации модели без привлечения сторонних услуг профессионального программирования;

- Обеспечение приемлемого уровня трудоемкости освоения программных средств программы модели для обеспечения комфортной работы специалистов, не имеющих глубоких познаний в области информационных технологий;
- Возможность использования созданной программы (после проведения тестирования и отладки) в качестве технического задания (ТЗ) для дальнейшей разработки специализированного программного обеспечения.

В связи с этим, средой для реализации программы имитационной модели выбран пакет *Microsoft Office* и программа *Microsoft Excel*. Средства этой программы, дополненные возможностями подключения макросов и внешних модулей (таких как Visual Basic и .NET) делают данную программу адекватных инструментом для достижения цели диссертационного исследования.

Целью создания общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов является получение адекватного прикладного инструмента, позволяющего быстро рассчитывать необходимые параметры и характеристики для целей управления моделируемой системой. К получаемым сведениям о системе, соответствующим *задачам моделирования*, относится следующее:

1. Данные о динамике поступления груза в морской порт (далее—МП);
2. Сведения о работе контейнерного склада МП;
3. Данные о динамике обработки груза железнодорожным (далее—ЖГФ) и автомобильным (далее—АГФ) фронтами МП;
4. Данные о динамике работы поездов-шаттлов (далее—ШТ) на линии МП – тыловой контейнерный терминал (далее—ТКТ);
5. Сведения о работе контейнерного склада ТКТ;
6. Данные о динамике обработки груза ЖГФ и АГФ ТКТ;
7. Сведения о динамике работы ускоренных контейнерных поездов (далее—УКП) на линии ТКТ – распределительный логистический центр (далее—РЛЦ);
8. Сведения о работе контейнерного склада РЛЦ;

9. Данные о динамике обработки груза ЖГФ и АГФ РЛЦ;
10. Сведения о динамике работы УКП на линии ТКТ – РЛЦ;
11. Сведения о работе контейнерного склада РЛЦ;
12. Данные о динамике обработки груза ЖГФ и АГФ РЛЦ;
13. Сведения о динамике работы поездов-шаттлов на линии РЛЦ – СТ;
14. Сведения о работе контейнерного склада СТ.

Перечисленные сведения позволяют пользователю программы принимать обоснованные управленческие решения в части выбора:

1. Количества и характеристик STS-кранов на причале морского терминала;
2. Размеров и характеристик контейнерных складов морского порта (МП), тылового контейнерного терминала (ТКТ), распределительного центра (РЛЦ) и терминала-сателлита (СТ);
3. Количества и характеристик крановых перегружателей на грузовых фронтах (ЖГФ и АГФ) МП, ТКТ и РЛЦ;
4. Количестве пар поездов-шаттлов (ШТ) и ускоренных контейнерных поездов (УКП) на линиях МП–ТКТ, ТКТ–РЛЦ и РЛЦ–СТ;
5. Количестве вагонов в поездах-шаттлах (ШТ) и ускоренных контейнерных поездах (УКП) на линиях МП–ТКТ, ТКТ–РЛЦ и РЛЦ–СТ;
6. Пропускной способности автомобильных магистралей на подъездах к МП, ТКТ и РЛЦ и СТ;
7. Пропускной способности и характеристиках железнодорожных путей на подъездах к МП, ТКТ, РЛЦ и СТ.

Прежде всего, на экранной форме ввода в программе модели пользователю отдельно предлагается 10 задаваемых вручную исходных параметров функционирования самой системы грузораспределения, которые подробно указаны в Приложении К. Далее пользователю предлагаются изменяемые параметры трех функциональных элементов имитационной модели (блоков модели), задаваемые пользователем вручную, исходя из имеющихся или планируемых инфраструктурных мощностей. Изменяемые параметры приведены в приложении Л.

Итого в программе имитационной модели пользователю предлагается *66 настраиваемых исходных параметров* инфраструктурных объектов, разбитых на четыре блока и непосредственно влияющих на поведение модели и результаты компьютерного моделирования.

Разработка имитационной модели. Пусть в замкнутом трехмерном пространстве присутствуют две физических среды – море и суша, на которых функционирует замкнутая транспортная система, размещаются объекты транспорта – инфраструктура и присутствуют n грузополучателей. В систему морским транспортом поступает импортный груз – груженные 20-футовые контейнеры.

Инфраструктура представлена морским портом (МП), тыловым контейнерным терминалом (ТКТ), расположенным на расстоянии $S_{МП-ТКТ}$ от МП, распределительным логистическим центром (РЛЦ), на расстоянии $S_{ТКТ-РЛЦ}$ от ТКТ и конечным контейнерным терминалом-сателлитом на удалении $S_{РЛЦ-СТ}$ от РЛЦ.

Между четырьмя объектами инфраструктуры, проложена железная дорога с индивидуальной пропускной способностью $C_{жд}$ для каждого участка – МП-ТКТ, ТКТ-РЛЦ и РЛЦ-СТ. Все четыре объекта связаны с n грузополучателей сетью автодорог с индивидуальной пропускной способностью $C_{авто}$.

Транспортные средства представлены судами-контейнеровозами, автомобилями-контейнеровозами, поездами-шаттлами (ШТ) и ускоренными контейнерными поездами (УКП).

На рисунке 2.30 представлена функциональная схема взаимодействия элементов моделируемой системы. Функциональная схема разделена на 4 основных функциональных блока:

- блок «Морской порт (МП)»;
- блок «Тыловой контейнерный терминал (ТКТ)»;
- блок «Распределительный логистический центр (РЛЦ)»;
- блок «Сателлит (СТ)».

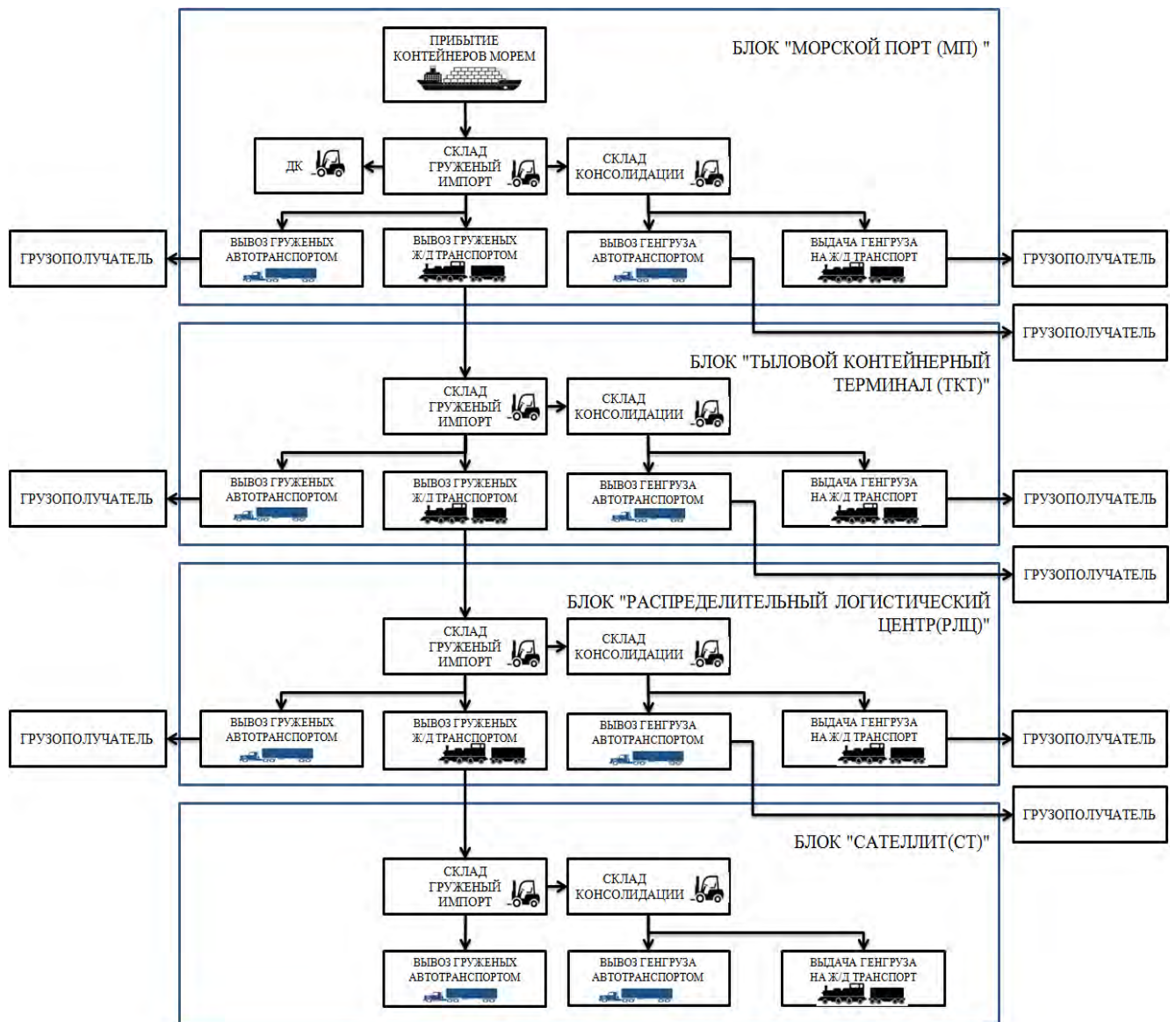


Рисунок 2.30 — Функциональная схема взаимодействия элементов в моделируемой системе

Блок «Морской порт»:

С первого шага в данной замкнутой транспортной системе в МП по расписанию, с интервалом T поступают полностью загруженные суда-контейнеровозы с вместимостью $M_{\text{суд}}$ для выгрузки груза двадцатифутовых контейнеров (TEU) в МП. После захода в порт суда формируют поток поступления заявок на постановку к причалу для k суток – x_k . Имеющийся ресурс обработки судов – r , причальная стенка, ограничен, т.к. причал в морском порту один, т.е. $r = 1$.

Пропускная способность причала также ограничена и соответствует пропускной способности МГФ – $P_{\text{МГФ}}$ ($TEU/сут$), которая в свою очередь формируется как: $P_{\text{МГФ}} = n_{STS} \cdot P_{STS}$, поэтому порт обрабатывает входящие заявки на постановку судов – z_k , каждый день по мере освобождения причала после полной выгрузки груза с борта уже поставленного к причалу судна. Заявки, которые причал не смог обработать в сутки поступления, формируют очередь заявок на судозаход – y_k . На рисунке 2.31 действия этих правил показаны в виде блок-схемы алгоритма для шага k .

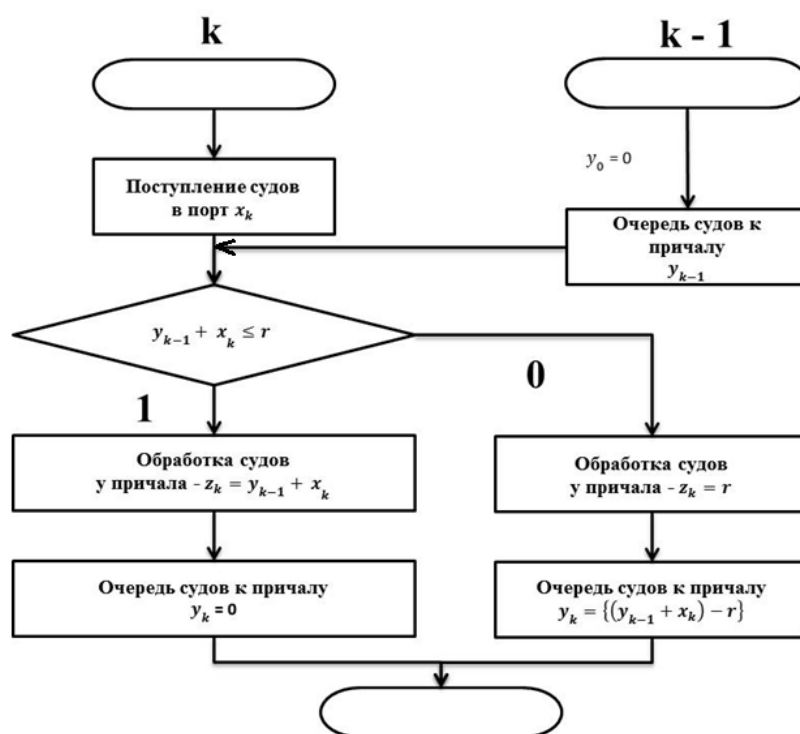


Рисунок 2.31 — Алгоритм шага работы общей имитационной модели

Поведение МГФ порта (изменение параметров в дискретном времени) описываются следующими правилами:

- 1) В начальном состоянии для системы задается очередь заявок (в данном случае $y_k = 0$);
- 2) Ресурс обработки судов остается постоянным на протяжении работы модели, но для каждого последующего нового запуска он может изменяться за счет адаптивного управления параметрами n_{STS} и P_{STS} ;

- 3) На шаге k обрабатывается $z_k = y_{k-1} + x_k$ заявок, в том случае, если $y_{k-1} + x_k \leq r$. В случае $z_k = r$ в противоположном случае;
- 4) Длина очереди на шаге $k + 1$ $y_k = 0$, если $(y_{k-1} + x_k) \leq r$ и $y_k = \{(y_{k-1} + x_k) - r\}$ в противоположном случае.

Выгрузка контейнеров из судов-контейнеровозов производится STS кранами. На шаге k загрузка судна будет равняться $M_{\text{суд}}$. Постепенно это значение будет уменьшаться до нуля и, например, на шаге $k + 1$ загрузка судна будет равняться $M_{\text{суд}} - P_{\text{МГФ}}$, и так далее. Каждое судно разгружает импортный груз контейнеров и покидает порт и модель. Далее по мере выгрузки импортные контейнеры поступают посредством складской техники – портовых тягачей, ричстакеров, погрузчиков, на контейнерный склад, где с помощью кранов типа RTG и RMG устанавливаются в штабели. Прием груженых контейнеров через МГФ на шаге k останавливается в случае, если склад контейнерного терминала на шаге $k - 1$ полностью загружен контейнерами или $E_{\text{МП } k-1} = E_{\text{МП}}$, в ином случае, и если $E_{\text{МП}} - E_{\text{МП } k-1} > P_{\text{МГФ}}$, то контейнеры выгружаются в количестве $P_{\text{МГФ}}$, в случае, если $E_{\text{МП}} - E_{\text{МП } k-1} < P_{\text{МГФ}}$, то количество выгруженных контейнеров на склад морского порта на шаге k будет рассчитываться как $E_{\text{МП}} - E_{\text{МП } k-1}$. Количество груза на контейнерном складе морского порта на шаге k будет высчитываться как $E_{\text{МП } k} = E_{\text{МП } k-1} + P_{\text{МГФ}} - P_{\text{АГФ}} - P_{\text{ЖГФ}}$.

Соответственно на каждом шаге происходит уменьшение количества контейнеров на складе за счет их вывоза автомобильным и железнодорожным транспортом и увеличение только за счет поступления от МГФ за счет выгрузки стоящих у причала судов. Плановые отгрузки со склада через железнодорожный грузовой фронт (ЖГФ) кратны максимальному заполнению поездов, курсирующих между морским портом и тыловым терминалом. План на отгрузку на шаге k рассчитывается как, $P_{\text{МГФ}} \cdot (100 - p_{\text{савто}}) + y_{k-1}$, то есть как определенный процент суточного приема на склад порта с добавлением контейнеров из очереди на погрузку, оставшихся с шага $k - 1$. Очередь на погрузку формируется как $P_{\text{МГФ}} \cdot (100 - p_{\text{савто}}) + y_{k-1} - P_{\text{ЖГФ}}$.

В случае, если на шаге k план на отгрузку больше 0, и план на отгрузку больше $M_{\text{ШТ}}$, то размер отгружаемой партии контейнеров из морского порта на шаге k высчитывается как, целое от $\left(\frac{P_{\text{ЖГФ}}}{M_{\text{ШТ}}}\right)$, умноженное на $M_{\text{ШТ}}$, в ином случае размер отгружаемой партии $M_{\text{ШТ}}$ превышает $P_{\text{ЖГФ}}$, то размер отгружаемой партии – $\max\left(\frac{P_{\text{ЖГФ}}}{M_{\text{ШТ}}}\right)$ или $M_{\text{ШТ}} \cdot n_{\text{ШТ}}$. План на отгрузку через автомобильный грузовой фронт морского порта на шаге k рассчитывается как, $P_{\text{МГФ}} \cdot pc_{\text{авто}} + y_{k-1}$, то есть как определенный процент суточного приема на склад порта с добавлением очереди на погрузку, оставшуюся с предыдущего шага. Очередь на погрузку формируется как $P_{\text{МГФ}} \cdot pc_{\text{авто}} + y_{k-1} - P_{\text{АГФ}}$.

В случае если $P_{\text{МГФ}} \cdot pc_{\text{авто}} + y_{k-1} > P_{\text{АГФ}}$, то количество вывезенного автотранспортом на шаге k груза равняется $P_{\text{АГФ}}$. Причем важно учитывать, что $P_{\text{АГФ}} \leq \frac{C_{\text{авто}}}{2}$. Так как автомобиль должен приехать по автодороге за контейнером и затем вывезти его. Объем контейнеров, вывозимых n грузополучателям автотранспортом, покидает систему в имитационной модели и списывается. Далее идет рассмотрение только контейнеропотока, вывезенного через ЖГФ МП.

Блок «Тыловой контейнерный терминал»:

Во втором блоке имитационной модели переработанный в ЖГФ МП груз на каждом шаге поступает на тыловой контейнерный терминал (ТКТ). В имитационной модели соблюдается равенство $k_{\text{МП}} = k_{\text{ТКТ}}$, т.е. груз порционно поступает на тыловой терминал в те же сутки, что и обрабатывается МГФ морского порта. Это значит, что для морского порта $t_{\text{хр}} = 0$.

Груз поступает из морского порта поездами-шаттлами (ШТ) в количестве, равном для шага $k - M_{\text{ШТ}} \cdot n_{\text{ШТ}}$. Принимается груз на специальном железнодорожном грузовом фронте для поездов-шаттлов (ШТ) на тыловом терминале.

Прием груженых контейнеров через ЖГФ прекращается в случае, если склад тылового контейнерного терминала на шаге $k - 1$ полностью загружен контейнерами или $E_{\text{ТКТ } k-1} = E_{\text{ТКТ}}$, в ином случае, и если $E_{\text{ТКТ}} - E_{\text{ТКТ } k-1} > P_{\text{ЖГФ}}$, то контейнеры выгружаются в количестве $P_{\text{ЖГФ}}$, в случае, если

$E_{\text{ТКТ}} - E_{\text{ТКТ } k-1} < P_{\text{ЖГФ}}$, то количество выгруженных контейнеров на склад ТКТ на шаге k будет высчитываться как $E_{\text{ТКТ}} - E_{\text{ТКТ } k-1}$. Входящие заявки на обработку ШТ на ТКТ – z_k , обрабатываются каждый шаг k по мере того, как ЖГФ ТКТ освобождается после полной выгрузки на шаге $k - 1$.

Заявки, которые ЖГФ ТКТ не смог обработать в сутки поступления в случае, если $E_{\text{ТКТ } k-1} = E_{\text{ТКТ}}$, на шаге k , формируют очередь заявок ШТ – y_k , по аналогии с работой МГФ морского порта, приведенной на блок-схеме алгоритма выше. Количество груза на контейнерном складе ТКТ на каждом шаге k будет изменяться и высчитываться как $E_{\text{ТКТ } k} = E_{\text{ТКТ } k-1} + P_{\text{ЖГФ}} - P_{\text{АГФ}} - P_{\text{ЖГФ УКП}}$. Таким образом, для склада тылового терминала на каждом шаге происходит уменьшение количества груза на складе за счет его вывоза автомобильным транспортом и УКП, а увеличение только за счет поступления от ЖГФ при выгрузке ШТ. Плановые отгрузки со склада через железнодорожный грузовой фронт для ускоренных контейнерных поездов (ЖГФ УКП) кратны максимальному заполнению УКП, курсирующих между тыловым терминалом и распределительным логистическим центром в глубине суши на расстоянии $D_{\text{ТКТ-РЛЦ}}$. План на отгрузку на шаге k рассчитывается как, $P_{\text{ЖГФ}} \cdot (100 - p_{\text{савто}}) + y_{k-1}$, то есть как определенный процент суточного приема на склад от ШТ с добавлением очереди на погрузку, оставшуюся с предыдущего шага. Очередь на погрузку формируется как $P_{\text{ЖГФ}} \cdot (100 - p_{\text{савто}}) + y_{k-1} - P_{\text{ЖГФ УКП}}$.

В случае, если на шаге k план на отгрузку больше 0, и план на отгрузку больше $M_{\text{УКП}}$, то размер отгружаемой в УКП партии контейнеров из ТКТ на шаге k высчитывается как, целое от $\left(\frac{P_{\text{ЖГФ}}}{M_{\text{УКП}}}\right)$ умноженное на $M_{\text{УКП}}$, в ином случае размер отгружаемой партии $M_{\text{УКП}}$ превышает $P_{\text{ЖГФ}}$, то размер отгружаемой партии – $\max\left(\frac{P_{\text{ЖГФ}}}{M_{\text{ШТ}}}\right)$ или $M_{\text{УКП}} \cdot n_{\text{УКП}}$. План на отгрузку через автомобильный грузовой фронт ТКТ на шаге k рассчитывается как, $P_{\text{ЖГФ}} \cdot p_{\text{савто}} + y_{k-1}$, то есть как определенный процент суточного приема на склад от ШТ с добавлением очереди на погрузку, оставшуюся с предыдущего шага.

Очередь на погрузку формируется как $P_{ЖГФ} \cdot pc_{авто} + y_{k-1} - P_{АГФ}$. В случае если $P_{ЖГФ} \cdot pc_{авто} + y_{k-1} > P_{АГФ}$, то количество вывезенного автотранспортом на шаге k груза равняется $P_{АГФ}$. Причем важно учитывать, что $P_{АГФ} \leq \frac{C_{авто}}{2}$. Так как автомобиль должен приехать по автодороге за контейнером на тыловой терминал, а затем вывезти его. Объем контейнеров, вывозимых n грузополучателям автотранспортом, покидает систему в имитационной модели и списывается. Далее идет рассмотрение контейнеропотока, вывезенного через ЖГФ ТКТ в УКП.

Блок «Распределительный логистический центр (РЛЦ)»:

В третьем блоке имитационной модели переработанный в ЖГФ ТКТ груз в составе ускоренных контейнерных поездов (УКП) поступает в РЛЦ. В имитационной модели не соблюдается равенство шагов $k_{ТКТ} = k_{РЛЦ}$, т.к. груз находится долгое время в пути следования. В зависимости от соотношения $\frac{D_{ТКТ-РЛЦ}}{S_{ТКТ-РЛЦ}}$, т.е. от расстояния перевозки в УКП значения шагов могут соотноситься как $k_{РЛЦ} = k_{ТКТ} + 1 \cdot n$, где n – целое значение от частного $\frac{D_{ТКТ-РЛЦ}}{S_{ТКТ-РЛЦ}}$. Это значит, что для тылового терминала в общем также верно равенство $t_{хр} = 0$.

Груз поступает из ТКТ в количестве, равном для шага k – $M_{УКП} \cdot n_{УКП}$. Принимается груз на специальном железнодорожном грузовом фронте для ускоренных контейнерных поездов на РЛЦ. Прием груженых контейнеров через ЖГФ УКП РЛЦ прекращается в случае, если склад РЛЦ на шаге $k - 1$ полностью загружен контейнерами или $E_{РЛЦ k-1} = E_{РЛЦ}$, в ином случае, и если $E_{РЛЦ} - E_{РЛЦ k-1} > P_{ЖГФ УКП}$, то контейнеры выгружаются в количестве $P_{ЖГФ УКП}$, в случае, если $E_{РЛЦ} - E_{РЛЦ k-1} < P_{ЖГФ УКП}$, то количество выгруженных контейнеров на склад РЛЦ на шаге k будет высчитываться как $E_{РЛЦ} - E_{РЛЦ k-1}$.

Входящие заявки на обработку УКП на РЛЦ – z_k , обрабатываются каждый шаг k по мере того, как ЖГФ для обработки УКП на РЛЦ освобождается после полной выгрузки на шаге $k - 1$.

Заявки, которые ЖГФ РЛЦ не смог обработать в сутки поступления в случае, если $E_{\text{РЛЦ } k-1} = E_{\text{РЛЦ}}$, на шаге k , формируется очередь заявок УКП – y_k , по аналогии с работой МГФ морского порта, приведенной на блок-схеме алгоритма выше. Количество груза на складе РЛЦ на каждом шаге k будет изменяться и высчитываться как $E_{\text{РЛЦ } k} = E_{\text{РЛЦ } k-1} + P_{\text{ЖГФ УКП}} - P_{\text{АГФ}} - P_{\text{ЖГФ}}$. Таким образом, для склада РЛЦ на каждом шаге происходит уменьшение количества груза на складе за счет его вывоза автомобильным транспортом и ШТ до терминалов-сателлитов (СТ), а увеличение только за счет поступления от ЖГФ УКП за счет выгрузки УКП.

План на отгрузку из РЛЦ в адрес СТ железнодорожным транспортом на шаге k рассчитывается как, $P_{\text{ЖГФ УКП}} \cdot (100 - p_{\text{савто}}) + y_{k-1}$, то есть как определенный процент суточного приема на склад от УКП из ТКТ с добавлением очереди на погрузку, оставшуюся с предыдущего шага. Очередь на погрузку для РЛЦ формируется как $P_{\text{ЖГФ УКП}} \cdot (100 - p_{\text{савто}}) + y_{k-1} - P_{\text{ЖГФ}}$. В случае, если на шаге k план на отгрузку больше 0, и план на отгрузку больше $M_{\text{ШТ}}$, то размер отгружаемой в ШТ партии контейнеров из РЛЦ на шаге k высчитывается как целое от $\left(\frac{P_{\text{ЖГФ}}}{M_{\text{ШТ}}}\right)$ умноженное на $M_{\text{ШТ}}$, в ином случае размер отгружаемой партии $M_{\text{ШТ}}$ превышает $P_{\text{ЖГФ}}$, то размер отгружаемой партии – $\max\left(\frac{P_{\text{ЖГФ}}}{M_{\text{ШТ}}}\right)$ или $M_{\text{ШТ}} * n_{\text{ШТ}}$. План на отгрузку через автомобильный грузовой фронт РЛЦ на шаге k рассчитывается как, $P_{\text{ЖГФ УКП}} \cdot p_{\text{савто}} + y_{k-1}$, то есть как определенный процент суточного приема на склад от УКП с добавлением очереди на погрузку, оставшуюся с предыдущего шага. Очередь на погрузку формируется как $P_{\text{ЖГФ УКП}} \cdot p_{\text{савто}} + y_{k-1} - P_{\text{АГФ}}$. В случае если $P_{\text{ЖГФ УКП}} \cdot p_{\text{савто}} + y_{k-1} > P_{\text{АГФ}}$, то количество вывезенного автотранспортом на шаге k груза равняется $P_{\text{АГФ}}$. Причем важно учитывать, что $P_{\text{АГФ}} \leq \frac{C_{\text{авто}}}{2}$. Так как автомобиль должен приехать по автодороге за контейнером на РЛЦ, а затем вывезти его клиенту. Полный объем контейнеров, вывозимых n грузополучателям из РЛЦ, покидает систему в имитационной модели и списывается. На этом действие модели заканчивается.

В результате удалось создать объектно-ориентированную имитационную модель системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, обладающую свойством структурной настройки и параметризации, что позволило достичь необходимых свойств в отношении качества моделирования, сохранив низкую трудоемкость и высокую вариативность простых методов расчета. Общая логико-информационная схема модели представлена на рисунке 2.32:

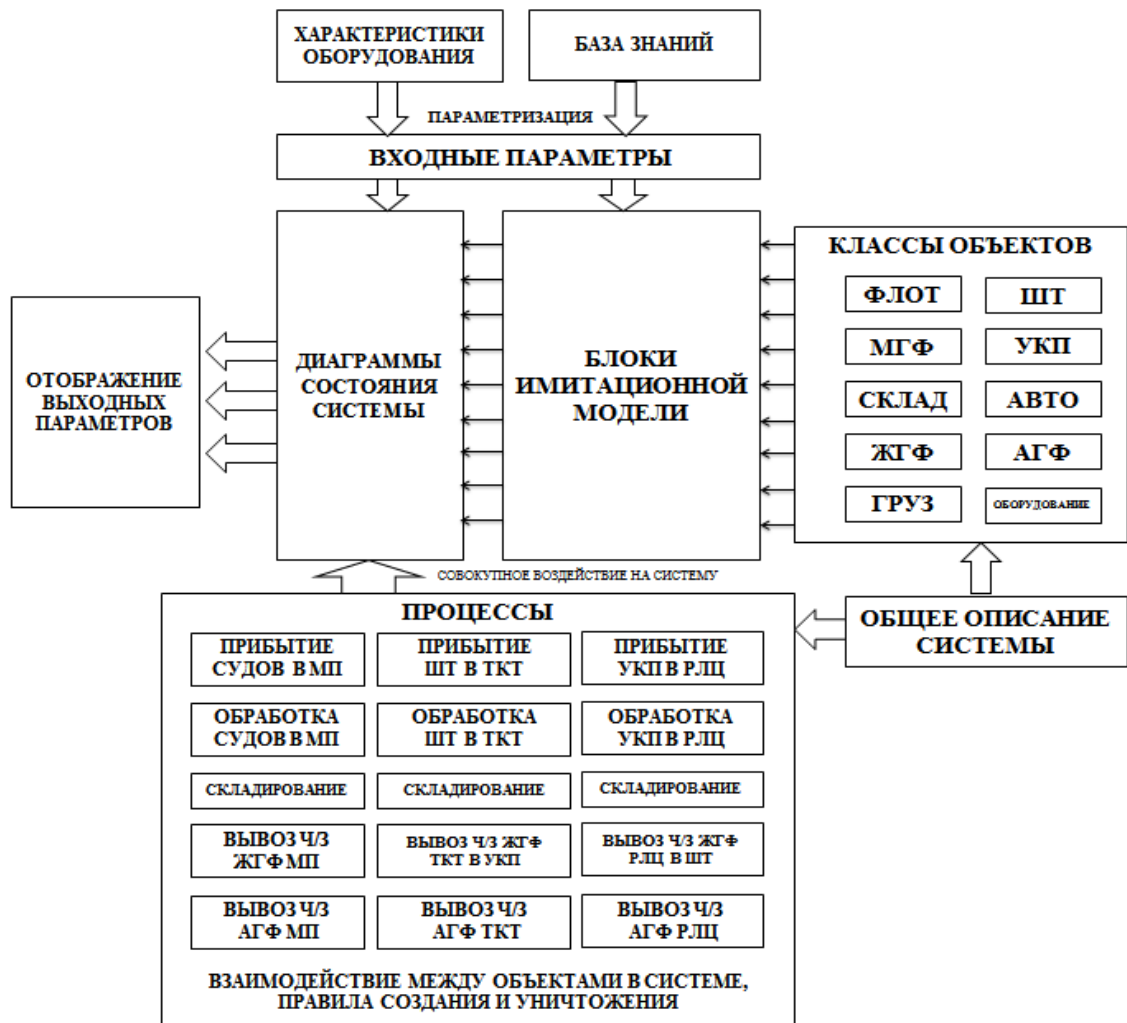


Рисунок 2.32 — Укрупненная логико-информационная схема имитационной модели

Использование формализованных языковых средств описания процессов, характерных для контейнерных систем грузораспределения, позволило обеспечить унифицированный способ задания ожидаемых функциональных характеристик моделируемых объектов.

Реализация анимационного представления модели. Как уже было отмечено, реализация модели проведена в программной среде пакета *Microsoft Excel*. Интерфейс пользователя разработанной программы имитационной модели проектируемой системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов представлен в виде двух массивов – поля ввода данных и поля вывода результатов.

В массиве поля ввода данных ячейки имеющих цветовую идентификацию – поля открытые для ввода исходных данных обозначены *зеленым*. Ячейки, выделенные *светло-оранжевым цветом*, закрыты для редактирования пользователем, в них появляются результаты сообщения об ошибке при попытке их изменения. Экранные формы интерфейса пользователя программы общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов подробно представлены в приложении М к настоящей диссертации.

При активации программы пользователь в первую очередь видит на экране монитора массив «ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ». Каждое поле состоит из четырех столбцов: первый столбец является порядковым номером параметра, второй столбец содержит описание входного параметра, т.е. содержит вербальную его характеристику. Третий столбец содержит данные о единицах измерения каждого исходного параметра. Четвертый столбец указывает на диапазон вводимых в пятом столбце данных. Пятый столбец в ряде случаев открыт для редактирования пользователем и предполагает ввод пользователем цифровых значений, соответствующих вербальному описанию параметра и пределам, установленным в четвертом столбце.

После ввода исходных данных в блок «ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ», программа выводит на экране монитора пользователя массив результатов моделирования. Всего программа выдает 10 графиков, соответствующих цели и задачам моделирования, и необходимых для принятия пользователем управленческого решения. Пример пользовательского интерфейса программы модели, а именно блока результатов моделирования представлен на рисунке в Приложении Н к настоящей диссертации.

Таким образом, в последнем параграфе главы приведены результаты разработки имитационной модели проектируемой системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, которая позволяет комплексно оценить взаимное влияние каждого участка системы грузораспределения на работу всей системы в целом, а также получить сведения о необходимом для заданного грузооборота составе и производительности транспорта, инфраструктуры и перегрузочных устройств как морского, так и тыловых терминалов. В итоге получаемые в результате моделирования данные используются для проектирования как системы управления в целом, так и отдельных инфраструктурных объектов.

Выводы по главе

1. Выразить и рассчитать параметры работы морских портов, наземных сетей грузораспределения и внутренних терминалов и распределительных логистических центров с помощью известных аналитических методов невозможно из-за присутствия в системе стохастических процессов, появления задержек и очередей, существования приоритетов разных видов транспорта и грузов, наличия внутреннего параллелизма.
2. Оптимальным инструментом для получения необходимой информации о работе морских портов, наземных сетей грузораспределения и распределительных логистических центров является их моделирование и проведение экспериментов с моделями для получения комплексных результатов.
3. Для создания в России высокоэффективной системы контейнерного грузораспределения необходимо максимальное использование тех преимуществ, которые существуют в транспортной системе России на сегодняшний день — освоение контейнеропотоков силами железнодорожного транспорта позволит эффективно использовать и развивать уже существующую транспортную инфраструктуру.

4. Мировой опыт регионализации морских портов и построения высокоэффективных систем грузораспределения морских контейнерных терминалов диктует основные требования к составу элементов и структуре их взаимодействия в рамках обработки экспортных и импортных грузопотоков. Основные функциональные элементы системы железнодорожного распределения контейнеропотоков – тыловой контейнерный терминал, распределительный логистический центр, терминал-сателлит.
5. Разработанная в диссертационном исследовании имитационная модель для целей выбора структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов является математически корректным инструментом для выбора той или иной структуры сети грузораспределения контейнерных терминалов, исходя из имеющихся объемов перевозимого груза и стоимости доставки определенной партий груза тем или иным видом транспорта до терминала.
6. Полученные в процессе имитационного моделирования показатели могут выступать основанием для принятия управленческого решения о строительстве и начале функционирования сети грузораспределения морского контейнерного терминала с той или иной структурой.
7. Разработанная в диссертационном исследовании имитационная модель технологического взаимодействия морского и тылового контейнерных терминалов в однозвенной и двухзвенной системах, позволяет получить данные о динамике ввоза/вывоза импортного и экспортного грузов на склады, максимальном и минимальном объеме груза на складах в каждый момент времени.
8. Созданная в процессе диссертационного исследования общая имитационная модель проектируемой системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов является адекватным прикладным инструментом, позволяющим быстро рассчитывать необходимые параметры и характеристики моделируемой системы управления грузораспределением.

Глава 3 Разработка методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов

3.1 Планирование экспериментов и установление адекватности разработанных моделей

После завершения формирования общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов необходимо проверить качество созданной математической модели. Для этого необходимо проверить адекватность разработанной модели (степень соответствия реальной системе), ее устойчивость (способность сохранять адекватность) и чувствительность (поведение модели в условиях изменяющихся данных и нагрузок).

Генерация случайных значений исходных данных. Для этого, прежде всего, необходимо задать произвольные значения некоторых исходных данных модели, таких как распределение вместимости судов и интервалы их захода в порт, а также провести серию экспериментов с моделью. Для задания распределений вместимости судов и интервалов их захода в порт необходимо доработать программу модели. Созданная экранная форма ввода исходных данных представлена на рисунке 3.1:

Распределение интервалов подхода судов-контейнеровозов	T_{суд}	[сут]
Среднее значение	1000	[сут]
Стандартное отклонение	50	[сут]

Распределение вместимости судов-контейнеровозов	V	[TEU]
Среднее значение	4	[TEU]
Стандартное отклонение	25	[TEU]

Рисунок 3.1 — Часть разработанной экранной формы ввода исходных данных математической модели

Распределения вместимости судов и интервалов их захода в порт предлагается считать подчиняющимися нормальному распределению. Заданные параметры позволяют построить функции распределению случайных величин. На рисунке 3.2 представлена плотность распределения случайной величины – вместимости судов (т.е. размера поступающих заявок на обслуживание):

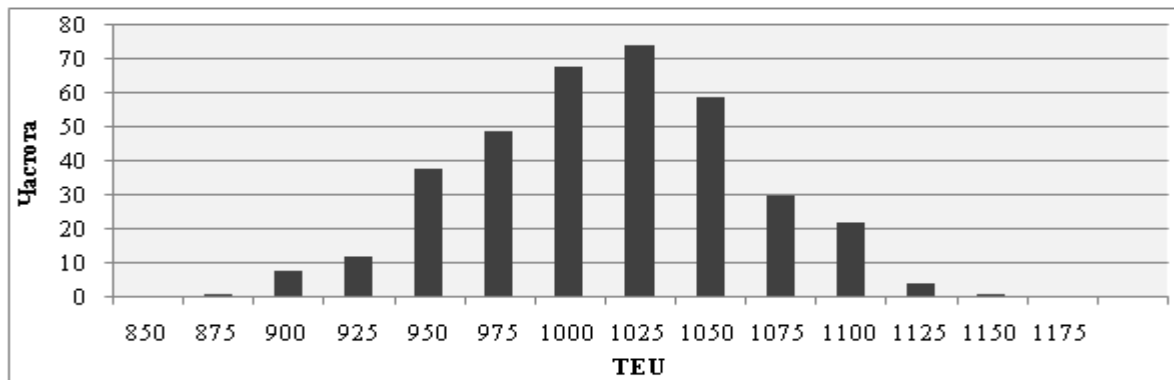


Рисунок 3.2 — Экспериментально полученная плотность распределения случайной величины – вместимости судов–контейнеровозов

Далее необходимо отразить случайное распределение интервалов поступления судов в порт. На рисунке 3.3 представлена плотность распределения случайной величины – интервала судозаходов (т.е. интенсивности поступления в систему заявок на обслуживание):

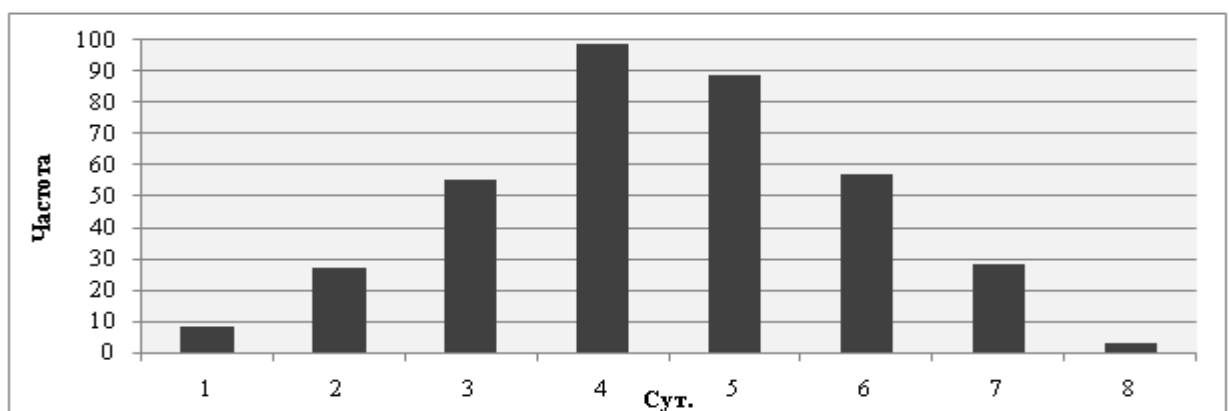


Рисунок 3.3 — Экспериментально полученная плотность распределения случайной величины – интервала судозаходов контейнеровозов в порт

Полученные данные и построенные функции распределения случайных величин в исходных данных к модели (распределение вместимости судов и интервалов их захода в порт) позволяют применить случайную генерацию сценариев, определяющих искомые выходные параметры модели.

Вычислительные эксперименты с моделью. В зависимости от комбинации случайных исходных параметров, сгенерированных системой – вместимости судов и интервалов их захода в порт, а также индивидуальной настройки 66 входных параметров моделирования, разбитых на четыре блока меняется поведение имитационной модели и результаты компьютерного моделирования. Далее предлагается провести серию экспериментов с моделью:

Эксперимент 1. Пусть в моделируемую систему поступает годовой грузопоток в размере порядка 120 000 TEU, реализуемый судозаходами судов-контейнеровозов, несущих в среднем 1000 TEU, и заходящих с произвольным интервалом. Грузопоток проходит морской порт, 20% грузопотока прямо из порта развозится получателям автотранспортом, а 80% уходит на тыловой контейнерный терминал, находящийся на расстоянии 50 км от морского порта. Далее из тылового терминала 20% грузопотока развозится получателям автотранспортом, а 80% уходит в составе УКП на распределительный логистический центр в глубине хинтерленда, находящийся на расстоянии 1100 км от тылового терминала и в итоге поступает грузополучателям автотранспортом или через терминалы-сателлиты, находящиеся на расстоянии 50 км от РЛЦ.

Оптимальная настройка параметров инфраструктурных объектов модели позволяет получить набор выходных параметров:

- Динамика контейнерного склада инфраструктурного объекта (морской порт, тыловой контейнерный терминал, распределительный логистический центр);
- Динамика обработки поступающих транспортных средств (заявки на обслуживание в модели);
- Динамика работы автомобильных грузовых фронтов (АГФ) инфраструктурных объектов;

— Динамика работы железнодорожных грузовых фронтов (ЖГФ) инфраструктурных объектов.

Помимо этого, на «Экран» выводятся диаграммы для принятия управленческих решений по выбору исходных параметров, на которых фиксируется загрузка складов, оборудования и транспортных средств в модели.

На рисунках 3.4 — 3.15 представлены полученные результаты первого эксперимента:

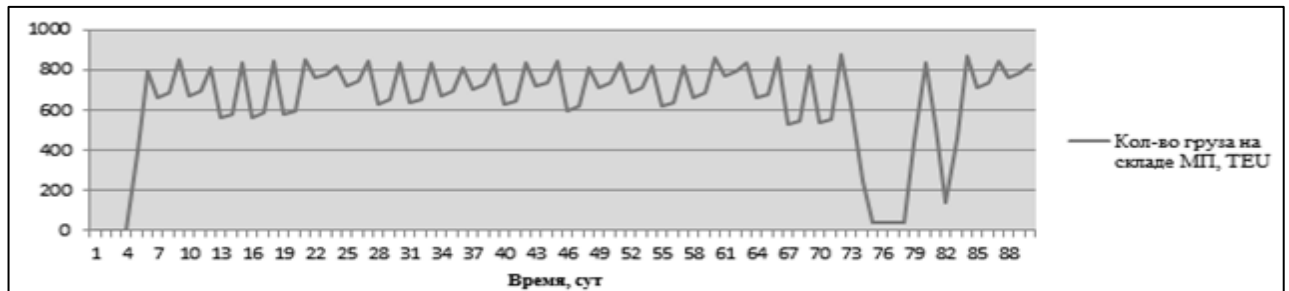


Рисунок 3.4 — Экспериментально полученная динамика склада морского контейнерного терминала

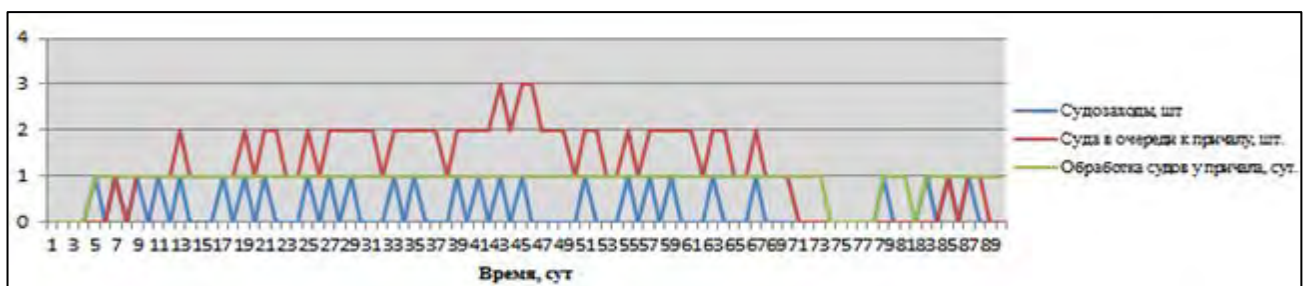


Рисунок 3.5 — Экспериментально полученная динамика обработки судов у причала морского терминала

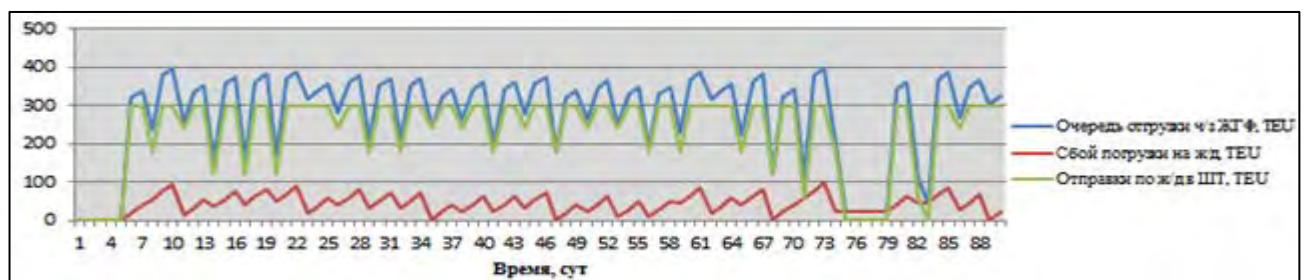


Рисунок 3.6 — Экспериментально полученная динамика работы ЖГФ морского контейнерного терминала

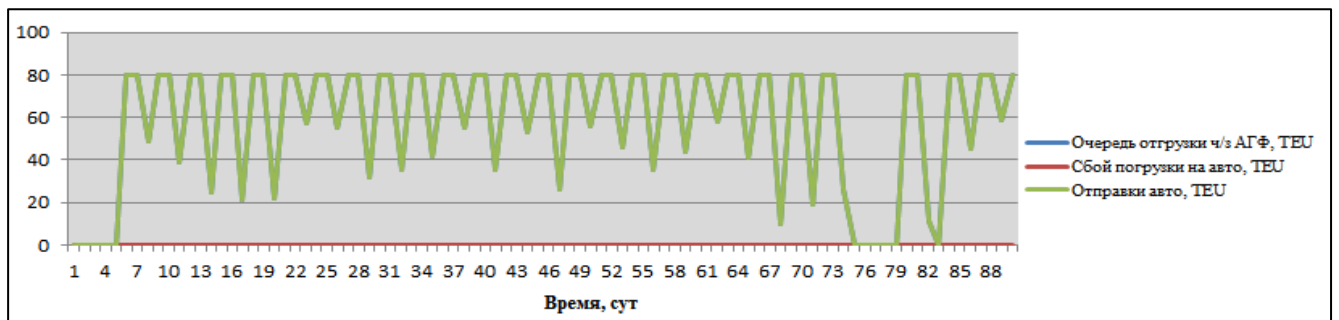


Рисунок 3.7 — Экспериментально полученная динамика работы АГФ морского контейнерного терминала

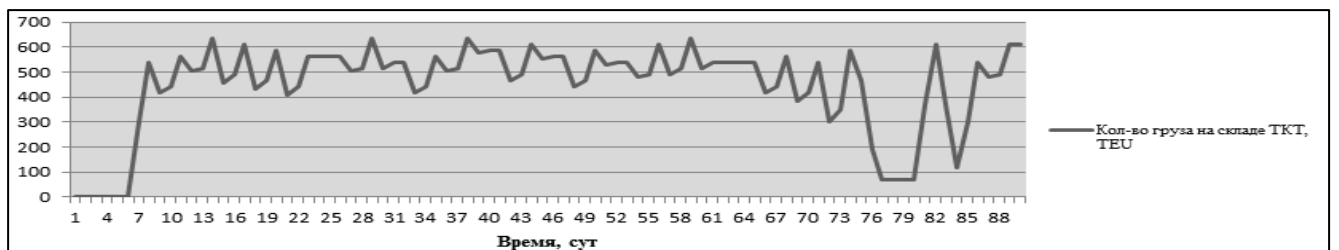


Рисунок 3.8 — Экспериментально полученная динамика склада тылового контейнерного терминала

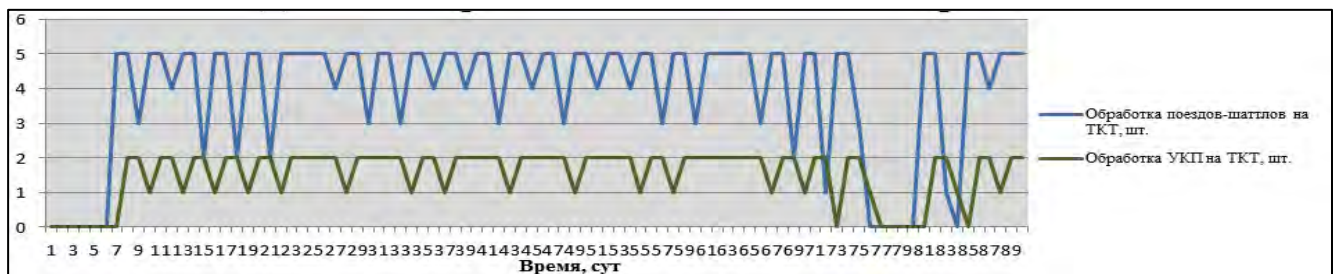


Рисунок 3.9 — Экспериментально полученная динамика обработки поездов на тыловом терминале

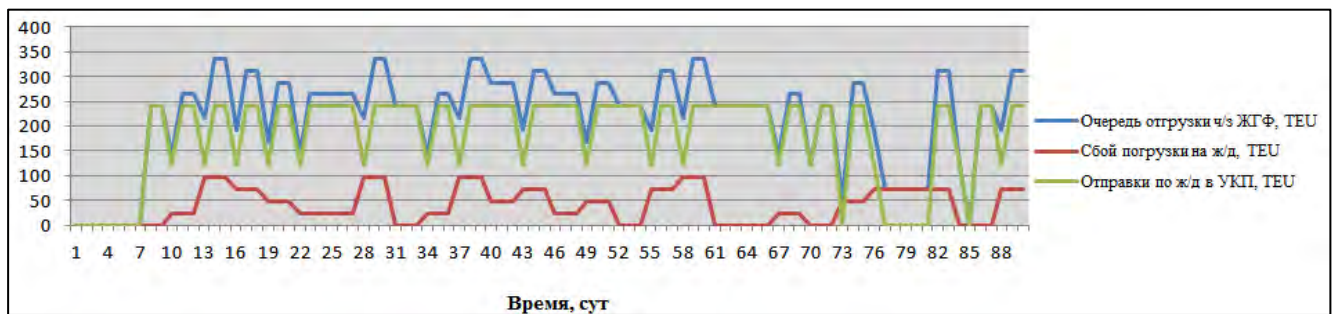


Рисунок 3.10 — Экспериментально полученная динамика работы ЖГФ тылового контейнерного терминала

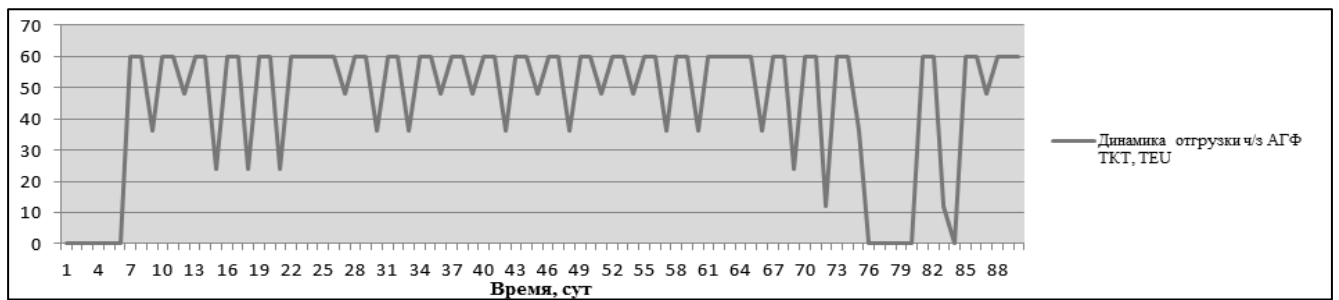


Рисунок 3.11 — Экспериментально полученная динамика работы АГФ тылового контейнерного терминала

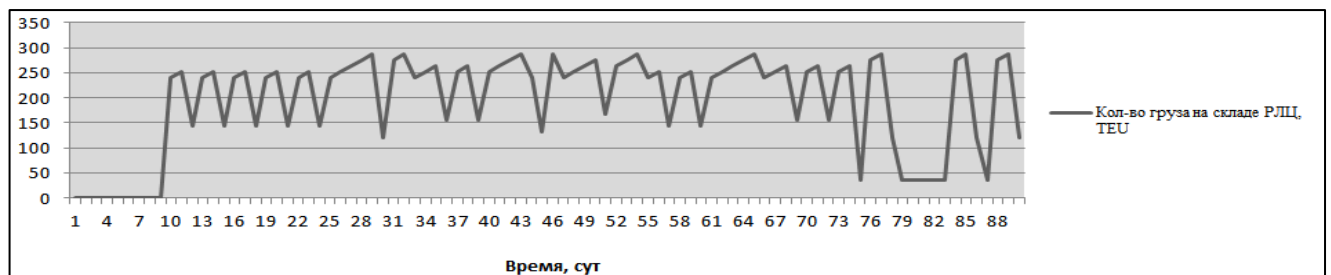


Рисунок 3.12 — Экспериментально полученная динамика склада распределительного логистического центра

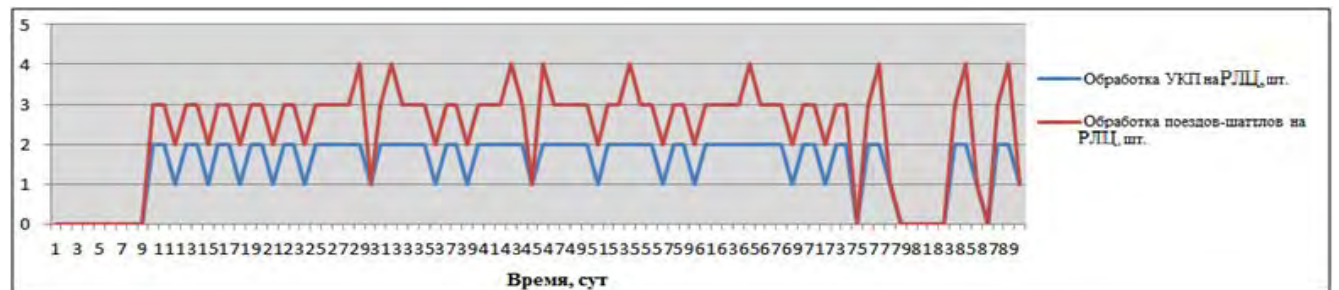


Рисунок 3.13 — Экспериментально полученная динамика обработки поездов в распределительном центре

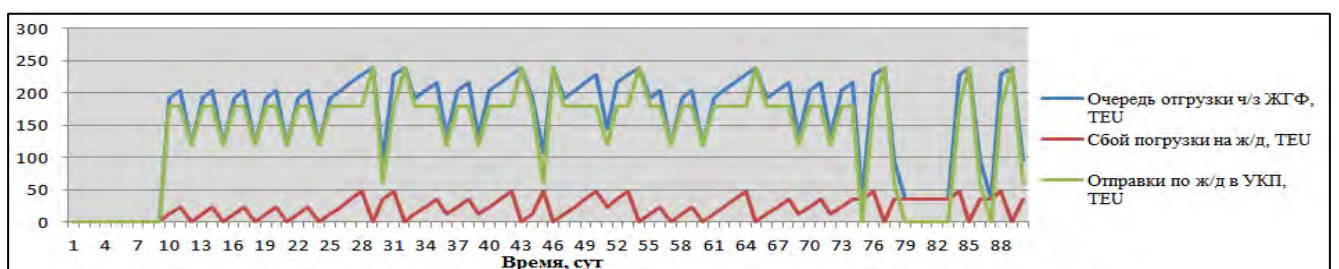


Рисунок 3.14 — Экспериментально полученная динамика работы ЖГФ в распределительном центре

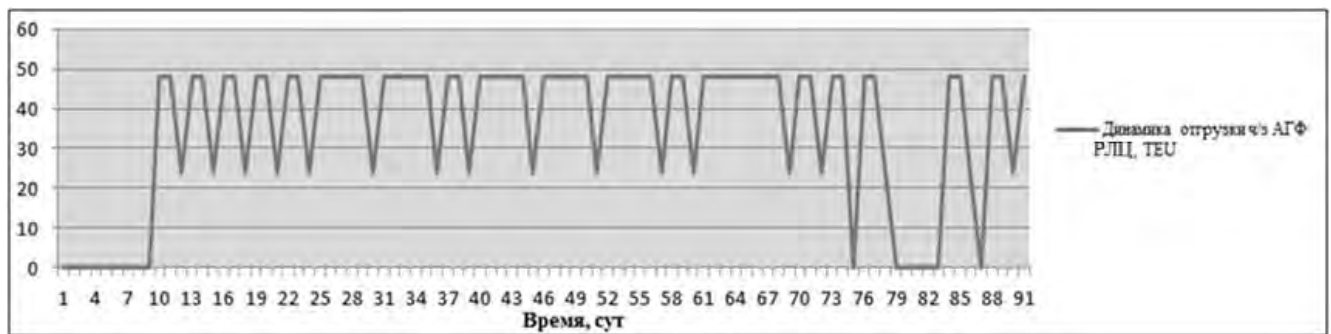


Рисунок 3.15 — Экспериментально полученная динамика работы АГФ в распределительном центре

Работа инфраструктурных объектов в рамках первого эксперимента характеризуется следующими управленческими показателями (для каждого блока), представленными на рисунках 3.16 – 3.18:

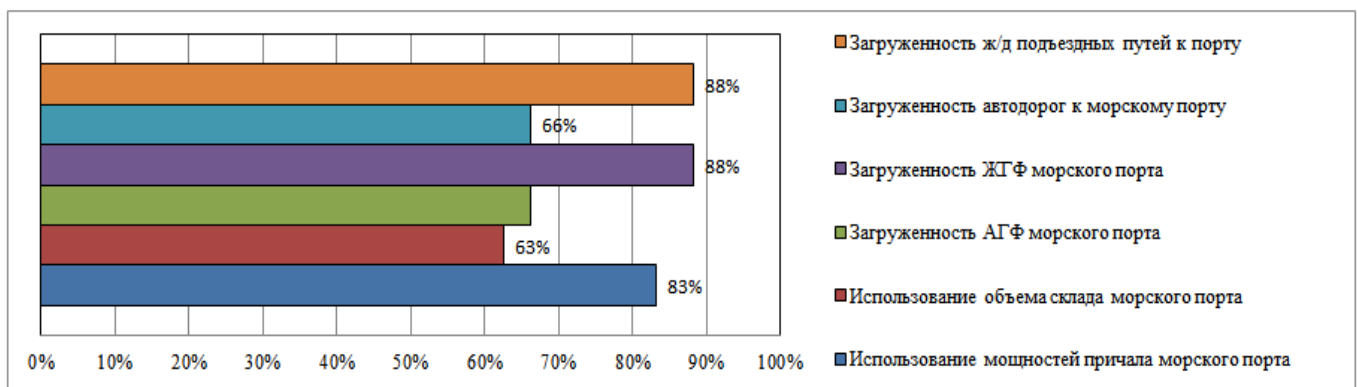


Рисунок 3.16 — Экспериментально полученные показатели использования инфраструктуры морского контейнерного терминала

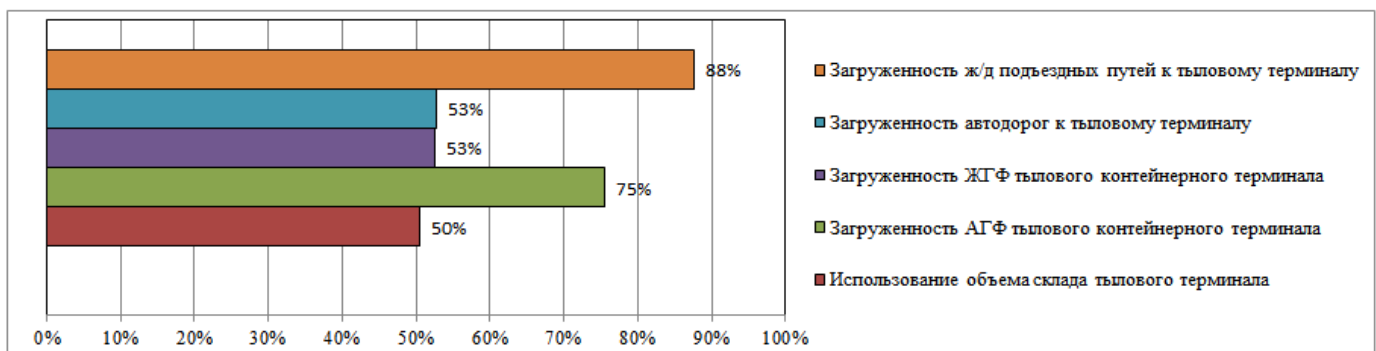


Рисунок 3.17 — Экспериментально полученные показатели использования инфраструктуры тылового терминала

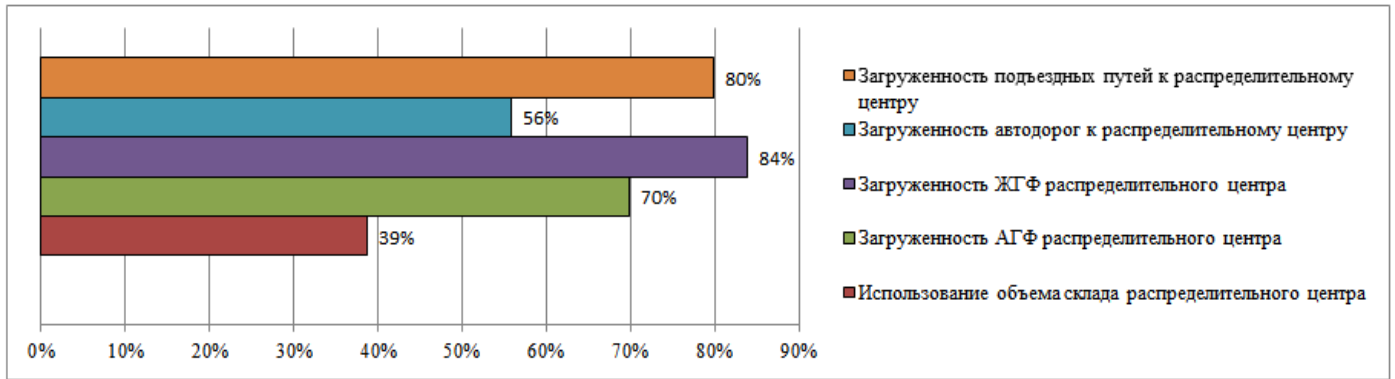


Рисунок 3.18 — Экспериментально полученные показатели использования инфраструктуры распределительного логистического центра

Представленные на диаграммах выше результаты работы программы имитационной модели позволяют сделать следующие управленческие выводы:

1. Система нуждается в усилении оборудования на причалах морского терминала и повышению пропускной способности МГФ. *Причина* — наличие очередей к причалу, суммарный простой судов в ожидании обработки на причале — более 55 суток.
2. Система нуждается в усилении оборудования на ЖГФ морского терминала — необходима установка дополнительных козловых кранов. *Причина* — высокий уровень задержек в отправлениях контейнеров на ТКТ.
3. В системе задана избыточная вместимость склада тылового контейнерного терминала. *Причина* — при заданной вместимости в 1050 TEU средняя загруженность склада составила 529 TEU.
4. В системе задана избыточная вместимость склада распределительного логистического центра. *Причина* — при заданной вместимости в 600 TEU средняя загруженность склада составила 231 TEU.
5. Во всей системе необходимо усиление железнодорожных подходов к терминалам. Заданная пропускная способность железнодорожных подходов к терминалам используется $> 85\%$. Т.е. резервы пропускной способности отсутствуют.

В систему суммарно поступает 121 331 TEU (заявка на обслуживание). Сумма всех выходов модели составляет также 121 331 TEU. Равенство количества контейнеров на входе в систему и на выходе из нее, а также при переходах между блоками говорит о том, что система работает *корректно и адекватно*.

Эксперимент 2. Пусть в моделируемую систему поступает годовой грузопоток в размере порядка 300 000 TEU, реализуемый судозаходами судов-контейнеровозов, несущих в среднем 3000 TEU, и заходящих с произвольным интервалом. Грузопоток проходит морской порт, 20% грузопотока прямо из порта развозится получателям автотранспортом, а 80% уходит на тыловой контейнерный терминал, находящийся на расстоянии 50 км от морского порта. Далее из тылового терминала 20% грузопотока развозится получателям автотранспортом, а 80% уходит в составе УКП на РЛЦ в глубине хинтерленда, находящийся на расстоянии 700 км от ТКТ и в итоге поступает грузополучателям автотранспортом или через СТ, находящиеся на расстоянии 50 км от РЛЦ. На рисунках 3.19 – 3.30 представлены полученные результаты второго эксперимента:

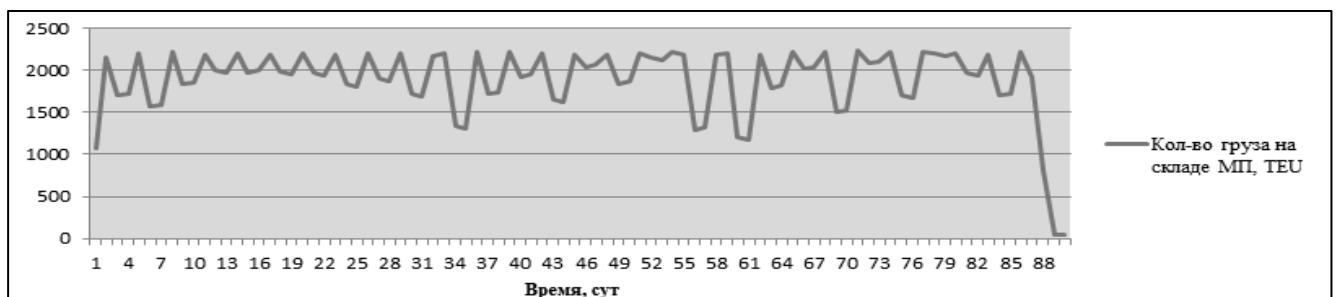


Рисунок 3.19 — Экспериментально полученная динамика склада морского контейнерного терминала

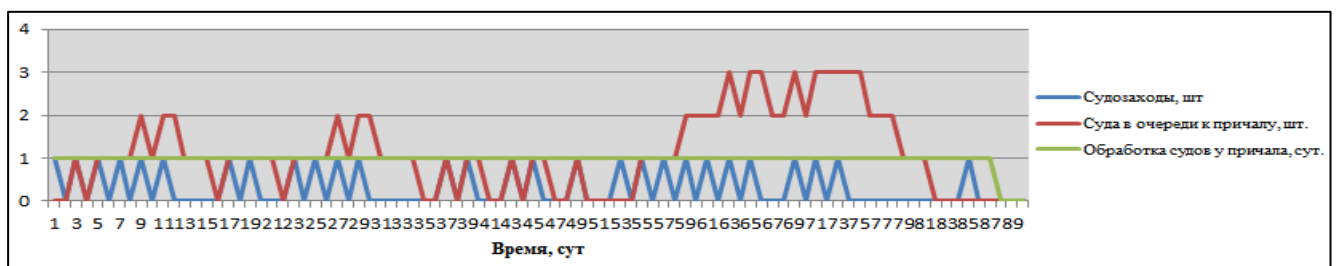


Рисунок 3.20 — Экспериментально полученная динамика обработки судов у причала морского терминала

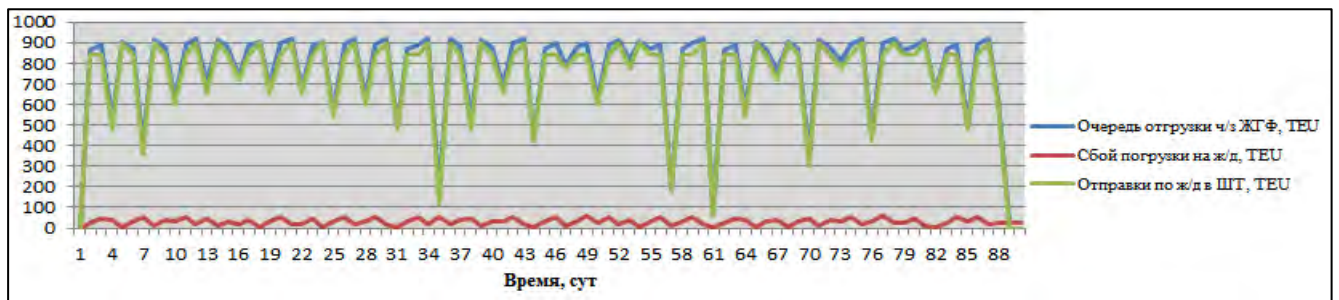


Рисунок 3.21— Экспериментально полученная динамика работы ЖГФ морского контейнерного терминала

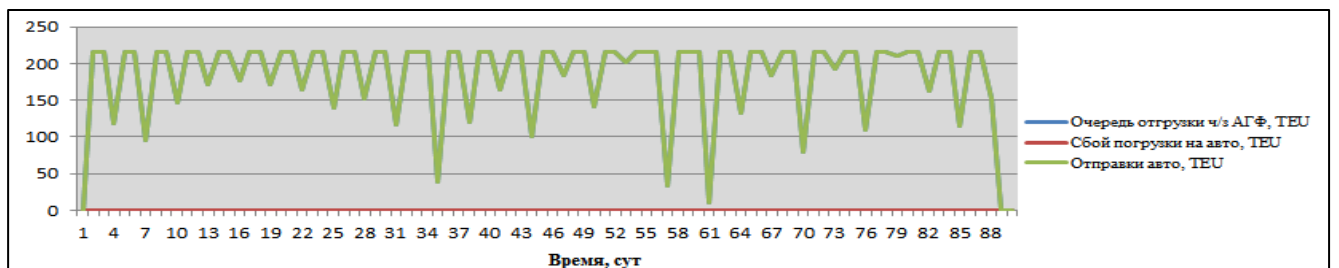


Рисунок 3.22 — Экспериментально полученная динамика работы АГФ морского контейнерного терминала

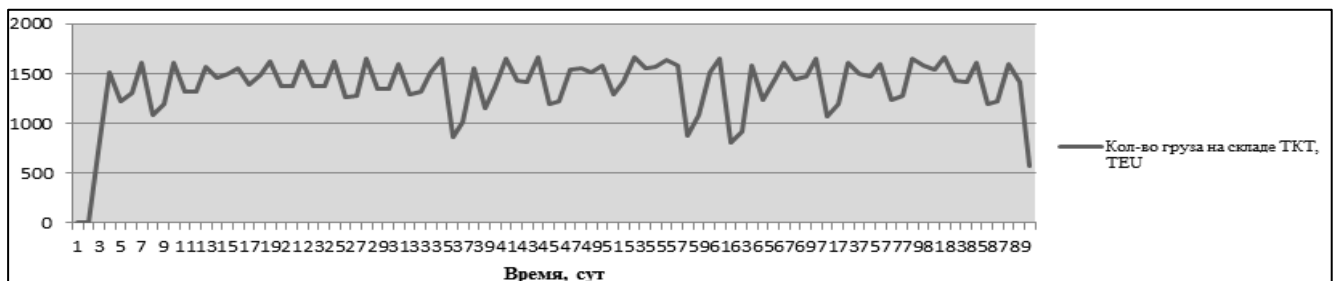


Рисунок 3.23 — Экспериментально полученная динамика склада тылового контейнерного терминала

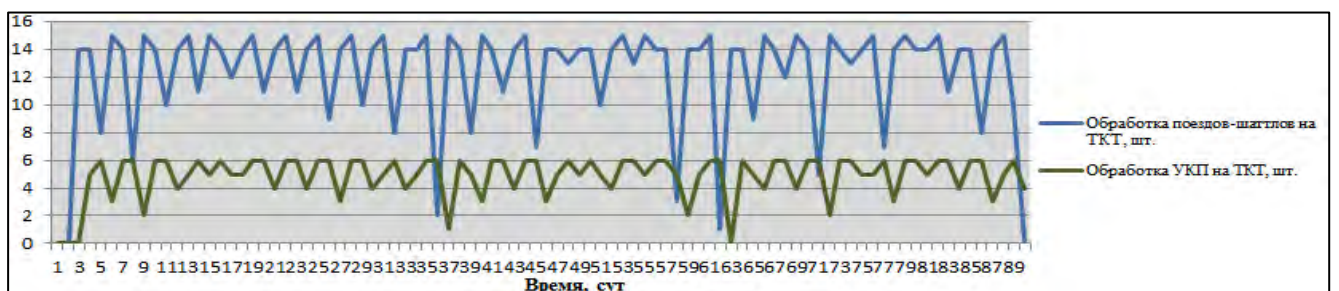


Рисунок 3.24 — Экспериментально полученная динамика обработки поездов на тыловом терминале

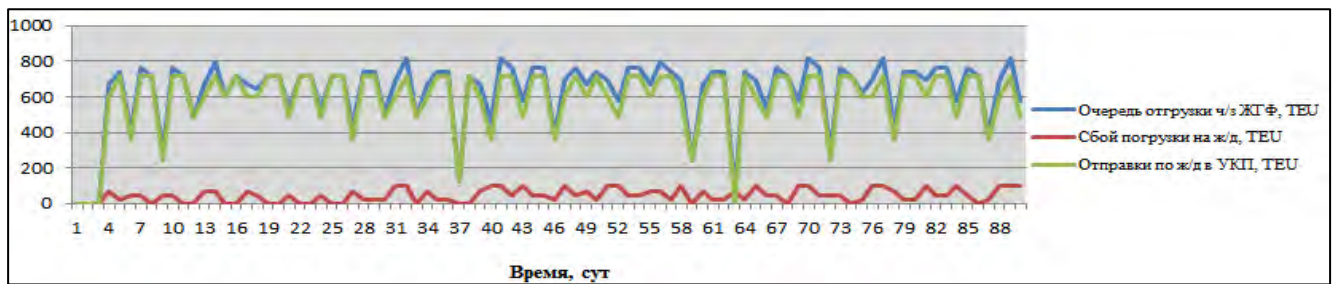


Рисунок 3.25 — Экспериментально полученная динамика работы ЖГФ тылового контейнерного терминала

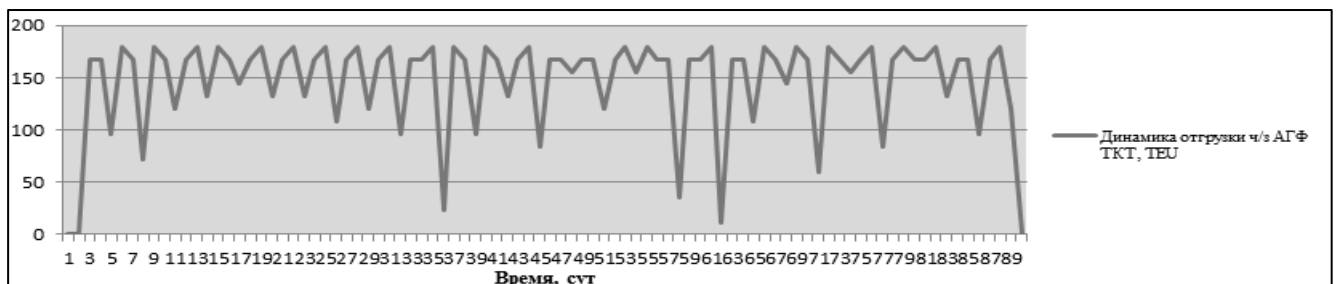


Рисунок 3.26 — Экспериментально полученная динамика работы АГФ тылового контейнерного терминала

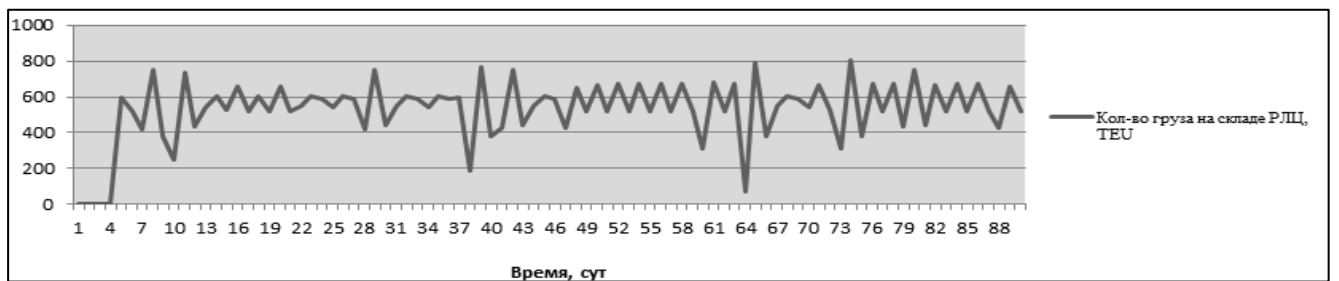


Рисунок 3.27 — Экспериментально полученная динамика склада распределительного логистического центра

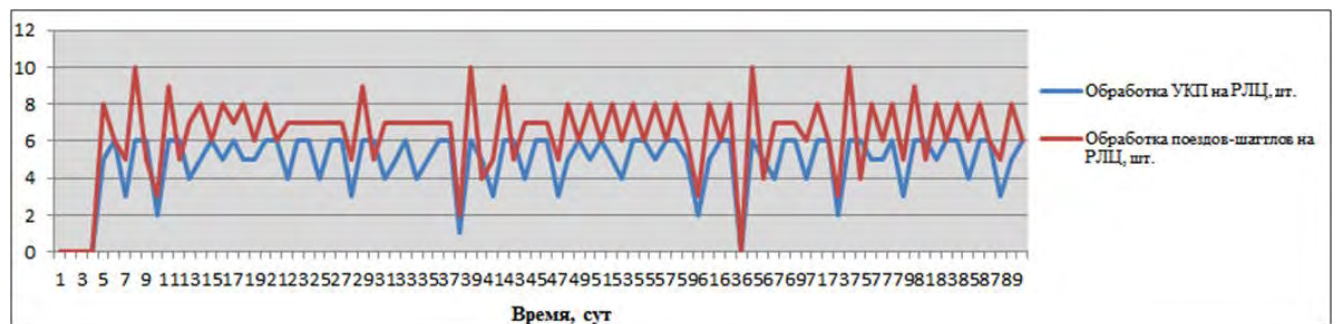


Рисунок 3.28 — Экспериментально полученная динамика обработки поездов в распределительном логистическом центре

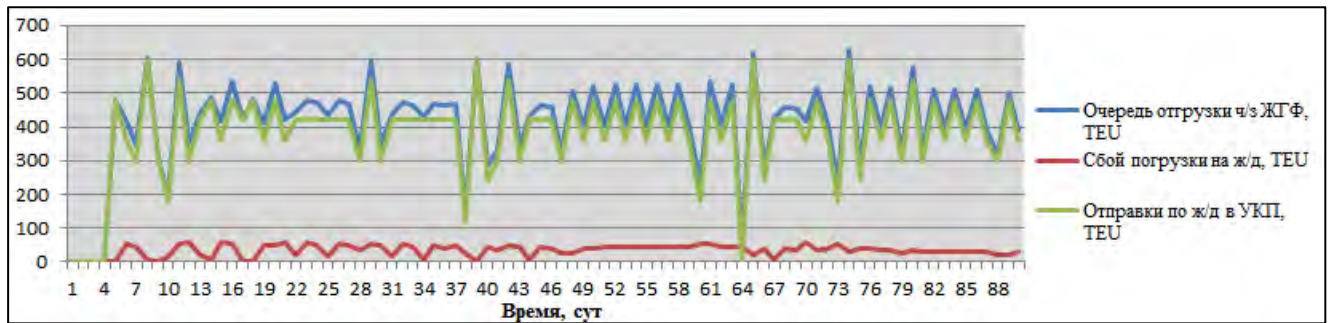


Рисунок 3.29 — Экспериментально полученная динамика работы ЖГФ в распределительном логистическом центре

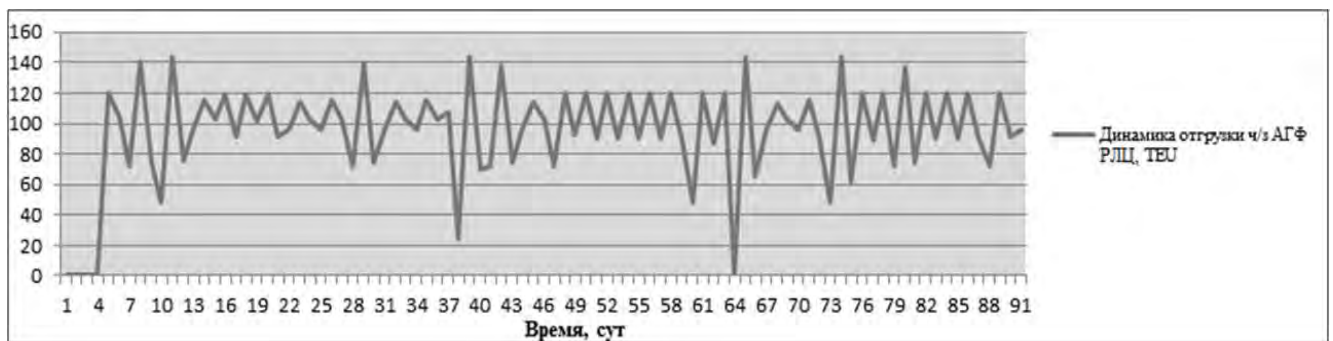


Рисунок 3.30 — Экспериментально полученная динамика работы АГФ в распределительном логистическом центре

Работа инфраструктурных объектов в рамках второго эксперимента характеризуется следующими управленческими показателями (для каждого блока), представленными на рисунках 3.31 – 3.33:

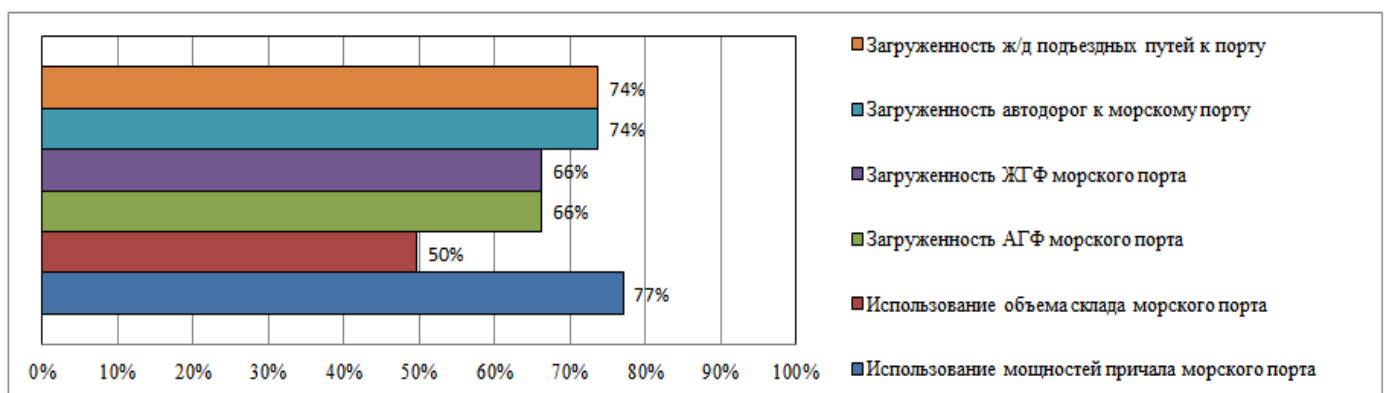


Рисунок 3.31 — Экспериментально полученные показатели использования инфраструктуры морского контейнерного терминала

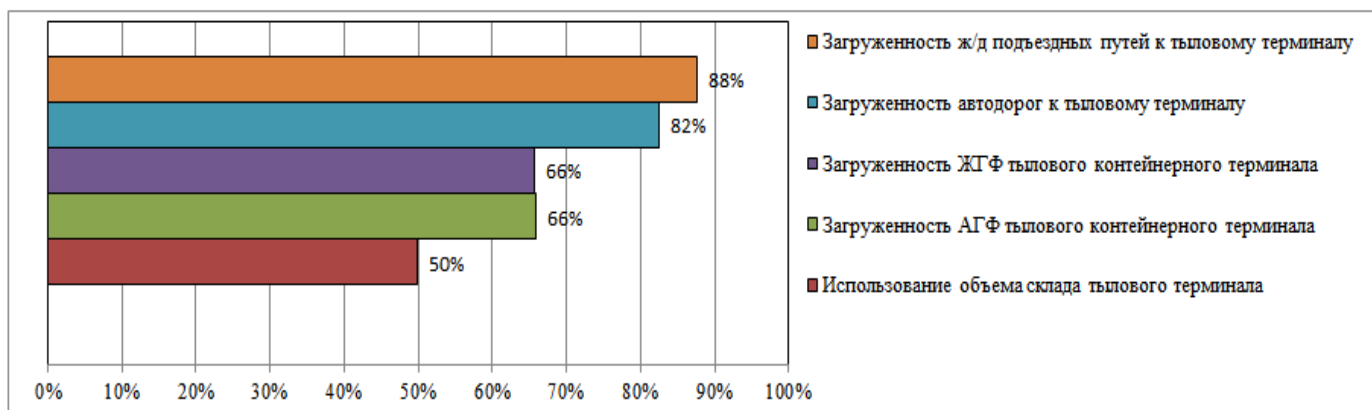


Рисунок 3.32 — Экспериментально полученные показатели использования инфраструктуры тылового терминала

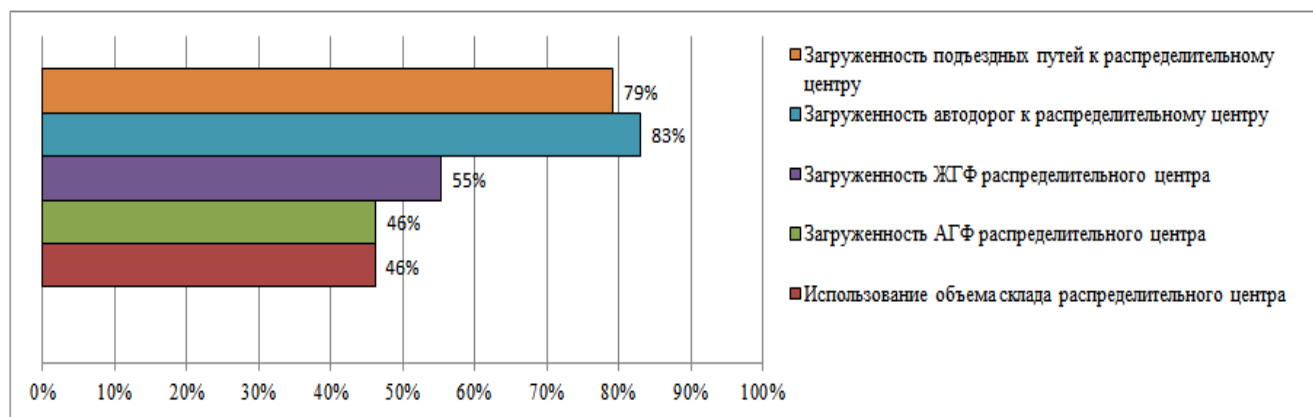


Рисунок 3.33 — Экспериментально полученные показатели использования инфраструктуры распределительного логистического центра

Представленные на диаграммах выше результаты работы программы имитационной модели позволяют сделать следующие управленческие выводы:

1. Система нуждается в усилении оборудования на причалах морского терминала и повышению пропускной способности МГФ. *Причина* — наличие очередей к причалу, суммарный простой судов в ожидании обработки на причале — более 37 суток.
2. В системе задана избыточная вместимость склада тылового контейнерного терминала. *Причина* — при заданной вместимости в 2500 TEU средняя загруженность склада составила 1355 TEU.

3. В системе задана избыточная вместимость склада распределительного логистического центра. *Причина* — при заданной вместимости в 1100 TEU средняя загрузка склада составила 507 TEU.
4. Во всей системе необходимо усиление железнодорожных подходов к терминалам. Заданная пропускная способность железнодорожных подходов к терминалам используется $> 80\%$. Т.е. резервы пропускной способности практически отсутствуют.
5. Во всей системе необходимо усиление автомобильных подходов к терминалам. Заданная пропускная способность автомобильных подходов к терминалам используется $> 75\%$. Т.е. резервы пропускной способности минимальны.

В систему суммарно поступает 303 635 TEU (заявок на обслуживание). Сумма всех выходов составляет также 303 635 TEU. Равенство количества контейнеров на входе в систему и на выходе из нее, а также при переходах между блоками говорит о том, что система работает *корректно и адекватно*.

Анализ результатов моделирования. По результатам имитационного моделирования сделаны следующие основные выводы:

1. В целом результаты экспериментов говорят о том, что поведение разработанной в диссертационном исследовании математической модели достаточно точно совпадает с поведением моделируемой системы управления контейнерным грузораспределением в одинаковых условиях. Модель убедительно показывает те свойства системы контейнерного грузораспределения, которые прогнозируются с помощью разработанной модели. Все это говорит об *адекватности модели*.

2. Разработанная и реализованная общая имитационная модель системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов позволяет с высокой точностью определять состав, показатели и свойства инфраструктурных объектов, перегрузочного оборудования и транспортных средств для обслуживания задаваемых контейнеропотоков. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработанная имитационная модель *валидна*.

3. Имитационная модель позволяет органично и детально «проигрывать» любое поведение рассматриваемой системы, а легкое изменение исходных параметров и детальное отражение статистики делает модель незаменимым инструментом для принятия управленческих решений в рамках системы контейнерного грузораспределения.

4. Разработанная модель также позволяет включать в себя любое число дополнительных элементов произвольной природы и с учетом принятия во внимание всех необходимых аспектов их поведения позволяет достичь любой точности, что, однако, ограничивает универсальность модели и делает её негибкой.

3.2 Формирование методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов

Одной из наиболее актуальных научных задач, требующих решения при разработке методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, является задача выбора местоположения тыловых узлов грузораспределения — тыловых контейнерных терминалов, распределительных логистических центров и терминалов-сателлитов [13, 17]. Данная задача является нетривиальной еще и потому, что на практике принятие окончательных решений о выборе конкретной географической точки для строительства узлов грузораспределения диктуется не столько экономической целесообразностью, сколько наличием уже имеющейся транспортной и административной инфраструктуры, традициями организации грузовой работы в данном регионе, политическими интересами определенных групп лиц, особенностями законодательства и пр. Влияние вышеуказанных факторов порой идет вразрез с экономическими интересами пользователей транспортной инфраструктуры — грузоотправителей и грузополучателей, заставляя подстраиваться под порой невыгодные условия. Подобные действия ведут к увеличению стоимости и сроков доставки грузов, что в итоге ложится бременем на плечи конечных покупателей товаров [21].

В реалиях современной логистики для грузоотправителя (или плательщика) чаще всего абсолютно не важно, как именно и какими маршрутами груз достигнет пункта назначения. Главное, чтобы это произошло в срок, груз был 100% сохранен, а сама перевозка стоила бы как можно дешевле (для повышения конкурентоспособности товара). Именно для целей снижения транспортных издержек и повышения использования эффекта «экономии масштаба» перевозчики организуют контейнерную логистику на базе использования консолидационно – распределительных узлов [22].

Научные исследования в области транспорта на сегодняшний день предлагают несколько основных методов решения задачи выбора местоположения узлов грузораспределения. В общем, задача выбора места для расположения контейнерного центра грузораспределения в регионе может быть сформулирована как поиск оптимального или субоптимального, т.е. близкого к оптимальному решения [24, 56]. Поиск решения осуществляется с применением методов, изложенных в приложении П.

При первичной итерации приемлемы методы, дающие субоптимальное решение. В частности, для определения места для размещения контейнерного центра грузораспределения наиболее простыми и доступными являются аналитические методы [18].

В случае их использования, при рассмотрении возможности расположения в регионе, где действует n крупных предприятий r_i , контейнерного центра грузораспределения L , математически целевая функция будет иметь следующий вид:

$$F = \sum_{i=1}^n T_{\text{пер}} \cdot q_i \cdot D_i \rightarrow \min, \quad (3.2.1)$$

где: $T_{\text{пер}}$ – тариф перевозчика за километр пути, у.е./км · т;

D_i – расстояние перевозки груза, км;

q_i – размер перевозимой партии груза, т.

Традиционными недостатками практически всех методов является недостаточная масштабность решаемых задач, а также невозможность включения в исходные данные дополнительных условий, связанных с транспортными и иными издержками. Помимо этого, их применимость для создания новых узлов грузораспределения ограничена тем, что возможное оптимальное решение условно ограничено лишь предложенными точками и вариантами. Влияние важнейших факторов в этих методах (таких как инфраструктурный фактор, социальный фактор, экономический фактор) в большинстве методов рассматривается лишь косвенно.

Выбор местоположения узлов грузораспределения возможен с применением сложных математических методов — в частности имитационного моделирования. Использование имитационного моделирования дает возможность учитывать различные переменные и не сводит многокритериальные задачи к однокритериальным. Однако, в отличие от математических методов, имитационное моделирование не дает 100% гарантии на получение оптимального результата [77].

То есть к основным недостаткам существующих аналитических методов стоит, в общем, отнести следующее – ограниченность числа выбираемых вариантов, ограниченное число грузополучателей и грузоотправителей, отсутствие учета логистических издержек, субъективность оценки альтернатив, отсутствие учета динамики изменения значений основных параметров, отсутствие системности в выборе.

В связи с этим в диссертационном исследовании принято решение отказаться от использования исключительно одного конкретного метода для выбора местоположения проектируемых узлов грузораспределения для целей разработки методики, которая сочетала бы в себе несколько известных математических методов, максимально используя преимущества каждого.

Предлагается в качестве основы для разрабатываемой методики выбрать интегрированный показатель оценки привлекательности района для расположения узла грузораспределения в рамках проектируемой сети:

1. Прежде всего, необходимо произвести расчет оценки i – го фактора для j – го района t_{ij} , как отношения фактического значения к максимальному и затем произвести определение весовых коэффициентов с помощью методов аналитической иерархии [8]. Далее целесообразно определить по нижеуказанной формуле расчет оценки j – го района по i – му фактору:

$$t_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{max}}, \quad (3.2.2)$$

где: x_{ij} — значение i – го фактора для j – го района;

x_{max} — максимальное значение i – го фактора;

t_{ij} — оценка j – го района по i – му фактору.

В связи с тем, что каждый отдельный фактор оказывает различное влияние на выбор потенциального участка для расположения узла контейнерного грузораспределения, то целесообразно осуществлять весовой коэффициент для каждого фактора по методу аналитической иерархии. Прежде всего, для установления приоритетности отдельных факторов в рамках метода аналитической иерархии необходимо сформировать матрицу парных сравнений (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Матрица парных сравнений [8]

	A_1	A_2	A_j	A_n	Оценки компонент собственного вектора по строке	Нормализация результата
A_1	1	w_{12}	w_{1j}	w_{1n}	$e_1 = \sqrt[n]{w_{11} \cdot w_{12} \cdot w_{1j} \cdot w_{1n}}$	$x_1 = e_1 / \sum_{i=1}^n e_i$
A_2	w_{21}	1	w_{2j}	w_{2n}	$e_2 = \sqrt[n]{w_{21} \cdot w_{22} \cdot w_{2j} \cdot w_{2n}}$	$x_2 = e_2 / \sum_{i=1}^n e_i$
A_i	w_{i1}	w_{i2}	1	w_{in}	$e_i = \sqrt[n]{w_{i1} \cdot w_{i2} \cdot w_{ij} \cdot w_{in}}$	$x_i = e_i / \sum_{i=1}^n e_i$
A_n	w_{n1}	w_{n2}	w_{nj}	1	$e_n = \sqrt[n]{w_{n1} \cdot w_{n2} \cdot w_{nj} \cdot w_{nn}}$	$x_n = e_n / \sum_{i=1}^n e_i$

В таблице 3.1 значения $A_1, A_2 \dots A_n$ – это показатели преимущества каждого отдельного предлагаемого района, а $w_1, w_2 \dots w_n$ — вес каждого показателя. Вес каждого показателя определяется на основе экспертных опросов, статистики и результатов имитационного моделирования.

Путем сравнения показателей $A_1, A_2 \dots A_n$ друг с другом по степени их влияния на выбор района для узла грузораспределения в матрицу выше необходимо вносить число 1–9 (или же их обратное значение). Для этого предлагается следующая зависимость:

- «1», если показатели A_1 и A_2 являются одинаково важными;
- «3», если показатель A_1 важнее A_2 ;
- «5», если показатель A_1 значительно важнее A_2 ;
- «7», если показатель A_1 подавляющее важнее A_2 ;
- «9», если показатель A_1 абсолютно превосходит по важности A_2 .

С использованием данных матрицы необходимо вычислить вектор приоритетов, путем расчета произведения n элементов каждой строки, из которого в дальнейшем необходимо извлечь корень n – степени. Далее необходимо провести нормализацию полученных результатов.

2. Вторым шагом является проведение расчета оценки j – го района с учетом весовых коэффициентов для групп, социально – экономических $\Omega_{\text{сэк}}$, инфраструктурно – географических $\Omega_{\text{инф}}$, транспортных $\Omega_{\text{тран}}$ по следующей зависимости:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n t_{ij} * W_i, \quad (3.2.3)$$

где: t_{ij} — интегральная оценка j – го района по i – му показателю из каждой группы факторов;

W_i — вес каждого i – го показателя.

3. Третьим шагом является определение консолидированного коэффициента для каждой группы факторов, при этом необходимо постоянно сопоставлять оценку рассматриваемого района с оценкой района-эталона. Важно отметить, что в качестве района-эталона необходимо использовать условный район, имеющий максимальное значение по выбранным факторам. Для примера выбирается два района — $P_{\min}$ (минимально привлекательный район) и $P_{\text{этал}}$ (эталонный район). $P_{\text{этал}}$ имеет абсолютно высокие значения по каждому i – му фактору, тогда как $P_{\min}$ – абсолютно минимальные значения. Значение консолидированного коэффициента (например, экономического) можно рассчитать по следующей формуле:

$$K_{\text{сэк}}^j = 1 - \frac{|\Omega_{\max} - \Omega_{\text{эк}}^j|}{|\Omega_{\max} - \Omega_{\min}|} \quad (3.2.4)$$

где: $K_{\text{сэк}}^j$ — консолидированный коэффициент группы показателей для j – го района (аналогично для групп инфраструктурно–географических $K_{\text{инф}}$, и транспортных $K_{\text{тран}}$ факторов);

$\Omega_{\text{эк}}^j$ — оценка района по конкретной группе факторов (в данном случае по группе экономических факторов);

$\Omega_{\max}$; $\Omega_{\min}$ — максимальная и минимальная оценка по выбранной группе факторов.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для $P_{\min}$ (минимально привлекательного района) и $P_{\text{этал}}$ (эталонного района) значения консолидированного коэффициента составят $K_{\text{эк}}^j = 0$ и $K_{\text{эк}}^j = 1$, соответственно. Подобным образом определяются консолидированные коэффициенты для каждой выбранной группы факторов — инфраструктурно–географических $K_{\text{инф}}$, социально – экономических факторов $K_{\text{сэк}}$ и транспортных $K_{\text{тран}}$. Соответственно, предполагается возможность оперировать 3-мя основными группами оценочных коэффициентов.

В итоге, интегрированный показатель оценки привлекательности района для расположения узла грузораспределения предлагается высчитывать следующим образом:

$$S_j = \frac{\sqrt{(K_{сэк}^j)^2 + (K_{инф}^j)^2 + (K_{тран}^j)^2}}{\sqrt{3}}, \quad (3.2.5)$$

где: S_j — интегрированный показатель оценки привлекательности j — го района для расположения узла контейнерного грузораспределения.

Чем больше значение S_j , тем более привлекателен j — ый район для размещения в нем узла контейнерного грузораспределения.

Решение о размещении узла контейнерного грузораспределения в определенном районе после сравнения интегрированных показателей принимается только в случае, если:

$$K_{инф}^j * \frac{K_{сэк}^j + K_{тран}^j}{2} \geq K_{инф}^{ср} * \frac{K_{сэк}^{ср} + K_{тран}^{ср}}{2}, \quad (3.2.6)$$

где: $K_{сэк}^{ср}$, $K_{тран}^{ср}$, $K_{инф}^{ср}$ — средние значения консолидированных коэффициентов группы показателей для инфраструктурно – географических, социально – экономических и транспортных факторов.

В связи с тем, что пригодность конкретного предложенного района для размещения в нем узла контейнерного грузораспределения, определяется по трем коэффициентам, далее целесообразно провести сравнение их значений между собой. Это позволит определить приоритеты для развития конкретных районов с целью привлечения инвесторов и для размещения объектов транспортной инфраструктуры. Матрица для группировки районов, используемая при сравнении коэффициентов изображена на рисунке 3.34:

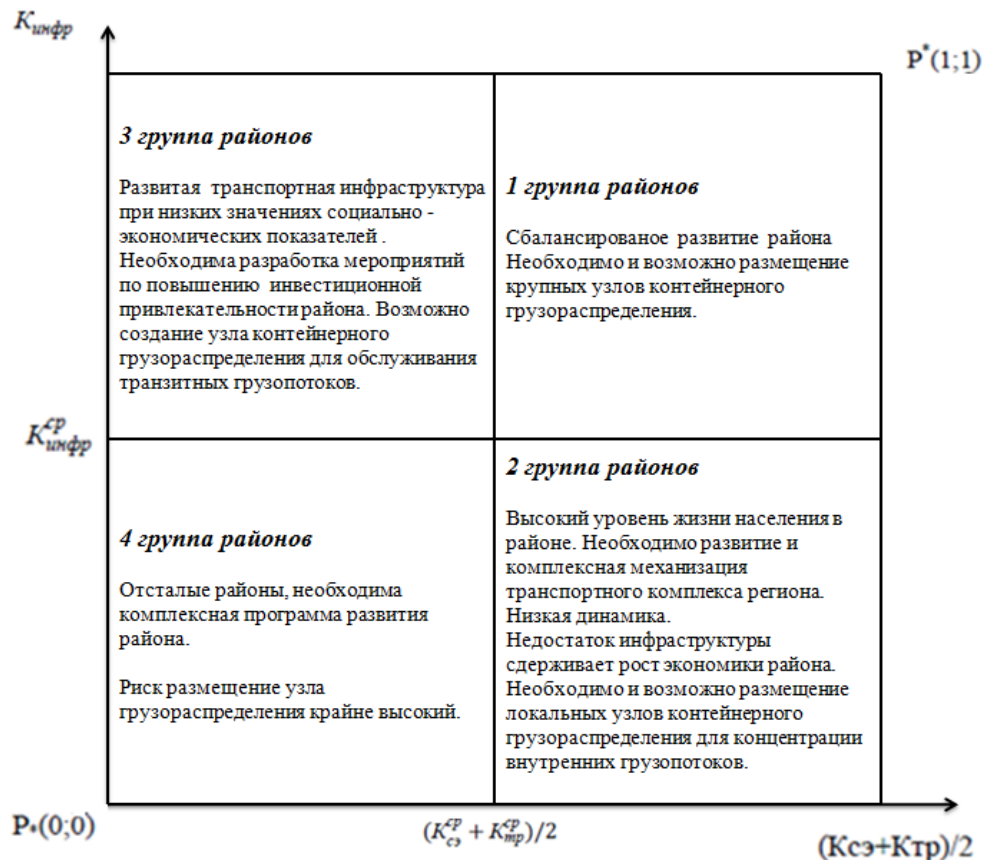


Рисунок 3.34 — Разработанная матрица для группировки районов для размещения в них узла контейнерного грузораспределения

Таким образом, для удобства сравнение регионов можно осуществлять в системе ХУ — координат. Помимо этого существуют и иные факторы, влияющие на выбор места для размещения узла контейнерного грузораспределения. Их принято условно разделять на внутренние, к которым следует относить предпочтения инвесторов, заказчиков и руководства, а также внешние, к которым следует относить совокупность критериев, влияющих на принятие решения о размещении. На основе степени влияния данных факторов и критериев на выбор местоположения и конкретного участка осуществляется только с помощью эвристических методов. Внешние факторы можно также разбить на 2 основные группы:

1) *Нормативно-правовые* (нормы действующего законодательства; строительные нормы и стандарты; законодательство в области таможенной и внешне-экономической деятельности; меры государственной поддержки или ограничения).

2) *Дистрибуционные* (возможность экономического развития сопредельных территорий; близость к крупным предприятиям и технологическим центрам; налоговая система, льготы и преференции).

Влияние на выбор местоположения тылового контейнерного терминала оказывает также время доставки груза в порт – T , оно прямо пропорционально расстоянию перевозки L_{1-2-3} и обратно пропорционально скорости перевозки $V_{\text{пер}}$. Расходы на доставку грузовых партий в порт и обратно $TC_{\text{общ}}$ пропорциональны количеству перевозимого груза q_i и тарифам на железнодорожную перевозку груза $T_{\text{жд}}$. Соответственно, максимальная удаленность предполагаемого места для размещения тылового терминала от морского порта будет выражаться как:

$$L_{\max} = \{T \in [L_{1-2-3}; V_{\text{пер}}] | F \in [N_{\text{гр}}; L_{1-2-3}; T_{\text{жд}}]\}, \quad (3.2.7)$$

Исходя из этого, можно на рисунке 3.35 представить варианты размещения тылового терминала относительно морского терминала:

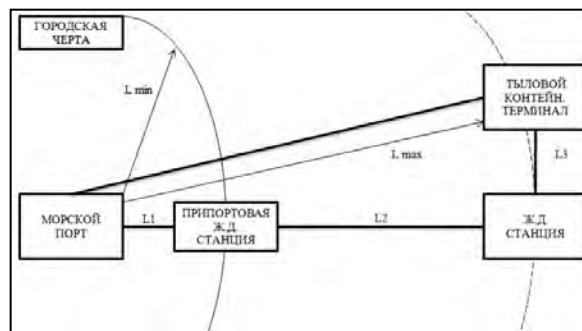


Рисунок 3.35 — Варианты расположения тылового контейнерного терминала относительно морского контейнерного терминала

Соответственно, максимальное и минимальное расстояние между портом и сухим портом будет складываться как:

$$L_{\max} = L_1 + L_2 + L_3, \quad (3.2.8)$$

$$L_{\min} = L_1 + L_3, \quad (3.2.9)$$

Таким образом, при наличии свободных территории под застройку и требуемой транспортной инфраструктуры необходимо стремиться к минимизации расстояния L_2 . Минимизация этого расстояния приведет к уменьшению времени на доставку партий груза, что показано на рисунке 3.36:

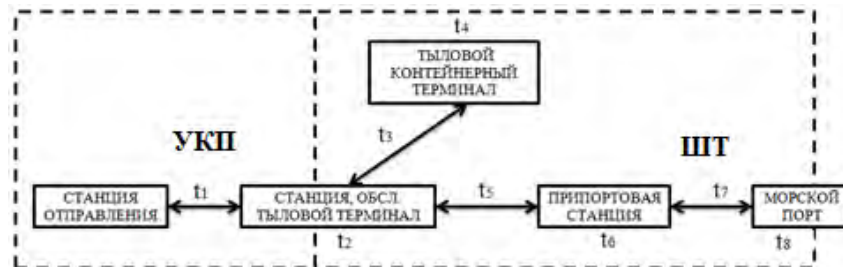


Рисунок 3.36 — Схема доставки груза через тыловой контейнерный терминал в транспортном узле (вариант)

Для выбора местоположения тылового контейнерного терминала целесообразно оценить временные затраты на каждую технологическую операцию при учете планируемого магистрально-фидерного железнодорожного сообщения.

При организации сообщения согласно схеме, указанной на рисунке 3.36, время прохождения экспортного груза от грузоотправителя будет складываться из следующих значений:

- t_1 — время движения груза в составе УКП от станции отправления до станции, обслуживающей тыловой терминал, сут.;
- t_2 — время нахождения груза в составе УКП на период проведения технического и коммерческого осмотра поезда, сут.;
- t_3 — время движения груза в составе УКП от станции, обслуживающей тыловой терминал до тылового контейнерного терминала, сут.;
- t_4 — время нахождения груза на контейнерной площадке тылового терминала и под грузовыми операциями, сут.;
- t_5 — время движения груза в составе шаттла от станции, обслуживающей тыловой терминал до припортовой станции, сут.;

- t_6 — время движения груза в составе блок-трейна через припортовую станцию, сут.;
- t_7 — время движения груза в составе блок-трейна от припортовой станции до контейнерного терминала морского порта, сут.;
- t_8 — время нахождения груза на контейнерной площадке морского терминала и под грузовыми операциями, сут.

Таким образом, при организации сообщения согласно схеме, указанной на рисунке 3.36, общее время прохождения груза по узлу будет выражаться следующим образом:

$$T = t_1 + t_2 + 2 \cdot t_3 + t_4 + t_5 + t_7 + t_8, \quad (3.2.10)$$

Местоположение тылового контейнерного терминала должно быть выбрано таким образом, чтобы обеспечить минимальные значения t_3, t_5, t_7 . Итоговое время прохождения груза по узлу должно быть ниже, чем таковое в иных логистических схемах [77].

На основании вышеизложенного материала, в диссертационном исследовании в рамках разработки методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов сформулирован алгоритм выбора местоположения узлов контейнерного грузораспределения, представленный в приложении Р настоящего диссертационного исследования.

Разработанные в диссертационном исследовании математические модели являются базой и инструментом для проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.

Процесс создания системы управления контейнерным грузораспределением состоит из нескольких основных этапов — от создания бизнес-плана, до введения системы в коммерческую эксплуатацию. В промежутке между начальным и финальным этапами проводятся маркетинговые исследования, задаются исходные параметры проектирования и пр.

В общем, состав и число этапов зависят, прежде всего, от масштаба проектируемой системы, особенностей транспортной и экономической системы регионов, в которых система контейнерного грузораспределения планируется, ведомственных и иных особенностей. При первом приближении процесс проектирования состоит из последовательного создания предпроектных разработок, проектной и рабочей документации, непосредственно физического создания объектов – строительства и, наконец, эксплуатации объекта [41].

Различия в авторстве и исполнителе на каждом этапе проектирования сложной системы неизбежно делают создание системы грузораспределения теоретической и инженерной проблемой высокого уровня. Процедура проектирования сложных транспортных систем представляет собой цепь последовательных действий, выполняемых подрядными организациями, каждая из которых опирается в работе на собственный инструментарий. Используемые в работе методы проектирования чаще всего на увеличение данных и объемов информации о проектируемом объекте. Объем данных и информации передается между этапами, формируя массив сконцентрированных итогов каждого предыдущего этапа проектирования, что представлено в приложении С к настоящему исследованию.

Разработанные в диссертационном исследовании имитационные модели, а также алгоритм выбора местоположения узлов грузораспределения позволяют синтезировать итоговую методику проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов.

Методика проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов:

1. Инженерами проводится анализ полученных в ходе предпроектных разработок исходных данных, определяются «пробелы», требующие заполнения;
2. Инженерами осуществляется определение рациональной структуры сети контейнерного грузораспределения с помощью разработанных в настоящем диссертационном исследовании программных средств имитационного моделирования;

3. Командой разработчиков совместно проводится дополнение исходных данных полученными результатами имитационного моделирования, выбирается рациональная структура сети контейнерного грузораспределения;

4. Инженерами на основе алгоритма, разработанного в настоящем диссертационном исследовании, проводится определение потенциального местоположения узлов грузораспределения в проектируемой системе;

5. Командой разработчиков совместно проводится дополнение исходных данных данными, полученными в результате использования алгоритма, высчитываются логистические и географические расстояния между объектами системы;

6. Инженерами проводится выбор и расчет количества и размеров необходимого транспорта и инфраструктуры в системе известными и общепринятыми аналитическими методами, на основе расчетов командой определяется первичный состав входных параметров имитационной модели;

7. В случае достаточности данных, команда разработчиков приступает к имитационному моделированию, в ином случае команда осуществляет поиск и дополнение исходных данных для моделирования;

8. Инженерами осуществляется внесение или изменение исходных параметров программы имитационной модели;

9. С помощью разработанных в настоящем диссертационном исследовании программных средств имитационного моделирования инженерами осуществляется расчет искомых параметров и характеристик проектируемой системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов;

10. Командой разработчиков совместно с экспертами проводится интерпретация полученных в результате имитационного моделирования данных о проектируемой системе;

11. Инженерами осуществляется сбор коммерческих данных по проекту системы грузораспределения на основе существующих стоимостей и экономических показателей;

12. По результатам интерпретации машинных данных и анализа коммерческих данных по проекту руководством проекта проводится принятие управленческих решений по изменению вносимых исходных параметров моделирования;

13. В случае если показатели работы имитируемой системы соответствуют заявленным перед началом проектирования целям и задачам, команда переходит к следующему этапу, в обратном случае принимаются решения по внесению изменений в исходные параметры программы имитационной модели;

14. На заключительном этапе командой разработчиков проводится формулировка технического задания для создания рабочей документации проекта.

Сформированная методика представлена на рисунке 3.37:

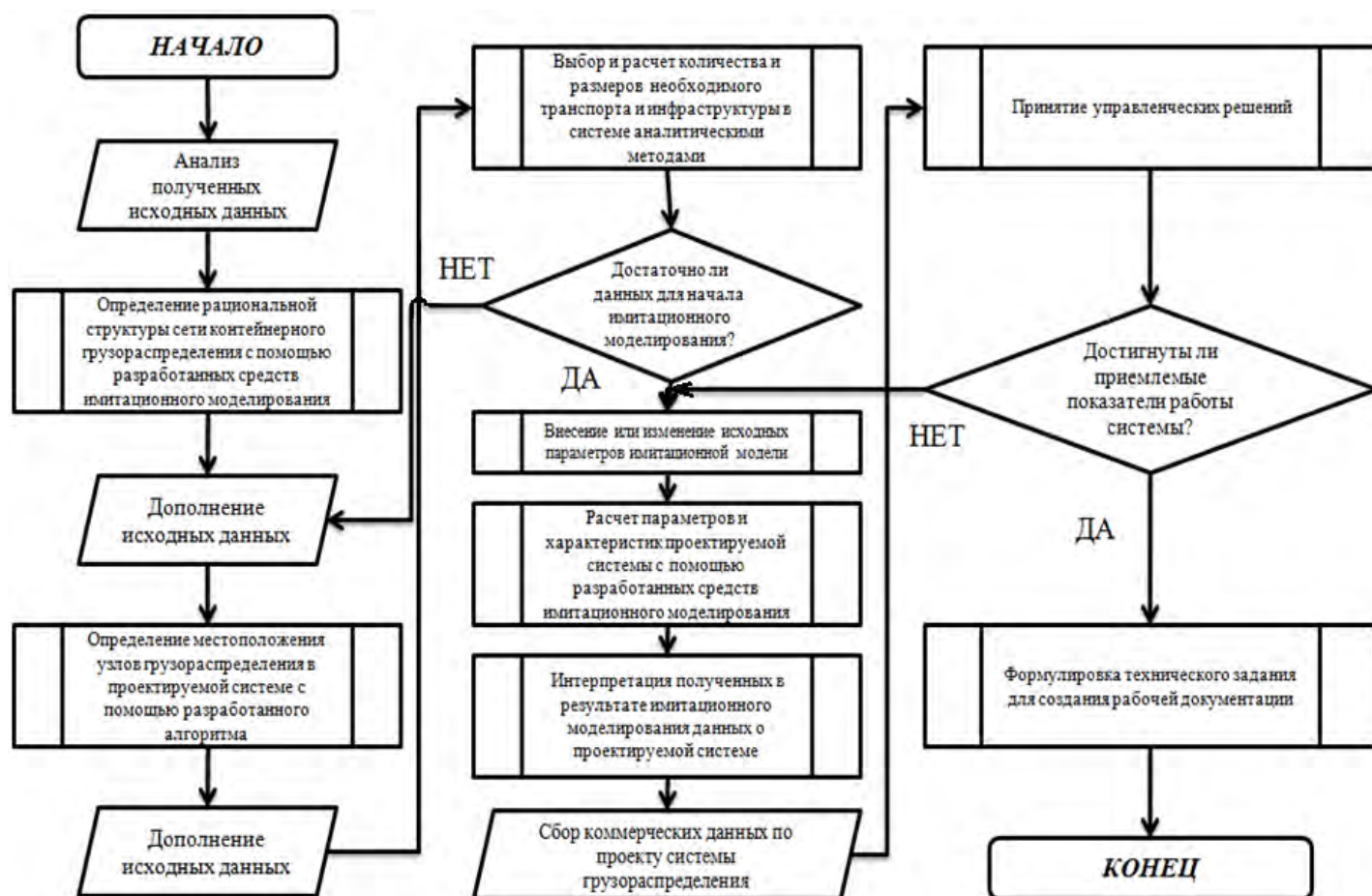


Рисунок 3.37 — Укрупненная блок-схема методики проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов

3.3 Формирование рекомендаций по использованию разработанной методики

Разработанная методика проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов является практическим инструментом для осуществления проектирования сложных систем управления контейнерным грузораспределением морских портов. Опираясь на методы имитационного моделирования методика предполагает высокую гибкость в условиях дифференцированной среды проектирования, а также позволяет осуществлять проектирование систем управления грузораспределением как в развитых государствах, так и в странах с низким уровнем развития транспортной инфраструктуры.

Что касается формирования высокоэффективной транспортной инфраструктуры в Российской Федерации, то относительно низкий уровень контейнеризации в стране предполагает проведение масштабных проектных и строительных работ.

В первую очередь стоит отметить, что требования современной глобальной экономики и направления развития морских портов в мире предполагают регионализацию морских портов и генерацию мощных систем управления грузораспределением. На первом этапе организации высокоэффективной сети грузораспределения морских портов России необходимо создание достаточного числа узлов контейнерного распределения – центров железнодорожного транзита, обеспечивающих инфраструктурные возможности для транспортных процессов и достижения синергетического эффекта. Формирование подобной высокоэффективной системы в России необходимо проводить в несколько этапов, руководствуясь следующими общими принципами:

- Узлы грузораспределения необходимо производить в местах пересечения транспортных коридоров;
- Узлы грузораспределения целесообразно производить в крупных мультимодальных транспортных узлах, рядом с местами зарождения или окончания грузопотоков;
- Узлы необходимо производить в местах с высокой степенью готовности транспортной инфраструктуры;

— Необходимо получение согласия органов исполнительной власти, а также потенциальных инвесторов.

Для целей выбора потенциального района для строительства центра железнодорожного транзитного терминала на территории Российской Федерации предлагается использовать алгоритм выбора местоположения узлов контейнерного грузораспределения, разработанный в настоящем диссертационном исследовании.

Для принятой в исследовании системы факторов в процессе написания работы была составлена матрица парных сравнений. Далее был проведен расчет весового коэффициента каждого из показателей (для этого использовался метод аналитической иерархии). Каждый крупный город в России может выступать местом, рядом с которым практично и удобно располагать крупные транспортные узлы. В исследовании было выбрано 30 российских городов, которые были ранжированы по привлекательности для расположения узлов грузораспределения с помощью интегрированного показателя оценки. Сформированная таблица представлена в приложении Т настоящего диссертационного исследования. В городах, в которых значения интегрированного показателя оценки больше, чем сумма определенных показателей предполагается размещение узлов грузораспределения. По предварительной оценке под такие значения по состоянию на 2016 год попадают 10 крупных населенных пунктов. Для удобства оценки предлагается свести в общую таблицу (таблица 3.2) значения суммы определенных показателей по сравнению с интегрированным показателем оценки и далее составить общую карту-схему с учетом полученных значений. Следовательно, для расположения основных узлов контейнерного грузораспределения — тыловых контейнерных терминалов и региональных распределительно логистических центров, выбраны следующие регионы Российской Федерации: Москва и Московская область, Санкт-Петербург и Ленинградская область, Новосибирск и Новосибирская область, Екатеринбург и Свердловская область, Уфа и Республика Бурятия, Самара и Самарская область, Казань и Республика Татарстан, Ростов-на-Дону и Ростовская область, Воронеж и Воронежская область, Нижний Новгород и Нижегородская область.

Таблица 3.2 – Города, пригодные для размещения узлов грузораспределения

Группа городов	Значения показателей	Города России
1	$\frac{K_{сз}^j + K_{тр}^j}{2} \geq \frac{K_{сз}^{ср} + K_{тр}^{ср}}{2}$ $K_{инф}^j \geq K_{инф}^{ср}$	Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург, Уфа, Самара, Казань, Ростов-на-Дону, Воронеж, Нижний Новгород
2	$\frac{K_{сз}^j + K_{тр}^j}{2} \geq \frac{K_{сз}^{ср} + K_{тр}^{ср}}{2}$ $K_{инф}^j < K_{инф}^{ср}$	Челябинск, Омск, Пермь, Волгоград, Красноярск, Тюмень, Владивосток, Иркутск, Саратов, Краснодар
3	$\frac{K_{сз}^j + K_{тр}^j}{2} < \frac{K_{сз}^{ср} + K_{тр}^{ср}}{2}$ $K_{инф}^j \geq K_{инф}^{ср}$	Кемерово, Калининград, Белгород, Владимир, Смоленск, Тверь, Великий Новгород
4	$\frac{K_{сз}^j + K_{тр}^j}{2} < \frac{K_{сз}^{ср} + K_{тр}^{ср}}{2}$ $K_{инф}^j < K_{инф}^{ср}$	Калуга, Хабаровск, Южно-Сахалинск

Таким образом, вариант структуры планируемой системы грузораспределения морских контейнерных терминалов в России в общем виде предлагается представлять следующим образом (рисунок 3.38):

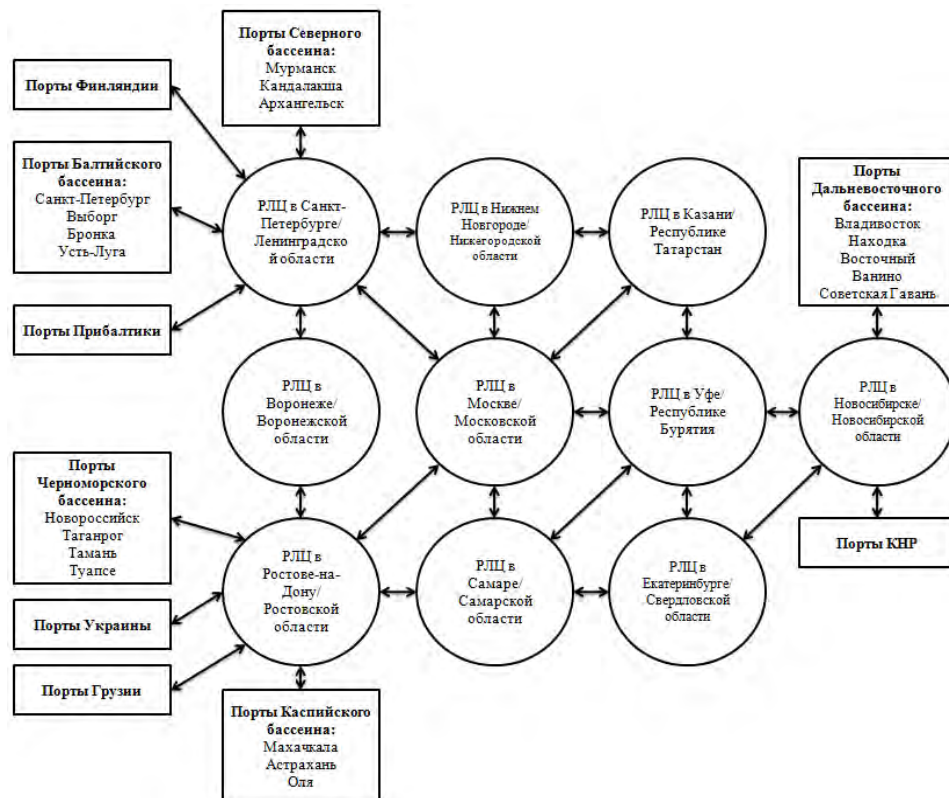


Рисунок 3.38 — Укрупненная структура планируемой системы грузораспределения морских контейнерных терминалов в России (вариант)

После определения количества и местоположения узлов контейнерного грузораспределения, для дальнейшего построения высокоэффективной системы грузораспределения морских контейнерных терминалов России предлагается продолжить использование методики проектирования системы управления контейнерным грузораспределением, разработанной в настоящем диссертационном исследовании. После проведения маркетингового анализа на рынке контейнерных грузоперевозок в регионах России, оценки существующих и планируемых контейнеропотоков, а также проведения анализа существующей транспортной инфраструктуры, целесообразно использовать общую имитационную модель системы управления контейнерным грузораспределением. Использование программы имитационной модели позволяет получить следующие необходимые данные:

1. Сведения о количестве и характеристиках грузовых устройств и техники в морских портах и на объектах в наземной системе грузораспределения;
2. Сведения о размерах и характеристиках контейнерных складов морского порта и наземных инфраструктурных объектов;
3. Сведения о моделях и разновидностях крановых перегружателей на грузовых фронтах морского порта и наземных инфраструктурных объектов;
4. Данные о необходимом количестве пар поездов-шаттлов (ШТ) и ускоренных контейнерных поездов (УКП) на линиях между морским портом и наземными инфраструктурными объектами;
5. Сведения о количестве вагонов в составе поездов-шаттлов (ШТ) и ускоренных контейнерных поездов (УКП) на линиях;
6. Сведения о необходимой пропускной способности и характеристиках железнодорожных путей на подъездах к морскому порту и наземным инфраструктурным объектам;
7. Данные о пропускной способности автомобильных магистралей на подъездах к морскому порту и наземным инфраструктурным объектам.

3.4 Оценка экономического эффекта от внедрения результатов исследования

Одной из основных задач научной деятельности в области транспорта является создание, обоснование и подтверждение тех направлений развития локальной и глобальной транспортной системы, которые бы позволили максимально приблизиться к «идеальному» транспорту, т.е. бесплатному, мгновенному, всегда доступному и перевозящему любые партии груза. В общем случае, это выражается в стремлении достичь минимальной стоимости перевозки.

Проведенные в диссертации исследования, направленные на повышение качества проектирования систем управления грузораспределения морских контейнерных терминалов на основе использования имитационного моделирования позволяют оценить влияние конфигурации системы контейнерного грузораспределения на стоимость доставки партий экспортных и импортных партий груза.

Задачей данного параграфа является оценка потенциального экономического эффекта от перехода на проектируемую систему контейнерного грузораспределения в рамках имеющейся транспортной сети Российской Федерации. Исходя из этого, предлагается провести вариацию следующих исходных данных на нескольких практических примерах:

- Годовой грузопоток от каждого предприятия–производителя (экспортера) в адрес морских контейнерных терминалов – Q , TEU;
- Интервалов отправок грузовых партий T^{int} , сут.;

Следующие исходные данные будут идентичными для каждого примера и изменяться не будут:

- Максимальная вместительность контейнерного поезда V , TEU;
- Тарифы на маршрутную отправку от предприятия–производителя к морскому порту C^{train} , руб./TEU;
- Тарифы на повагонную отправку от предприятия–производителя к морскому порту C^{car} , руб./TEU;

- Тарифы на маршрутную отправку от тылового терминала к морскому порту U , руб./TEU;
- Тарифы на маршрутную отправку между контейнерными узлами грузораспределения в составе ускоренных контейнерных поездов УКП $S_{УКП}$, руб./TEU.

Максимальная вместительность контейнерного поезда принимается из расчета 57 «условных» вагонов – т.е. поезда 800 метровой длины, принимаемого железнодорожными станциями Российской Федерации. Длина поезда – 2600 футов, с учетом длины 60-футовых платформ – 20 метров, общая вместимость контейнерного поезда составит сорок 60-футовых платформ или $V = 120$ TEU.

Для выбора исходных данных необходимо, прежде всего, определить станции отправления груза, станции назначения и станции, на которых целесообразно расположения контейнерных центров грузораспределения (ТКТ и РЛЦ). С учетом необходимости сравнения полученных данных и реальных значений целесообразно в примерах опираться на существующую транспортную сеть Российской Федерации с известными географическими и логистическими расстояниями и морскими портами, поскольку итоговые количественные характеристики позволят лучше отразить полученные результаты исследования.

В качестве морских контейнерных терминалов в примерах предлагается выбрать существующие и перспективные морские контейнерные терминалы северо-запада России:

- Контейнерный терминал ОАО «Петролеспорт» в морском порту Санкт-Петербург, обслуживаемый железнодорожной станцией Новый порт;
- Контейнерный терминал в морском порту Бронка, обслуживаемый железнодорожной станцией Бронка;
- Контейнерный терминал ОАО «Усть-Лужский контейнерный терминал», обслуживаемый железнодорожной станцией Лужская.

В качестве предприятий–производителей (экспортеров) предлагается выбрать четыре условных предприятия, расположенные в регионе деятельности Горьковской, Куйбышевской и Свердловской железных дорог.

В качестве условных пунктов отправления контейнеров предлагаются:

- г. Нижнекамск (железнодорожная станция Биклянь);
- г. Ижевск (железнодорожная станция Заводская);
- г. Березники (железнодорожная станция Калийная);
- г. Нижний Новгород (железнодорожная станция Правдинск).

Согласно устоявшейся коммерческой практике на железной дороге стоимость перевозки груза в контейнере между станциями отправления и станциями назначения по сети определяется следующим образом:

$$C = A + T, \quad (3.4.1)$$

где: A — стоимость аренды железнодорожных вагонов, руб./ваг·сут.

T — провозной тариф на железнодорожную перевозку груза между станциями отправления и станциями назначения, руб./ваг.

Стоимость аренды фитинговых платформ для перевозки груза предлагается при расчетах не учитывать в связи с принадлежностью к парку железнодорожного перевозчика или оператора. Тарифы на железнодорожную перевозку груза между станциями отправления и станциями назначения в системе грузораспределения рассчитаны с помощью промышленного комплекса **ЭТРАН** (разработка компании «ИнтэлЛекс») и сведены в матрицу:

Таблица 3.3 – Матрица тарифов на железнодорожную перевозку, руб.

	Автово	Бронка	Лужская
Биклянь	52 516	53 522	54 159
Заводская	41 727	42 485	43 584
Калийная	55 762	56 288	57 786
Правдинск	42 448	43 056	43 664

Данные тарифы – стоимость доставки одного 20-футового контейнера (TEU) по сети железных дорог в Российской Федерации по состоянию на 2016 год.

Они применяются при прямых отправлениях контейнеров от предприятий–производителей в адрес морских контейнерных терминалов по железной дороге. На существующей сети железных дорог России маршруты данных отправок будут выглядеть так, как представлено в приложении У к настоящему исследованию.

Приведенные в приложении У маршруты характерны в случае отсутствия какой-либо организованной системы контейнерного грузораспределения у морских терминалов. В этом случае схема организации железнодорожных перевозок грузов, следующих через морские порты в экспортном направлении, изложена в начале параграфа 2.2 настоящего диссертационного исследования.

В случае наличия у морских портов и терминалов организованной высокоэффективной наземной сети грузораспределения, предполагается функционирование центров железнодорожного транshipmentа — тылового контейнерного терминала, распределительного логистического центра и сателлита.

С помощью изложенного в параграфе 3.2 алгоритма выбора местоположения узлов контейнерного грузораспределения удалось определить, что для рассматриваемого примера ТКТ, взаимодействующий с морскими контейнерными терминалами, целесообразно разместить не далее, чем в 40 километрах от железнодорожной станции Автово, и не более, чем в 120 километрах от железнодорожной станции Лужская (при соотношении распределяемых грузов 3:1 в пользу станции Автово). Выбранной точкой является район железнодорожной станции Гатчина – Товарная – Балтийская. Аналогично с помощью алгоритма выбора местоположения узлов контейнерного грузораспределения определено, что РЛЦ, взаимодействующий с предприятиями грузоотправителями (экспортерами), целесообразно разместить в не далее, чем в 600 км от железнодорожной станции Биклянь, не более чем в 600 км от станции Правдинск, и не более чем в 600 км от станции Калийная. Выбранной точкой является район крупной железнодорожной сортировочной станции Лянгасово. Перевозку контейнеров между ТКТ и предполагаемым РЛЦ целесообразно организовать с использованием ускоренных контейнерных поездов (УКП), курсирующих по установленному расписанию между двумя контейнерными терминалами.

Маршрут перевозки между центрами транshipmentа в этом случае изложен в приложении Ф к настоящему исследованию. В этом случае целесообразно с помощью промышленного комплекса ЭТРАН (разработка компании «Интел-Лекс») дополнить имеющуюся информацию, данными о тарифах на перевозку между проектируемыми узлами контейнерного грузораспределения, отправителями и морскими контейнерными терминалами и свести их в матрицы ниже:

Таблица 3.4 – Матрица тарифов на железнодорожную перевозку, руб.

-	Гатчина – Товарная – Балтийская
Биклянь	45 844
Заводская	35 055
Калийная	49 090
Правдинск	35 776

Таблица 3.5 – Матрица тарифов на железнодорожную перевозку, руб.

-	Автово	Бронка	Лужская
Гатчина – Товарная – Балтийская	6 672	6 785	8 860

Таблица 3.6 – Матрица тарифов на железнодорожную перевозку, руб.

-	Лянгасово
Биклянь	24 981
Заводская	14 192
Калийная	28 227
Правдинск	14 913

Также необходимо отметить, что стоимость доставки TEU в составе УКП между станциями Лянгасово и Гатчина – Товарная – Балтийская составит порядка 20 000 руб.

Далее, определив точки отправления, назначения и перевалки, а также тарифы на доставку в каждую точку, для отражения экономического эффекта от перехода на проектируемую систему управления контейнерным грузораспределением в рамках имеющейся транспортной сети Российской Федерации предлагается два примера:

Пример 1. Пусть весь годовой грузопоток от каждого предприятия доставляется полностью каждому порту в отдельности, интервал отправок варьируется от 1 до 30 суток на одну отправку. Соответственно значения годового грузопотока от каждого предприятия–производителя Q , составят 7000 TEU в каждый порт, максимальная вместительность контейнерного поезда V , 120 TEU. Полученные результаты представлены на рисунке 3.39.

Пример 2. Пусть весь годовой грузопоток от каждого предприятия распределяется по всем трем портам в соотношении 3:3:1, интервал отправок варьируется от 1 до 30 суток на одну отправку. Соответственно значения годового грузопотока от каждого предприятия–производителя Q , составляют по 3000 TEU в порты Санкт-Петербург и Бронка, а также по 1000 TEU в порт Усть-Луга, максимальная вместительность контейнерного поезда также составит V , 120 TEU. Полученные результаты представлены на рисунке 3.40:

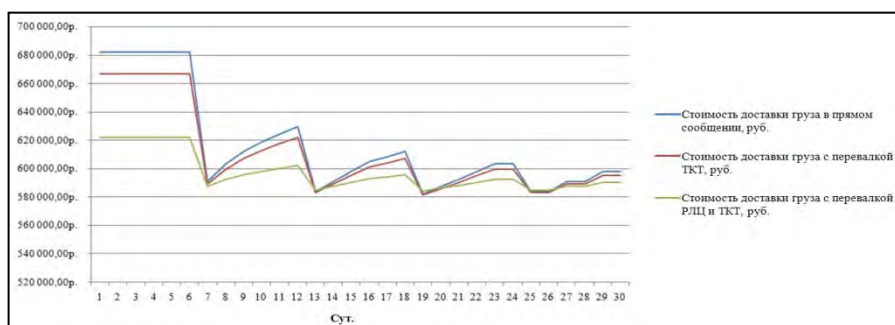


Рисунок 3.39 — Рассчитанная зависимость стоимости доставки груза контейнеров по вариантам от интервала отправок для примера №1

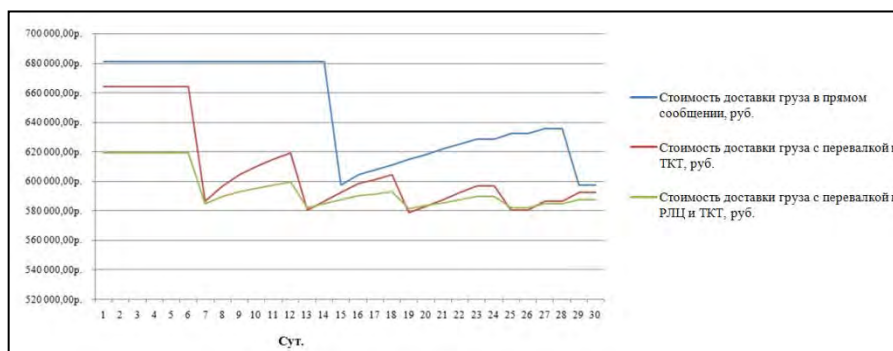


Рисунок 3.40 — Рассчитанная зависимость стоимости доставки груза контейнеров по вариантам от интервала отправок для примера №2

Проведенный анализ полученных результатов позволяет сделать следующие *основные выводы*:

1. Минимализация транспортной составляющей в цене готовой продукции, перевозимой в России в контейнерах в экспортном и в импортном сообщении, возможна только при условии организации внутренних перевозок контейнеров через морские порты и терминалы посредством высокоэффективной наземной системы грузораспределения, опирающейся на центры железнодорожного транзитного сообщения, поезда-шаттлы (осуществляющие функции фидеров для сети), а также ускоренные контейнерные поезда (выполняющие функции линейного сообщения);
2. В случае распределения грузопотока по нескольким портам перевалки использование контейнерных центров грузораспределения позволяет грузоотправителям экономить до 13–15% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок 1–13 суток, до 2–4% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок 13–14 суток и до 8–9% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок более 14 суток.

Выводы по главе

1. Разработанные в диссертационном исследовании математические модели являются адекватными, так как их поведение достаточно точно совпадает с поведением моделируемой системы контейнерного грузораспределения в однотипных условиях;
2. Разработанная и реализованная общая имитационная модель системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов является валидной и позволяет с высокой точностью определять состав, показатели и свойства инфраструктурных объектов, перегрузочного оборудования и транспортных средств для обслуживания задаваемых контейнеропотоков;

3. Разработанный в исследовании алгоритм выбора местоположения узлов контейнерного грузораспределения опирается на интегрированный показатель оценки привлекательности района для расположения узла грузораспределения в рамках проектируемой сети;
4. Разработанные модели и алгоритм позволяют синтезировать итоговую методику проектирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, которая является практическим инструментом;
5. Проведенные в диссертации исследования позволили оценить экономический эффект от перехода на высокоэффективную систему контейнерного грузораспределения в рамках имеющейся транспортной сети в Российской Федерации – распределения грузопотока по нескольким портам перевалки с использованием контейнерных центров грузораспределения позволяет грузоотправителям экономить до 13–15% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок 1–13 суток, до 2–4% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок 13–14 суток и до 8–9% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок более 14 суток.

Заключение

В результате проведенных исследований достигнута основная *цель диссертационного исследования* – удалось разработать инструменты для повышения эффективности процесса грузораспределения морских контейнерных терминалов за счет проектирования рациональной системы управления. В процессе исследования были сделаны следующие *основные выводы*:

Развитие диверсифицированной системы контейнерного грузораспределения требует огромных инвестиций, а от момента приложения усилий по ее созданию до выхода на полную мощность проходят годы. Развитие наземной сети грузораспределения силами исключительно собственников портов и терминалов таит в себе угрозы перехода крупной части доходов портов в наземную сеть при получении портами крупных обременений. Развита сеть грузораспределения морского порта должна, в первую очередь, наоборот, оптимизировать работу порта и быть механизмом вознаграждения клиентов и собственников, а также становиться функциональной частью транспортной системы более высокого уровня.

Основной целью инвестиций портов в развитие наземной сети грузораспределения является стремление сгенерировать и привлечь грузопотоки, однако полное управление грузопотоками портам не гарантируется. Основным двигателем процесса регионализации портов и терминалов, т.е. создания высокоэффективной наземной системы контейнерного грузораспределения, является рынок. Однако во многом регионализации зависит от политических условий, т.к. морские порты в основном полагаются на государственное финансирование.

Что касается морских портов и контейнерных терминалов Российской Федерации, то отечественные порты на сегодняшний день по экономическим и географическим причинам не могут служить мировыми портами-хабами. При этом создание на базе отечественных портов даже региональных хабов связано со значительными рисками. Некоторые крупные морские порты России могут послужить центрами для регионализации, что, в общем, отвечает требованиям сегодняшнего отечественного рынка потребления и производства.

Необходимо симметричное развитие внутренней контейнерной инфраструктуры и объектов в припортовой и тыловой зоне. Повысить количество контейнеров, вывозимых из портов в регионы России, помешает дефицит необходимой внутренней региональной инфраструктуры. Соответственно необходимо строительство региональных центров, распределяющих контейнеропотоки. Привлечение железнодорожного транспорта к обработке грузопотоков контейнеров в крупнейших портах и контейнерных терминалах России является единственным возможным и необходимым решением для создания высокоэффективной системы управления контейнерным грузораспределением.

Мировой опыт регионализации морских портов и построения высокоэффективных систем грузораспределения морских контейнерных терминалов диктует основные требования к составу элементов и структуре их взаимодействия в рамках обработки экспортных и импортных грузопотоков. Предлагаемые в исследовании основные функциональные элементы в системе железнодорожного распределения контейнеропотоков – тыловой контейнерный терминал, распределительный логистический центр, терминал-сателлит.

Железнодорожное сообщение между морскими портами, тыловыми контейнерными терминалами, региональными распределительными логистическими центрами и сателлитами в системе целесообразно организовать следующими видами железнодорожного сообщения – ускоренные контейнерные поезда (УКП) и шаттл-трейны (ШТ, передаточные поезда).

Оптимальным инструментом для получения необходимой информации для проектирования и управления грузораспределением морских контейнерных терминалов, наземных систем грузораспределения и распределительных логистических центров является их моделирование и проведение экспериментов с моделями для получения комплексных результатов. Для моделирования системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов целесообразно использовать дискретно-событийное моделирование. В диссертационном исследовании разработана имитационная модель контейнерного распределения для обоснования структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов.

Модель является математически корректным инструментом для выбора той или иной структуры сети грузораспределения контейнерных терминалов, исходя из имеющихся объемов перевозимого груза и стоимости доставки определенной партий груза тем или иным видом транспорта до терминала.

Разработанная в диссертационном исследовании общая имитационная модель проектируемой системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов является адекватным прикладным инструментом, позволяющим быстро рассчитывать необходимые параметры и характеристики моделируемой системы. Модель позволяет комплексно оценить взаимное влияние каждого участка системы грузораспределения на работу всей системы в целом, а также получить сведения о необходимом для заданного грузооборота составе и производительности транспорта, инфраструктуры и перегрузочных устройств.

В исследовании экспериментально определено, что математические модели являются адекватными, так как их поведение достаточно точно совпадает с поведением моделируемой системы контейнерного грузораспределения в одинаковых условиях, а также валидными. Модели позволяют с высокой точностью определять состав, показатели и свойства инфраструктурных объектов, перегрузочного оборудования и транспортных средств для обслуживания задаваемых контейнеропотоков.

Проведенные исследования позволили оценить и экономический эффект от перехода на проектируемую систему контейнерного грузораспределения — распределение грузопотока по нескольким портам перевалки с использованием контейнерных центров грузораспределения (тыловых контейнерных терминалов, распределительных логистических центров) позволяет грузоотправителям экономить до 13–15% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок 1–13 суток, до 2–4% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок 13–14 суток и до 8–9% от стоимости отправки грузовой партии при интервале отправок более 14 суток.

Список сокращений и условных обозначений

TEU	– англ. « <i>twenty foot equivalent unit</i> », двадцатифутовый эквивалент (ДФЭ), двадцатифутовый универсальный морской контейнер;
STS	– англ. « <i>ship to shore</i> », причальный козловой кран с контейнерными захватами;
RTG	– англ. « <i>rubber tired gantry</i> », складской козловой кран на колесном ходу с контейнерными захватами;
RMG	– англ. « <i>rail mounted gantry</i> », складской козловой кран на рельсовом ходу с контейнерными захватами;
RS	– англ. « <i>reachstacker</i> », складской контейнерный погрузчик с контейнерными захватами и телескопической стрелой;
СМО	– система массового обслуживания;
ГО	– грузоотправитель;
МП	– морской порт (морской контейнерный терминал);
ППС	– припортовая железнодорожная станция;
ПП	– подъездные железнодорожные пути;
СС	– сортировочная железнодорожная станция;
СН	– железнодорожная станция назначения;
СО	– железнодорожная станция отправления;

ГП	– грузополучатель;
ТКТ	– тыловой контейнерный терминал, то же, что и «сухой порт», «dry port»;
РЛЦ	– распределительный (региональный) логистический центр, то же, что и «распыляющий хаб», «distribution center», «центр железнодорожного траншипмента»;
СТ	– сателлит, то же, что и «местный грузовой терминал», «satellite»;
ИДК	– инспекционный досмотровый комплекс таможенной службы;
СВХ	– склад временного хранения;
КПП	– контрольно-пропускной пункт;
СЦБ	– железнодорожная сигнализация, централизация и блокировка;
УКП	– ускоренный контейнерный поезд, то же, что и «блок-поезд», «блок-трейн», линейный маршрутный контейнерный поезд;
ШТ	– шаттл-трейн, то же, что и поезд-шаттл, передаточный или вывозной поезд;
МГФ	– морской грузовой фронт контейнерного терминала;
ЖГФ	– железнодорожный грузовой фронт контейнерного терминала;
АГФ	– автомобильный грузовой фронт контейнерного терминала;
НГФ	– наземный грузовой фронт контейнерного терминала (объединяет железнодорожный и автомобильный грузовой фронт).

Список принятых терминов

<i>Адекватность модели</i>	— доказательство соответствия модели изучаемому объекту в смысле выбранных для моделирования свойств самого объекта;
<i>Аналитические методы</i>	— методы, основанные на формульном (интенсивном) представлении знаний;
<i>Валидность модели</i>	— правдоподобие результатов моделирования реальным результатам функционирования объекта;
<i>Вместимость склада</i>	— размер склада;
<i>Входной порт</i>	— то же, что и порт «gateway», крупнейший порт морского побережья, способный принимать работающие на связанном с ним направлении крупнейшие суда, преобладающей долей операции, в котором является транзит грузов;
<i>Закрытая система</i>	— система, не взаимодействующая с внешней средой;
<i>Имитационное моделирование</i>	— направление современной дискретной математики, имеющее целью создание динамических моделей сложных систем;
<i>Импорт</i>	— передача грузов из тыловых территорий на море;
<i>Интервал заходов судов</i>	— средний интервал между заходом в порт судов;
<i>Интермодальные перевозки</i>	— способ перевозки, связанный с несколькими видами транспорта, под ответственностью и организацией одного перевозчика, по единым транспортным документам и в виде неделимой грузовой единицы;

<i>Калибровка модели</i>	— установление значения параметров модели для приведения ее в соответствие с конкретным отображаемым объектом;
<i>Контейнеризация</i>	— перевозка генерального и иного груза в универсальных контейнерах;
<i>Контейнерный терминал</i>	— совокупность зданий, сооружений и оборудования, предназначенные для приема, выдачи, складирования, растарки - затарки, ремонта, обслуживания, репозиционирования и прочих операций, связанных с контейнерным грузопотоком;
<i>Размер склада</i>	— максимальная физическая вместимость, измеренная в TEU;
<i>Срок хранения</i>	— средний срок пребывания контейнеров на терминале по производственно-технологическим, административным и коммерческим причинам;
<i>Сухой порт</i>	— тыловой инфраструктурный элемент контейнерной системы грузораспределения, выполняющий функции удаленного морского порта для клиента;
<i>Теория массового обслуживания</i>	— раздел теории вероятности и математической статистики, имеющий дело с задачей обслуживания потока заявок;
<i>Транзит</i>	— передача грузов с моря на тыловые территории (импорт) и обратно (экспорт);
<i>Фидерный порт</i>	— концевой порт зарождения или поглощения морских грузопотоков, связанный с портом – хабом;

Хаб

— крупнейший порт побережья, способный принимать работающие на связанном с ним направлении крупнейшие суда, преобладающей долей операции в котором является траншипмент;

Экспорт

— передача грузов с моря на тыловые территории.

Список литературы

1. Агеев, А. П. Методика и поэтапная процедура технологического проектирования контейнерных терминалов/ А. П. Агеев, С. И. Кондратьев // Межвузовский сборник научных трудов, выпуск №13. – СПб: ГМА, 2008. – С. 29-35.
2. Агеев, А. П. Интеллектуальные транспортные системы как направление развития контейнерных грузоперевозок/ А. П. Агеев, А. Л. Кузнецов // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – № 1(59). – С. 6-9.
3. Архангельский, С. В. Региональные транспортные консолидирующие центры – опорные узлы системы международных транспортных коридоров/ С. В. Архангельский, В. И. Арсёнов, Г. Р. Хасаев. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2004. – 352 с.
4. Бакаев, В. Г. Эксплуатация морского флота/ В. Г. Бакаев. – М.: Транспорт, 1966. – 221 с.
5. Басов, Е. А. К определению стратегии хранения груза на терминале/ Е. А. Басов// Транспортное дело России. – 2013. – №6-ч.2. – С. 58-60.
6. Белоногова, М. М. Современное состояние и тенденции развития транспортно - логистической инфраструктуры в России/ М. М. Белоногова// Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф.Решетникова. – 2012. – № 7. – С. 49-55.
7. Белый, О. В. Транспортные сети России (системный анализ, управление, перспективы)/ О. В. Белый, С. А. Попов, Р. Э. Францев. – СПб.: СПГУВК, 1999. – 147 с.
8. Бродецкий, Г. Л. Применение метода аналитической иерархии для оптимизации места расположения регионального распределительного центра/ Г. Л. Бродецкий// Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – №6. – С. 26-34.
9. Валинский, О. С. Проблемы создания транспортно–логистической системы России/ О. С. Валинский, А. Л. Кузнецов, А. В. Семичев // Морские порты. – 2012. – № 8. – С. 28-30.

10. Васильев, А. М. История Отечественного судостроения: в 5 т. Судостроение в послевоенный период – 5 т./ А. М. Васильев. – СПб.: Судостроение, 1996. – 544 с.
11. Ветренко, Л. Д. Управление работой морского порта/ Л. Д. Ветренко. – М.: Строка, 2000. – 264 с.
12. Володькина, Л. В. Международные контейнерные перевозки и проблемы оптимизации в условиях финансовой нестабильности/ Л. В. Володькина// Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2009. – № 3. – С. 85-88.
13. Воскресенская, Т. П. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе/ Т. П. Воскресенская// Вестник УрГУПС. – 2010. – № 3(7). – С. 74-84.
14. Гагарский, Э. А. Транспортно-технологические системы – основа развития транспорта/ Э. А. Гагарский// Морские вести России. – 2012. – № 4. – С.8-9.
15. Гагарский, Э. А. Тенденции развития контейнерных транспортно-технологических систем на современном этапе/ Э. А. Гагарский, С. А. Кириченко, М. Ф. Трихунов// Бюллетень транспортной информации. – 2011. – № 2 (188). – С. 3-7.
16. Гагарский, Э. А. Перевозки грузов укрупненными местами в смешанных международных сообщениях/ Э. А. Гагарский, И. А. Грабарник. – М.: Транспорт, 1980. – 324 с.
17. Гаджинский, А. М. Выбор места расположения склада/ А. М. Гаджинский// Справочник экономиста. – 2004. – № 8. – С. 33-37.
18. Гай, В. А. Выбор местоположения контейнерного терминала в Санкт-Петербургском транспортном узле методом анализа иерархий/ В. А. Гай, Д. В. Малахов// Логистика и управление цепями поставок. – 2011. – №42. – С. 55-59.
19. Галин, А. В. Сухие порты как часть транспортной инфраструктуры. Направления развития/ А. В. Галин// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. – 2014. – № 2(24). – С. 87-92.

20. Горынцев, М. Н. Имитационное моделирование порта Тамань/ М. Н. Горынцев// Материалы 2-й Межвузовской науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2014. – С. 35-43.
21. Гусев, С. А. Проблемы определения местоположения склада/ С. А. Гусев// Логистика. – 2011. – №2. – С. 53–55.
22. Егоров, И. В. Что на практике представляет собой выбор места под склад/ И. В. Егоров// Логистика. – 2011. – №2. – С. 56–57.
23. Елисеев, С. Ю. Логистика управления экспортными грузопотоками, следующими через морские порты/ С. Ю. Елисеев// Наука и техника транспорта. – 2005. – № 1. – С. 6-12.
24. Кайгородцев, А. А. Проблема выбора места размещения логистического распределительного центра. Существующие подходы к решению/ А. А. Кайгородцев, А. Н. Рахмангулов// Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2011. – №1. – С. 39–48.
25. Канторович, Л. В. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков/ Л. В. Канторович// Экономика и математические методы. – 2011. – №4. – С. 53-74.
26. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5/ Ю. Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 400 с.
27. Кириченко, А. В. Порт и железная дорога: проблемы технологических взаимоотношений/ А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов// Системный анализ и логистика. – 2013. – № 9. – С. 17–20.
28. Кириченко, А. В. Обоснование исходных данных при моделировании вывоза контейнеров из порта на тыловой терминал с применением технологии «блок-трейн»/ А. В. Кириченко, М. О. Малыхин// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. – 2015. – № 4 (32). – С. 22-30.
29. Коган, Л. А. Контейнерная транспортная система/ Л. А. Коган, Ю. Т. Козлов, М. Д. Ситник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 254 с.

30. Козлов, П. А. Имитационная экспертиза – необходимая процедура в составе транспортного проекта/ П. А. Козлов// Железнодорожный транспорт. – 2010. – №3. – С.52-53.
31. Комаров, А. В. Взаимодействие железнодорожного и водного транспорта в смешанных сообщениях/ А. В. Комаров. – М.: Речной транспорт, 1957. – 212 с.
32. Королева, Е. А. Организация международных транспортных систем. Методические указания/ Е. А. Королева, В. Н. Лебедев. – СПб.: ГУВК, 2006 . – 155 с.
33. Король, Р. Г. Технология функционирования Владивостокского транспортного узла при наличии мультимодального терминала «сухой порт»/ Р. Г. Король, А. С. Балалаев// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 5(27). – С. 92-101.
34. Кузнецов, А. Л. Тенденции развития портовых контейнерных терминалов/ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин// Контейнерный бизнес. – 2006. – № 4(06) – С. 86-91.
35. Кузнецов, А. Л. Морские и сухопутные порты в новой мировой системе грузораспределения/ А. Л. Кузнецов// Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – № 1(55) – С. 9-12.
36. Кузнецов, А. Л. Транспорт России как часть мировой системы/ А. Л. Кузнецов, О. И. Титберия// Морские порты России. – 2002. – №5 (33). – С. 18-20.
37. Кузнецов, А. Л. Показатели производительности на практике/ А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Морские порты. – 2014. – №10 (121). – С. 24-28.
38. Кузнецов, А. Л. Генезис агентного имитационного моделирования в ходе развития методов технологического проектирования портов и терминалов/ А. Л. Кузнецов// Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – № 4(58). – С. 3-7.
39. Кузнецов, А. Л. Формализация задачи выбора транспортно-технологической схемы контейнерного терминала/ А. Л. Кузнецов, О. И. Титбе-

рия// Труды Международной научно-практической конференции KDS-2001 «Знание-диалог-решение», СПб. – 2001. – С. 409-415.

40. Кузнецов А. Л. Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке/ А. Л. Кузнецов, А. В. Галин// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 2(30). – С. 141-153.

41. Кузнецов, А. Л. Методология технологического проектирования современных контейнерных терминалов/ А. Л. Кузнецов. – СПб.: Феникс, 2008. – 132 с.

42. Кузнецов, А. Л. Оборудование контейнерных терминалов/А. Л. Кузнецов, А. Л. Степанов. – СПб: Фреш Эйр СПб, 2001. – 101 с.

43. Кузнецов, А. Л. Метод анализа вложенности данных (DEA) как инструмент изучения эффективности производственных объектов/ А. Л. Кузнецов// Транспортное дело России. Специальный выпуск №8. Инновационные проекты на транспорте. – 2006. – С. 32-36.

44. Кузнецов, А. Л. Базовая модель логистических потоков через контейнерный терминал/ А. Л. Кузнецов, Е. Ю. Козлова// Эксплуатация морского транспорта. – 2008. – № 2(52). – С. 18-20.

45. Кузнецов, А. Л. Логистическая среда и транспортные узлы/ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин// Контейнерный бизнес. – 2009. – №10 (22). – С. 30-35.

46. Кузнецов, А. Л. Методы предпроектной оценки параметров контейнерного терминала. Научно-технические проблемы проектирования, строительства и эксплуатации объектов водного транспорта: Сб. науч. тр./ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин. – СПб.: Судостроение, 2005. – С. 178-184.

47. Кузнецов, А. Л. Тенденции развития портовых контейнерных терминалов/ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин// Контейнерный бизнес. – 2006. – №4 (06). – С. 86-91.

48. Кузнецов, А. Л. Автоматизация контейнерных терминалов/ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин, И. В. Серова// Контейнерный бизнес. – 2008. – №4 (16). – С. 17-21.

49. Кузнецов, А. Л. Тенденции развития портовых контейнерных терминалов/ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин, И. В. Серова// Контейнерный бизнес. – 2006. – №4 (06). – С. 86-91.
50. Кузнецов, А. Л. Генезис агентного имитационного моделирования в ходе развития методов технологического проектирования портов и терминалов/ А. Л. Кузнецов// Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – № 4. – С. 3-7.
51. Кузнецов, А. Л. Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий/ А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин, Я. Б. Спасский// Эксплуатация морского транспорта. – 2011. – № 1. – С.3-8.
52. Кузнецов, А. Л. Расширение возможностей нормативного расчета технологических параметров контейнерных терминалов/ А. Л. Кузнецов// Эксплуатация морского транспорта. – 2011. – № 1. – С.19-22.
53. Кузнецов, А. П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах/ Кузнецов, А.П. – ВИНТИ РАН, 2002. – 276 с.
54. Кузнецов, А. П. Пути решения транспортных проблем мегаполисов/ А. П. Кузнецов, И. Г. Морчиладзе, М. М. Соколов. – М.: ВИНТИ РАН, 2011. – 228 с.
55. Куренков, П. В. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление/ П. В. Куренков, А. Ф. Котляренко. – Самара.: СамГАПС, 2002. – 636 с.
56. Ларин, О. Н. Методы размещения сетевых узлов в автотранспортных системах регионов/ О. Н. Ларин// Транспорт Урала. – 2008. – №3. – С.5-9.
57. Левина, М. Л. Контейнерные перевозки/ М. Л. Левина. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 217 с.
58. Липец, Ю. Г. География мирового хозяйства: учебное пособие для студентов/ Ю. Г. Липец, В. А. Пуляркин, С. Б. Шлихтер. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999. – 400 с.
59. Мазур, И. К. Формализация задачи согласованных плановых решений в транспортном узле/ И. К. Мазур// Сб. Управление взаимодействием транспорт-

ных систем. Академия наук СССР. Дальневосточный научный центр. – 1986. – С. 39-51.

60. Максаковский, В. П. Мировое морское судоходство. Географическая картина мира/ В. П. Максаковский. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Кн.1. – 2008. – 495 с.

61. Максимей, И. В. Использование имитационного моделирования для нахождения интегрального максимального потока в транспортной сети региона/ И. В. Максимей// DataRecording, Storage&Processing. – 2008. – № 10. – С. 49-58.

62. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ/ И. В. Максимей. – М.: Радио и связь. – 1983. – 230 с.

63. Максимов, В. В. Государственно-частное партнерство в транспортной инфраструктуре: критерии оценки концессионных ресурсов/ В.В. Максимов. – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – 175 с.

64. Маликов, О. Б. Деловая логистика/ О. Б. Маликов. – СПб: Политехника, 2003. – 230 с.

65. Маликов, О. Б. Склады и грузовые терминалы/ О. Б. Маликов. – М.: АСТ, 2005. – 560 с.

66. Маликов, О. Б. Некоторые показатели контейнерных перевозок/ О. Б. Маликов, И. Ю. Согрин// Сборник «Анализ способов доставки грузов железнодорожным транспортом». – СПб.: Известия ПГУПС, выпуск 2, 2014. – С. 53-58.

67. Межох, З. П. Основные тенденции развития контейнерных перевозок во внутригосударственном и межгосударственном сообщениях/ З. П. Межох, Е. А. Москвой// Наука и техника транспорта. – 2003. – № 4. – С.73-75.

68. Морозова, И. А. Государственно-частное партнерство в развитии транспортной инфраструктуры за рубежом/ И. А. Морозова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2007. – № 11. – С.54-59.

69. Музлова, Г. П. Конкуренция контейнерных терминалов на Балтике/ Г.П. Музлова// ИАА Морские порты. – 2013. – №9. – С. 11-12.

70. Никода, К. В. Текущее состояние и прогноз рынка контейнерных перевозок в России/ К. В. Никода // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – №5 (48). – С. 46-51.
71. Николаева, А. И. Логистические методы и технологии организации функционирования сухих портов/ А. И. Николаева, В. В. Багинова // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2011. – №1. – С. 49-57.
72. Новиков, П. А. Имитационный метод динамического согласования (ИМДС) как аппарат оптимизации сложных технологических процессов на транспорте/ П. А. Новиков // Транспорт Урала. – 2008. – №3 (18). – С.10-12.
73. Осипов, В. Т. Контейнеризация в зарубежных странах: 2-е издание, переработанное и дополненное/ В. Т. Осипов. – М: Наука, 1978. – 277 с.
74. Павленко, С. С. Распределение по видам транспорта импортного контейнеропотока из портов Северо-Западного экономического района России/ С. С. Павленко// Транспортное дело России. – 2014. – № 4 – С. 159-162.
75. Павленко, С. С. История, современное состояние и тенденции развития мировой контейнерной транспортной системы/ С. С. Павленко // Контейнерный бизнес. – 2015. – № 4(66) – С. 4-16.
76. Павленко, С. С. Моделирование сетей контейнерного грузораспределения/ С. С. Павленко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, А. Л. Кузнецов// Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2015. – № 5(33) – С. 5-12.
77. Павленко, С. С. Решение задачи выбора местоположения контейнерных центров грузораспределения/ С. С. Павленко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 4 – С. 93-100.
78. Павленко, С. С. Моделирование технологического взаимодействия морских и тыловых контейнерных терминалов/ С. С. Павленко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2015. – № 6(34) – С. 59-72.

79. Погодин, В. А. Сопоставление технологических схем контейнерных терминалов. Научно-технические проблемы проектирования, строительства и эксплуатации объектов водного транспорта: Сб. науч. тр./ В. А. Погодин. – СПб.: Судостроение, 2005. – 177 с.
80. Погодин, В. А. Пустопорожняя логистика: только в России?/ В. А. Погодин, И. В. Серова, А. Л. Кузнецов// Терминал. – 2004. – №4 (44). – С. 58-59.
81. Погодин, В. А. Инфраструктура порта и ее влияние на конкурентоспособность контейнерных перевозок/ В. А. Погодин, И. В. Серова, А. Л. Кузнецов // Контейнерный бизнес. – 2007. – №4 (10). – С. 70-73.
82. Погодин, В. А. Расчет вместимости портового склада с учетом неравномерности работы смежного транспорта/ В. А. Погодин, Я. Б. Спасский, А. Л. Кузнецов// Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – №4(62). – С. 3-9.
83. Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков/ Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М.: Транспорт, 1987. – 247 с.
84. Прокофьева, Т. А. Реализация транзитного потенциала в разрезе формирования логистической инфраструктуры Азиатской части России/ Т. А. Прокофьева// Прикладная логистика. – 2011. – № 1. – С. 45-57.
85. Романовский, Ф. Д. Контейнерные перегрузочные комплексы/ Ф. Д. Романовский. – М: Мортехинформреклама. – 1992. – 303 с.
86. Романовский, Ф. Д. Контейнерные перевозки: (Техн. средства) / Ф. Д. Романовский, 64 с. ил. 20 см. – М. Знание, 1982 – 217 с.
87. Русинов, И. А. Расчет морского фронта методами имитационного моделирования/ И. А. Русинов, А. Н. Китиков, А. Л. Кузнецов // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – №2(72). – С.3-6.
88. Смехов, А. А. Введение в логистику/ А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1993 – 145 с.
89. Смехов, А. А. Основы транспортной логистики/ А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1995 – 334 с.
90. Снетков, Н. Н. Роль и место новых инновационных технологий (имитационного моделирования) в решении задач на транспорте/ Н. Н. Снетков// Ис-

тория и перспективы развития транспорта на севере России. – 2011. – №1. – С.42-46.

91. Снопков, В. И. Технология перевозки грузов морем/ В. И. Снопков, – М.: Мир и семья. – 2001. – 560 с.

92. Согрин, И. Ю. Анализ организации перевозок грузов через грузовые дворы станций/ И. Ю. Согрин // Логистика. Современные тенденции развития. – 2015. – №4. – С. 339-341.

93. Сотников, Е. А. Железные дороги мира. Из XIX в XXI век/ Е. А. Сотников. – М.: Транспорт. – 1993. – 464 с.

94. Спасский, Я. Б. Дискретно-событийное моделирование в задачах проектирования и эксплуатации автомобильных терминалов/ Я. Б. Спасский, А. Л. Кузнецов, С. В. Бобрышев // Эксплуатация морского транспорта. – 2011. – №2 (64). – С. 8-13.

95. Спасский, Я. Б. Актуальные задачи автоматизации проектирования распределённых человеко-машинных систем на примере портовых терминалов/ Я. Б. Спасский// Научно-технические ведомости СПб ГПУ. – 2012. – №5 (157). – С. 85-88.

96. Спасский, Я. Б. Изучение универсальности применения имитационной модели морского грузового фронта контейнерного терминала/ Я. Б. Спасский// Материалы конференции XXXVIII неделя науки СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 31 с.

97. Степанов, А. Л. Технология и организация перегрузочного процесса/ А. Л. Степанов, О. А. Туаршева. – СПб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова. – 2004. – 72 с.

98. Степанов, А. Л. Проектирование морских терминалов/ А. Л. Степанов, А. Л. Кузнецов, О. И. Титберия // Терминал. – 2002. – № 4-5 (34-35). – С. 26-31.

99. Тараканов, Л. Н. Формирование терминально-распределительных комплексов в системе взаимодействия с интегрированными логистическими платформами морских портов/ Л. Н. Тараканов // Вестник Государственного уни-

верситета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 2 (21). – С. 108-111.

100. Тебеньков, С. А. Грузовые железнодорожные перевозки: современное состояние, динамика и тенденции развития/ С. А. Тебеньков// Вестник Московского экономического института. – 2007. – № 3. – С. 14-15.

101. Устич, П. А. Управление транспортом на основе математического моделирования/ П. А. Устич, А. А. Иванов, В. Г. Мышков, П. И. Садчиков // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №7. – С. 39–43.

102. Фетисов, В. А. Исследование и реализация оптимального варианта работы портовой логистической системы с использованием имитационных моделей систем массового обслуживания/ В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров// Эксплуатация морского транспорта. – 2012. – №3(69). – С. 3-7.

103. Шаров, В. А. Система технологического обеспечения перевозок грузов железнодорожным транспортом в условиях рыночной экономики: дис. ... док. техн. наук : 05.22.08 / Шаров Виктор Александрович. – М., 1994. –347 с.

104. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Концепция сухих портов в мире и в Российской Федерации/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Материалы 2-й Межвузовской науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2014. – С. 76–89.

105. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Базовая модель для оценки экономической эффективности контейнерных терминалов на основе анализа логистических процессов/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Транспортное дело России. – 2013. – №1 (104). – С. 55-57.

106. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Построение функциональной модели склада комплектации/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Транспортное дело России. – 2013. – №4(107). – С. 128-130.

107. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Обоснование концепции «сухого порта» / В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Транспортное дело России. – 2013. – №4. – С. 77-80.

108. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Методика общего решения задачи оптимизации технико-экономических параметров грузового терминала с помощью имитационного моделирования/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – №2(72). – С. 6-8.
109. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Моделирование с целью оптимизации работы склада комплектации/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Транспортное дело России. – 2013. – №4(107). – С. 125-128.
110. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Методика решения общей задачи оптимизации технико-экономических параметров грузового терминала с помощью имитационного моделирования/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – №2(72). – С. 6-8.
111. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Логистика, созвучная времени/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// РЖД-Партнёр. – 2015. – № 4(269). – С. 27.
112. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. «Сухие порты» и их взаимосвязь с морскими терминалами/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Вести морского Петербурга. – 2013. – № 3. – С. 30-31.
113. Щербакова-Слюсаренко, В. Н. Подспорье для порта/ В. Н. Щербакова-Слюсаренко// Грузавтоинфо. – 2012. – №10 (107). – С. 42-47.
114. Щербанин, Ю. Г. Контейнерные перевозки. Настоящее и будущее/ Ю. Г. Щербанин// Логистика и управление. – 2014. – № 6. – С. 11-14.
115. Шишкова, Э. Я. Сухие порты – перспективы/ Э. Я. Шишкова// Логистика и управление. – 2008. – № 4. – С. 35-43.
116. Button, K. Transport policy, in El-Agraa, A.M. (ed.). The European Union: Economics and Policies. Eighth Edition/ K. Button. – Cambridge University Press, №298313. – 2007. – 147 с.
117. Crainica. T. G. Modeling dry-port-based freight distribution planning/ Crainica Teodor Gabriel, Dell'Olmob Paolo, Ricciardi Nicoletta, Sgalambroc Antonino// Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015.– №55.– С. 518-534.

118. Cobbold, I. The Development of the Balanced Scorecard as a Strategic Management tool/ I. Cobbold, G. Lawrie // Working paper submitted for publication to PMA conference. – 2002. – C. 124–136.
119. Levinson, M. The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger/ M. Levinson// Published by Princeton University Press and copyrighted. – 2006. – 228 c.
120. Notteboom, T. The relationship between seaports and intermodal hinterland in light of global supply chain/ T. Notteboom // University of Antwerp, Belgium. Discussion paper. – 2008. – №10. – 87 c.
121. Notteboom, T. Containerization, box logistics and global supply chains: the integration of ports and inner shipping networks/ T. Notteboom, J.- P. Rodrigue. – Maritime Economics and Logistics. – 2008. – №10. – C. 152-174.
122. Notteboom, T. Port regionalization: towards a new phase in port development/ T. Notteboom, J.- P. Rodrigue. – Maritime Policy and Management. – 2005. – №32. – C. 297-313.
123. Parmenter, D. Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPI's/ D. Parmenter. – New Jersey, USA: John Wiley & Sons, inc. – 2007. – 233 c.
124. Qianwen, L. Efficiency Analysis of Container Ports and Terminals/ L. Qianwen// Centre for Transport Studies Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering University College London. – 2010. – 206 c.
125. Robinson, R. Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm/ R. Robinson. – Maritime Policy and Management. – 2002. – № 29. – C.241-255.
126. Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems: 3rd Edition (Paperback)/ J.-P. Rodrigue, C. Comtois, B. Slack. – Routledge. – 2013 – 416 c.
127. Schruben, L. W. Simulation Modeling with Event Graphs/ L. W. Schruben. – Communications of the ACM. – 2006. – 214 c.
128. Slack, B. Shipping Lines as Agents of Change in the Port Industry/ B. Slack, C. Comtoa, G. Sletmo. – Maritime Policy and Management. – 1996. – 313 c.

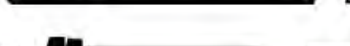
129. Thorensen, C.A. Port designer's handbook/ C. A. Thorensen. – London: Thomas Telford Limited. – 2010. – 554 c.

130. Zhang, C. Dynamic crane deployment in container storage yards/ C. Zhang, Y.-W. Wan, J. Liu, R. Linn// Transportation researches. – 2002. – № 36 (6). – C. 537-555.

Приложения

Приложение А

Размеры и вместимость судов-контейнеровозов

A	Early Containerships (1956-)		137x17x9 (LOA - Beam - Draft) meters	6 containers across 4 containers high on deck	4	6
	500 - 800 TEU		200x20x9		4	8
	Fully Cellular (1970-)		215x20x10	4 containers high below deck	5	10
B					4	
	Panamax (1980-)		250x32x12.5		6	13
	3,000 - 3,400 TEU		290x32x12.5		5	
C	Panamax Max (1985-)				8	13
	3,400 - 4,500 TEU				6	
D	Post Panamax (1988-)		285x40x13		9	15
	4,000 - 5,000 TEU		300x43x14.5		5	
	Post Panamax Plus (2000-)				9	17
E					6	
F	New Panamax (2014-)		366x49x15.2		10	20
	12,500 TEU				6	
G	Post New Panamax (2006-)		397x56x15.5 ; 22-10-8 (not shown)		10	23
	15,000 TEU				8	
	Triple E (2013-)		400x59x15.5			
H						

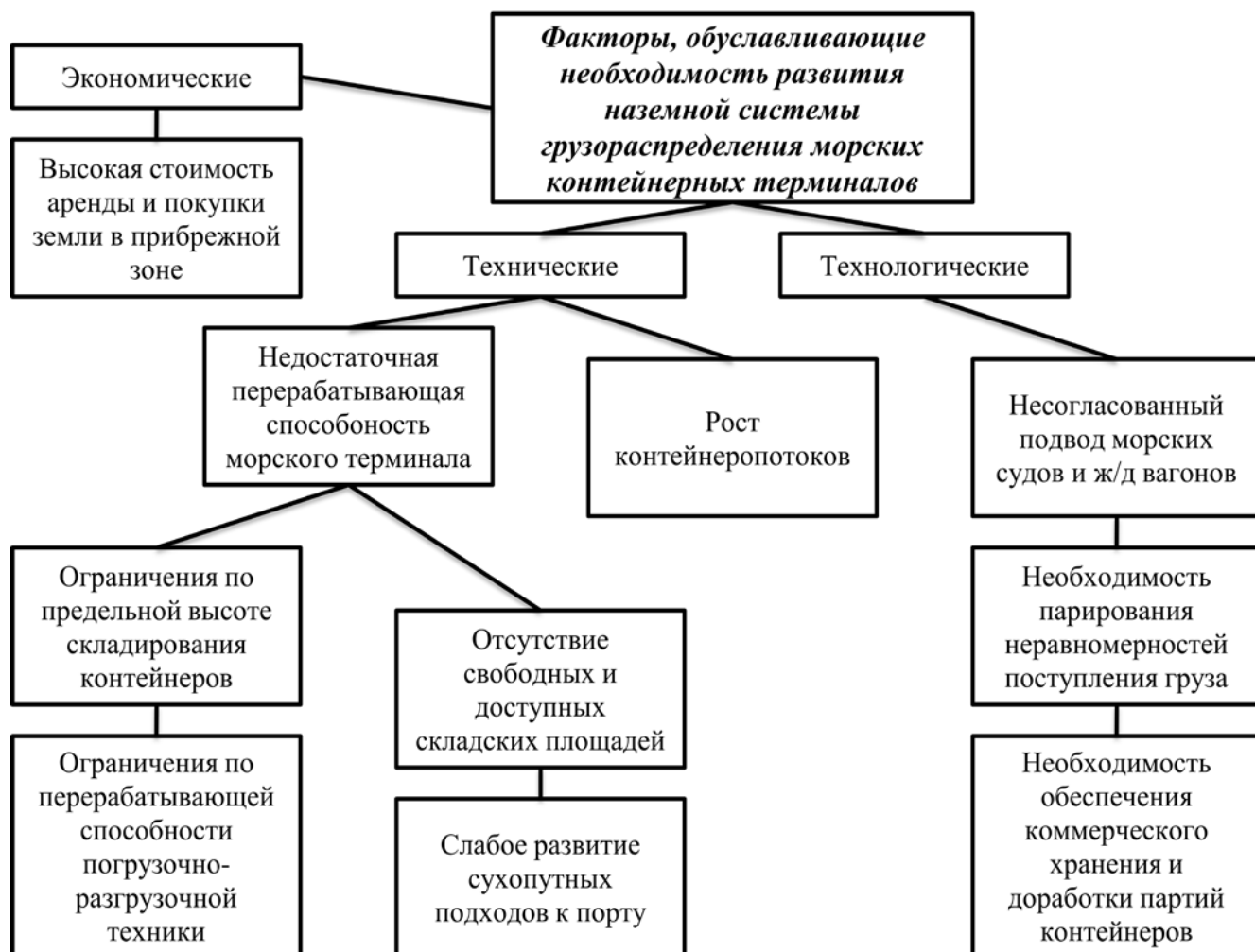
Приложение Б

Тыловые контейнерные терминалы в Российской Федерации (2015)

№	Название терминала	Зона морского порта	Год окончания строительства	Контейнерооборот в год, TEU	Общая площадь терминала, Га	Единовременная вместимость площадки, TEU	Предоставляемый сервис	Таможенный пост на территории терминала
1	<i>"Интертерминал - Предпортовый"</i>	порт Санкт-Петербург	2005	3 500	16,2	1 000	Аренда складов складских комплексах классов А и В, услуги ответственного хранения грузов на рефрижераторных складах; Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов	нет
2	<i>"Предпортовый" / "Модуль - Пулковский"</i>	порт Санкт-Петербург	2006	200 000	72	10 000	Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов; таможенное оформление, страхование, экспедирование, складские работы; Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов	нет
3	<i>"Восход"</i>	порт Санкт-Петербург	2006	200 000	7,3	7 000	Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов; таможенное оформление, страхование, экспедирование, складские работы	нет
4	<i>"Евросиб - Терминал - Шушары"</i>	порт Санкт-Петербург	2008	22 000	4	3 000	Аренда складов складских комплексах классов А и В, услуги ответственного хранения грузов на рефрижераторных складах; Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов	нет
5	<i>"Логистический парк "Янино"</i>	порт Санкт-Петербург	1994	400 000	51,2	10 000	Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов; перегрузка грузов с одного вида транспорта на другой, организация грузовых отправок в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении, железнодорожных и автомобильных перевозок грузов	Таможенный пост "Янинский" Санкт-Петербургской таможни
6	<i>"Логистика - Терминал"</i>	порт Санкт-Петербург	2010	200 000	90	10 000	Хранение больших партий товаров и формирование контейнерных поездов; перегрузка грузов с одного вида транспорта на другой, организация грузовых отправок в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении, железнодорожных и автомобильных перевозок грузов	"Пушкинский" таможенный пост Санкт-Петербургской таможни.
7	<i>"Терминал Рускон"</i>	порт Новороссийск	2002	75 000	14,6	2 500	Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов; перегрузка грузов с одного вида транспорта на другой, организация грузовых отправок в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении, железнодорожных и автомобильных перевозок грузов	"Центральный" пост Новороссийской таможни
8	<i>"Южный Приморский терминал"</i>	порт Владивосток	к 2020 году	420 000	200	15 000	Хранение и обработка контейнерных и прочих грузов; таможенное оформление, страхование, экспедирование, складские работы	нет

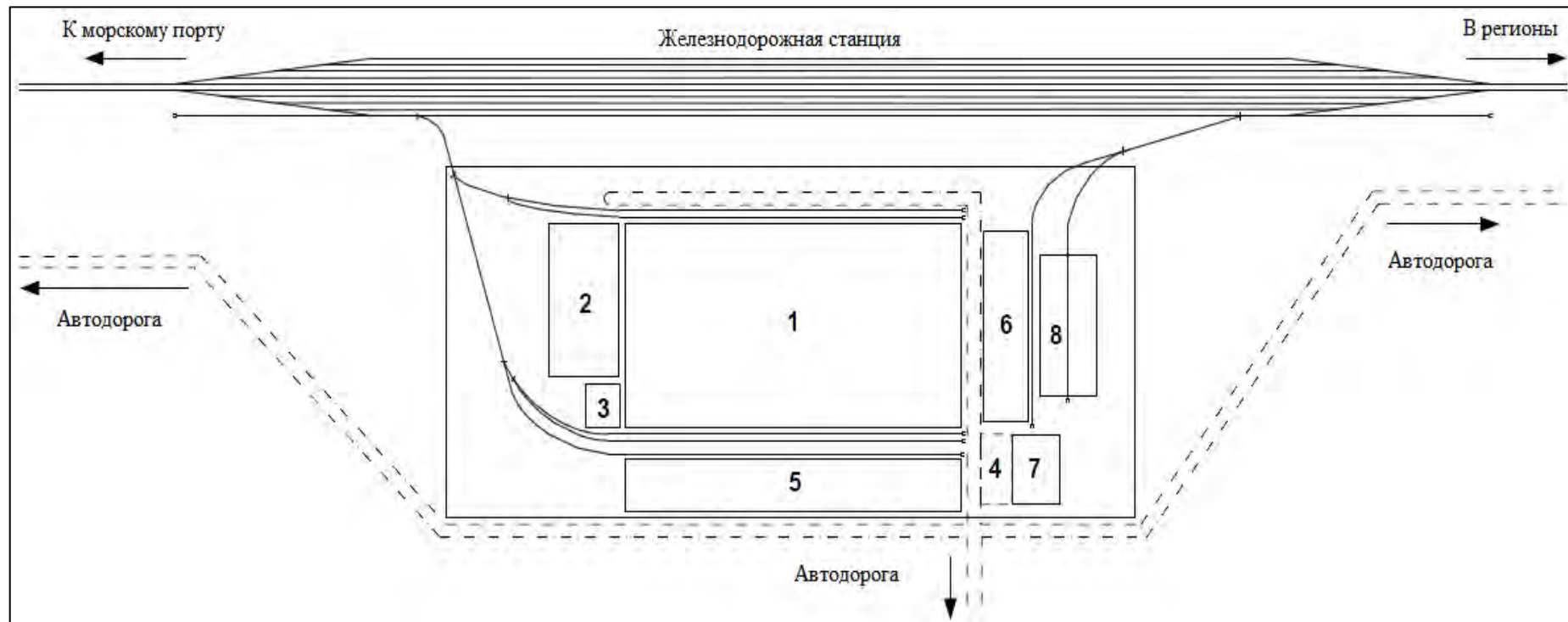
Приложение В

Факторы, обуславливающие необходимость развития наземной системы грузораспределения морских контейнерных терминалов



Приложение Г

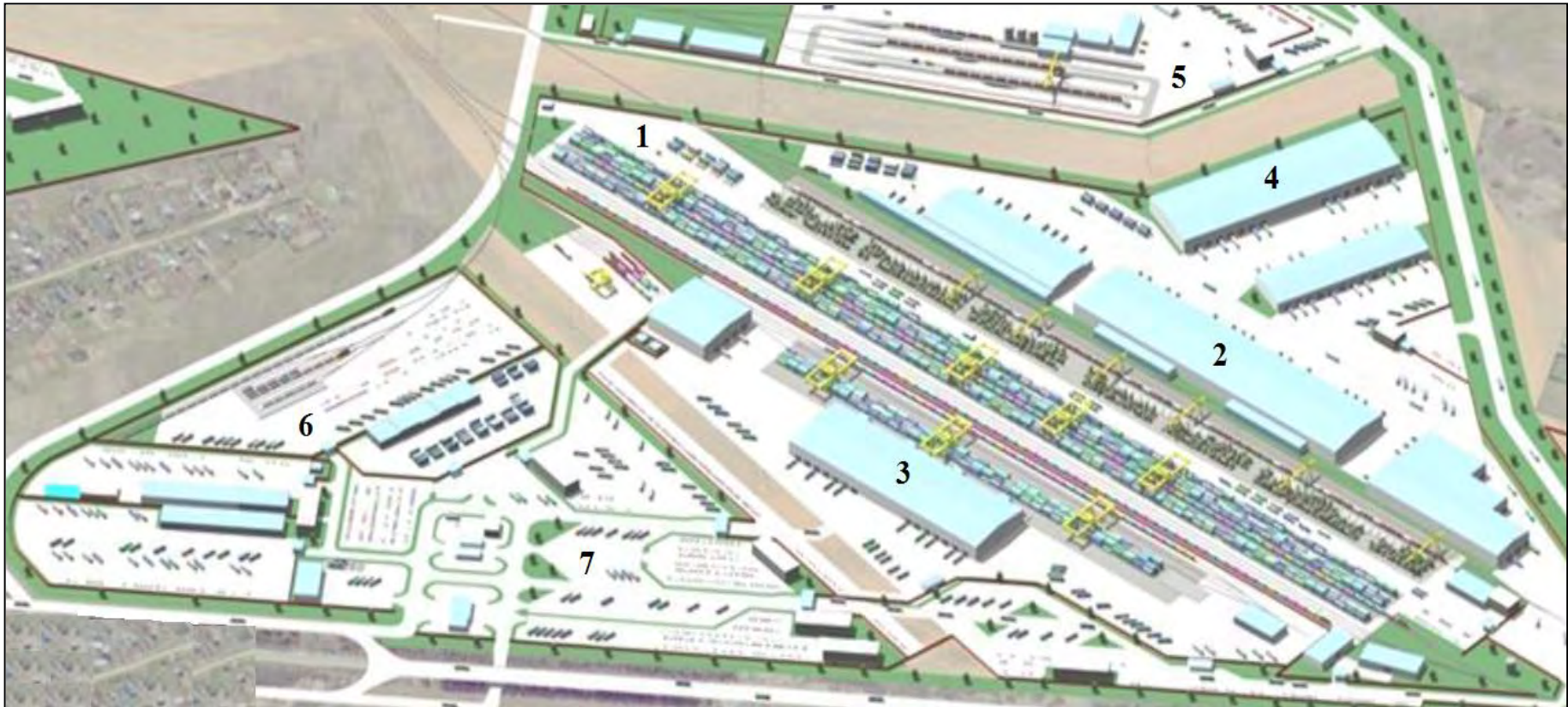
План-схема тылового контейнерного терминала (вариант)



1. Контейнерная площадка;
2. Площадка для таможенного досмотра и установки ИДК;
3. Зона обслуживания контейнеров;
4. Автостоянка;
5. Зона погрузки и склад консолидации;
6. Крытый склад для генеральных грузов;
7. Административное здание;
8. Зона погрузки и склад консолидации генеральных грузов.

Приложение Д

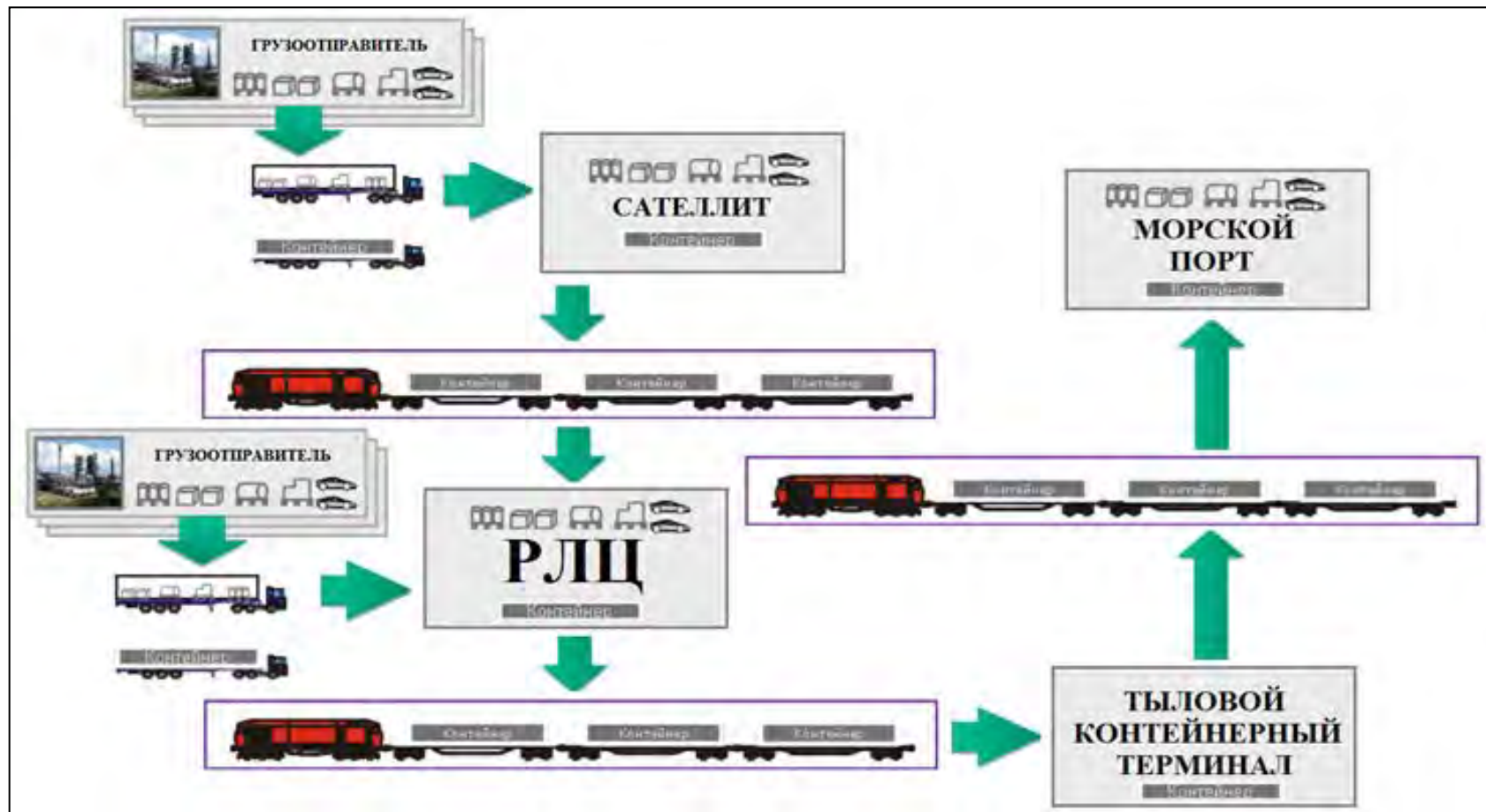
План распределительного логистического центра (РЛЦ) (вариант)



1 – контейнерный терминал; 2 – склад (СВХ) кл. А; 3 – центр таможенного оформления; 4 – склад (СВХ) кл. С; 5 – терминал навалочных и наливных грузов; 6 – терминал обработки тяжеловесных и накатных грузов; 7 – КПП и зона стоянки автотранспорта.

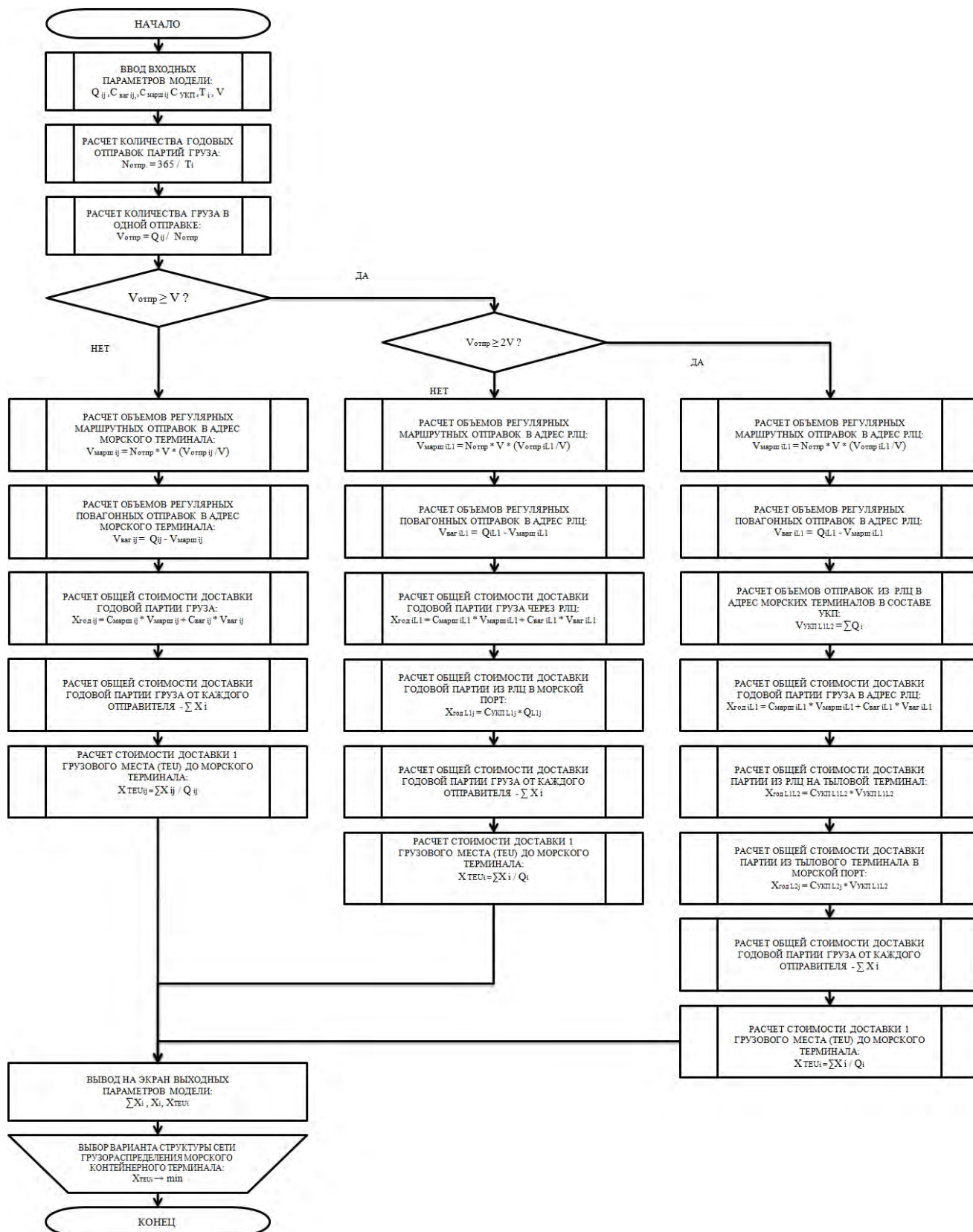
Приложение Е

Проектная схема организации взаимодействия элементов грузораспределения морских контейнерных терминалов



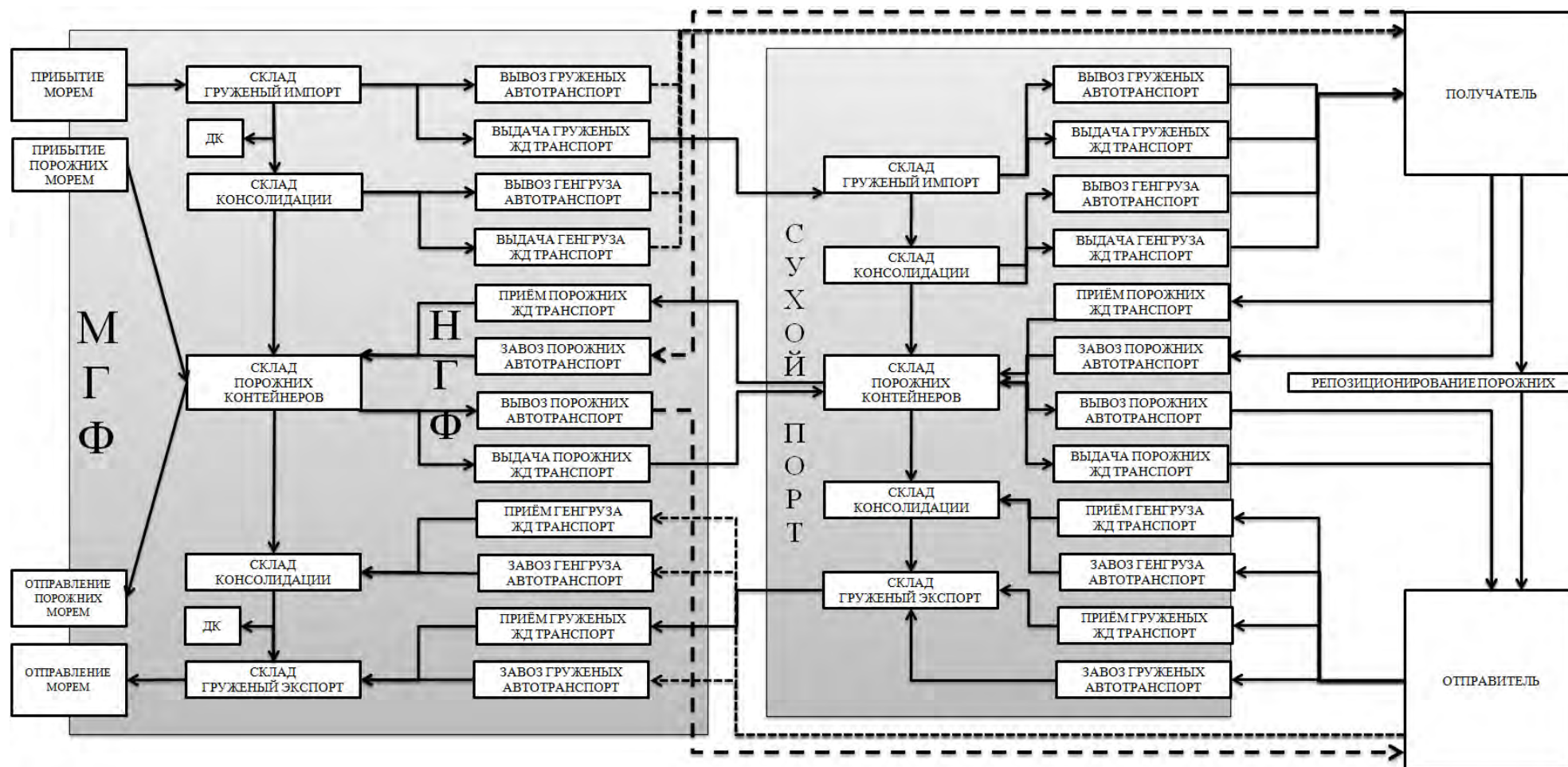
Приложение Ж

Алгоритм работы программы имитационной модели для обоснования структуры сети грузораспределения морских контейнерных терминалов



Приложение И

Общая функциональная схема взаимодействия морского и тылового контейнерных терминалов



Приложение К

Задаваемые параметры работы общей имитационной модели системы управления
грузораспределением морских контейнерных терминалов

№	Символ	Наименование параметра	Ед. изм.	Диапазон
1	$Q_{\text{год}}$	Входящий годовой грузопоток, поступающий в порт морским транспортом на судах-контейнеровозах	TEU/год	1-1000000
2	$n_{\text{год}}$	Годовое количество судозаходов для обслуживания грузооборота	шт.	1-1000
3	$M_{\text{суд}}$	Грузовместимость заходящих в порт судов-контейнеровозов	TEU	1-10000
4	T	Интервал захода в морской порт судов-контейнеровозов	сут	1-30
5	$D_{\text{МП-ТКТ}}$	Расстояние от морского порта (МП) до тылового контейнерного терминала (ТКТ);	км	1-50
6	$D_{\text{ТКТ-РЛЦ}}$	Расстояние от тылового контейнерного терминала (ТКТ) до распределительного логистического центра (РЛЦ)	км	51-2500
7	$D_{\text{РЛЦ-СТ}}$	Расстояние от распределительного логистического центра (РЛЦ) до терминала-спутника (СТ)	км	1-450
8	$S_{\text{МП-ТКТ}}$	Средняя скорость движения поездов - шаттлов (ШТ) на участке от морского порта (МП) до тылового контейнерного терминала (ТКТ)	км/сут	1-450
9	$S_{\text{ТКТ-РЛЦ}}$	Средняя скорость движения ускоренных контейнерных поездов (УКП) на участке от тылового контейнерного терминала (ТКТ) до распределительного логистического центра (РЛЦ)	км/сут	500-1000
10	$S_{\text{РЛЦ-СТ}}$	Средняя скорость движения поездов-шаттлов (ШТ) на участке от распределительного логистического центра (РЛЦ) до терминала-спутника (СТ)	км/сут	1-450

Приложение Л

Задаваемые параметры работы общей модели системы управления контейнерным грузораспределением морских терминалов для блока «Морской порт»

№	Символ	Наименование параметра	Ед. изм.	Диапазон
1	$P_{\text{МГФ}}$	Производительность МГФ контейнерного терминала	TEU/сут.	1-6000
2	n_{STS}	Число STS перегружателей на причале контейнерного терминала	шт.	1-4
3	P_{STS}	Производительность STS перегружателей, установленных на причале МКТ	TEU/сут.	1-800
4	$E_{\text{МП}}$	Емкость склада морского контейнерного терминала	TEU	1-100000
5	$S_{\text{МП}}$	Полезная площадь складирования контейнерного склада	га.	1-100
6	$p_{\text{скл}}$	Допустимая плотность складирования контейнеров на складе МП	TEU/га.	100-1000
7	$pc_{\text{авто}}$	Процент контейнеров вывозимых авто-транспортом	%	1-100
8	$P_{\text{АГФ}}$	Производительность АГФ контейнерного терминала морского порта	TEU/сут.	1-2500
9	n_{RTG}	Число RTG крановых перегружателей на АГФ терминала	шт.	1-10
10	P_{RTG}	Производительность RTG перегружателя, установленного на АГФ МКТ	TEU/сут.	1-250
11	$pc_{\text{жд}}$	Процент контейнеров вывозимых железнодорожным транспортом	%	1-100
12	$P_{\text{ЖГФ}}$	Производительность ЖГФ контейнерного терминала	TEU/сут.	1-2500
13	n_{RMG}	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ терминала	шт.	1-10
14	$n_{\text{жд пут}}$	Число ж/д путей на ЖГФ контейнерного терминала	шт.	1-10
15	P_{RMG}	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ терминала	TEU/сут.	1-250
16	$M_{\text{ШТ}}$	Грузовместимость ШТ, курсирующего между МП и ТКТ	TEU	1-120
17	$C_{\text{авто}}$	Пропускная способность автодорог на подъездах к МП	авто/сут.	1-1000
18	$C_{\text{жд}}$	Пропускная способность ж/д путей на подъездах к МП	поезд/сут.	1-15

Приложение Л (продолжение)

Задаваемые параметры работы общей модели системы управления контейнерным грузораспределением морских терминалов для блока «Тыловой терминал»

№	Символ	Наименование параметра	Ед. изм.	Диапазон
1	$P_{ЖГФ}$	Производительность ЖГФ контейнерного терминала для приема ШТ	TEU/сут.	1-2500
2	n_{RMG}	Число RMG перегружателей на путях контейнерного терминала для приема ШТ	шт.	1-10
3	$n_{жд\ пут}$	Число ж/д путей на ЖГФ контейнерного терминала для приема ШТ	шт.	1-10
4	P_{RMG}	Производительность RMG перегружателей, установленных на ЖГФ для ШТ	TEU/сут.	1-250
5	$E_{ТКТ}$	Емкость склада тылового контейнерного терминала	TEU	1-50000
6	$S_{ТКТ}$	Полезная площадь складирования контейнерного склада тылового терминала	га.	1-75
7	$p_{скл}$	Допустимая плотность складирования контейнеров на складе ТКТ	TEU/га.	100-1000
8	$pc_{авто}$	Процент контейнеров вывозимых авто-транспортом	%	1-100
9	$P_{АГФ}$	Производительность АГФ тылового контейнерного терминала	TEU/сут.	1-2500
10	n_{RTG}	Число RTG крановых перегружателей на АГФ тылового терминала	шт.	1-10
11	P_{RTG}	Производительность RTG перегружателя, установленного на АГФ ТКТ	TEU/сут.	1-250
12	$pc_{жд}$	Процент контейнеров вывозимых железнодорожным транспортом	%	1-100
13	$P_{ЖГФ\ УКП}$	Производительность ЖГФ тылового контейнерного терминала для УКП	TEU/сут.	1-2500
14	n_{RMG}	Число крановых перегружателей над путями ЖГФ тылового терминала	шт.	1-10
15	$n_{жд\ пут.}$	Число ж/д путей на ЖГФ тылового контейнерного терминала	шт.	1-10
16	P_{RMG}	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ терминала	TEU/сут.	1-250
17	$M_{УКП}$	Грузовместимость УКП, курсирующего между ТКТ и РЛЦ	TEU	1-240
18	$C_{авто}$	Пропускная способность автодорог на подъездах к ТКТ	авто/сут.	1-700
19	$C_{жд}$	Пропускная способность ж/д путей на подъездах к ТКТ	поезд/сут.	1-15

Приложение Л (продолжение)

Задаваемые параметры работы общей модели системы управления контейнерным грузораспределением морских терминалов для блока «Распределительный центр»

№	Символ	Наименование параметра	Ед. изм.	Диапазон
1	$P_{ЖГФ\text{ УКП}}$	Производительность ЖГФ логистического центра для приема УКП	TEU/сут.	1-2500
2	n_{RMG}	Число RMG перегружателей на путях логистического центра для приема УКП	шт.	1-10
3	$n_{жд\text{ пут}}$	Число ж/д путей на ЖГФ логистического центра для приема УКП	шт.	1-10
4	P_{RMG}	Производительность RMG перегружателей, установленных на ЖГФ для УКП	TEU/сут.	1-250
5	$E_{РЛЦ}$	Емкость склада распределительного логистического центра	TEU	1-25000
6	$S_{РЛЦ}$	Полезная площадь складирования для склада логистического центра	га.	1-50
7	$p_{скл}$	Допустимая плотность складирования контейнеров на складе РЛЦ	TEU/га.	100-1000
8	$pc_{авто}$	Процент контейнеров вывозимых авто-транспортом	%	1-100
9	$P_{АГФ}$	Производительность АГФ распределительного логистического центра	TEU/сут.	1-2500
10	n_{RTG}	Число RTG крановых перегружателей на АГФ логистического центра	шт.	1-10
11	P_{RTG}	Производительность RTG перегружателя, установленного на АГФ РЛЦ	TEU/сут.	1-250
12	$pc_{жд}$	Процент контейнеров вывозимых железнодорожным транспортом	%	1-100
13	$P_{ЖГФ}$	Производительность ЖГФ логистического центра	TEU/сут.	1-2500
14	n_{RMG}	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ логистического центра	шт.	1-10
15	$n_{жд\text{ пут.}}$	Число ж/д путей на ЖГФ логистического центра	шт.	1-10
16	P_{RMG}	Производительность перегружателей на ЖГФ логистического центра	TEU/сут.	1-250
17	$M_{шт}$	Грузовместимость ШТ, курсирующего между РЛЦ и СТ	TEU	1-120
18	$C_{авто}$	Пропускная способность автодорог на подъездах к РЛЦ	авто/сут.	1-500
19	$C_{жд}$	Пропускная способность ж/д путей на подъездах к РЛЦ	поезд/сут.	1-10

Приложение М

Экранная форма интерфейса пользователя программы общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов (блок «Входные параметры моделирования»)

ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ				
ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ СЕТИ				
№	Наименование параметра	Ед. изм.	Диапазон	Значение
1	Годовой грузооборот морского порта	TEU/год.	1-1000000	180000
2	Годовое количество судозаходов для обслуживания грузооборота	шт.	1-1000	90
3	Грузовместимость заходящих в порт судов-контейнеровозов	TEU	1-10000	2000
4	Интервал захода в морской порт судов-контейнеровозов	сут.	1-30	5
5	Расстояние от морского порта (МП) до тылового контейнерного терминала (ТКТ)	км.	1-50	50
6	Расстояние от ТКТ до РЛЦ	км.	51-2500	1100
7	Расстояние от РЛЦ до терминала-сателлита СТ	км.	1-450	50
8	Средняя скорость движения ШТ на участке от МП до ТКТ	км./сут.	1-450	450
9	Средняя скорость движения УКП на участке от ТКТ до РЛЦ	км./сут.	500-1000	500
10	Средняя скорость движения ШТ на участке от РЛЦ до СТ	км./сут.	1-450	450
БЛОК "МОРСКОЙ ПОРТ"				
1	Средняя производительность МГФ контейнерного терминала	TEU/сут.	1-24000	450
2	Число STS перегружателей на причале контейнерного терминала	шт.	1-4	3
3	Производительность STS перегружателей, установленных на причале МКТ	TEU/сут.	1-800	150
4	Емкость склада морского контейнерного терминала	TEU	1-100000	1500
5	Полезная площадь складирования контейнерного склада	га.	1-100	5
6	Допустимая плотность складирования контейнеров на складе МП	TEU/га.	100-1000	300
7	Процент контейнеров вывозимых автотранспортом	%	1-100	20
8	Производительность АГФ контейнерного терминала морского порта	TEU/сут.	1-2500	100
9	Число крановых перегружателей на АГФ терминала	шт.	1-10	1
10	Пр-ть кранового перегружателя данного типа, установленного на АГФ МКТ	TEU/сут.	1-250	100
11	Процент контейнеров вывозимых железнодорожным транспортом	%	1-100	80
12	Производительность ЖГФ контейнерного терминала	TEU/сут.	1-2500	400
13	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ терминала	шт.	1-10	2
14	Число ж/д путей на ЖГФ контейнерного терминала	шт.	1-10	2
15	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ терминала	TEU/сут.	1-250	100
16	Грузовместимость ШТ, курсирующего между МП и ТКТ	TEU	1-120	60
17	Пропускная способность автодорог на подъездах к МП	авто/сут.	1-1000	200
18	Пропускная способность ж/д путей на подъездах к МП	поезд/сут.	1-15	6

Приложение М (продолжение)

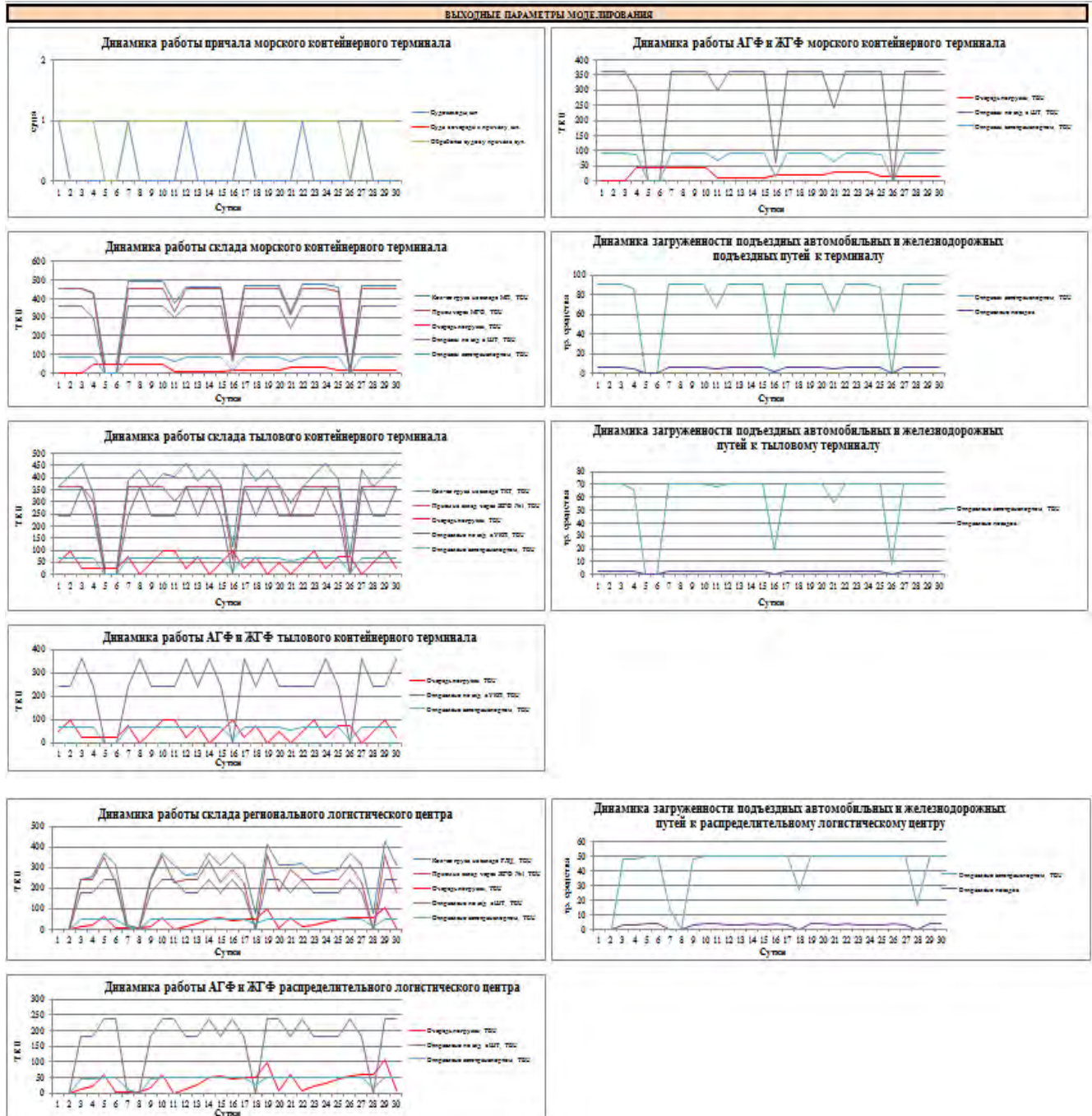
Экранная форма интерфейса пользователя программы общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов (блок «Входные параметры моделирования»)

БЛОК "ТЫЛОВОЙ КОНТЕЙНЕРНЫЙ ТЕРМИНАЛ"				
1	Производительность ЖГФ № 1 ТКТ	TEU/сут.	1-2500	400
2	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ № 1 терминала	шт.	1-10	2
3	Число ж/д путей на ЖГФ № 1 контейнерного терминала	шт.	1-10	2
4	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ терминала	TEU/сут.	1-250	100
5	Емкость склада тылового контейнерного терминала	TEU	1-100000	900
6	Полезная площадь складирования контейнерного склада	га.	1-100	3
7	Допустимая плотность складирования контейнеров на складе ТКТ	TEU/га.	100-1000	300
8	Процент контейнеров вывозимых автотранспортом	%	1-100	20
9	Производительность АГФ контейнерного терминала ТКТ	TEU/сут.	1-2500	70
10	Число крановых перегружателей на АГФ терминала	шт.	1-10	1
11	Пр-ть кранового перегружателя данного типа, установленного на АГФ ТКТ	TEU/сут.	1-250	70
12	Процент контейнеров вывозимых железнодорожным транспортом	%	1-100	80
13	Производительность ЖГФ № 2 контейнерного терминала	TEU/сут.	1-2500	400
14	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ № 2 терминала	шт.	1-10	2
15	Число ж/д путей на ЖГФ № 2 контейнерного терминала	шт.	1-10	2
16	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ № 2 терминала	TEU/сут.	1-250	100
17	Грузовместимость УКП, курсирующего между ТКТ и РЛЦ	TEU	1-120	120
18	Пропускная способность автодорог на подъездах к ТКТ	авто/сут.	1-1000	200
19	Пропускная способность ж/д путей на подъездах к ТКТ	поезд/сут.	1-15	4

БЛОК "РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР"				
1	Производительность ЖГФ № 1 ТКТ РЛЦ	TEU/сут.	1-2500	400
2	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ № 1 РЛЦ	шт.	1-10	2
3	Число ж/д путей на ЖГФ № 1 контейнерного терминала	шт.	1-10	2
4	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ РЛЦ	шт.	1-250	100
5	Емкость контейнерного склада регионального логистического центра	TEU	1-100000	600
6	Полезная площадь складирования контейнерного склада	га.	1-100	2
7	Допустимая плотность складирования контейнеров на складе РЛЦ	TEU/га.	100-1000	300
8	Процент контейнеров вывозимых автотранспортом	%	1-100	20
9	Производительность АГФ контейнерного терминала РЛЦ	TEU/сут.	1-2500	50
10	Число крановых перегружателей на АГФ терминала	шт.	1-10	1
11	Пр-ть кранового перегружателя данного типа, установленного на АГФ РЛЦ	TEU/сут.	1-250	50
12	Процент контейнеров вывозимых железнодорожным транспортом	%	1-100	80
13	Производительность ЖГФ № 2 контейнерного терминала	TEU/сут.	1-2500	240
14	Число крановых перегружателей над путям ЖГФ № 2 терминала	шт.	1-10	2
15	Число ж/д путей на ЖГФ № 2 контейнерного терминала	шт.	1-10	1
16	Производительность крановых перегружателей на ЖГФ № 2 терминала	TEU/сут.	1-250	120
17	Грузовместимость ШТ, курсирующего между РЛЦ и СТ	TEU	1-120	60
18	Пропускная способность автодорог на подъездах к РЛЦ	авто/сут.	1-500	150
19	Пропускная способность ж/д путей на подъездах к РЛЦ	поезд/сут.	1-15	4

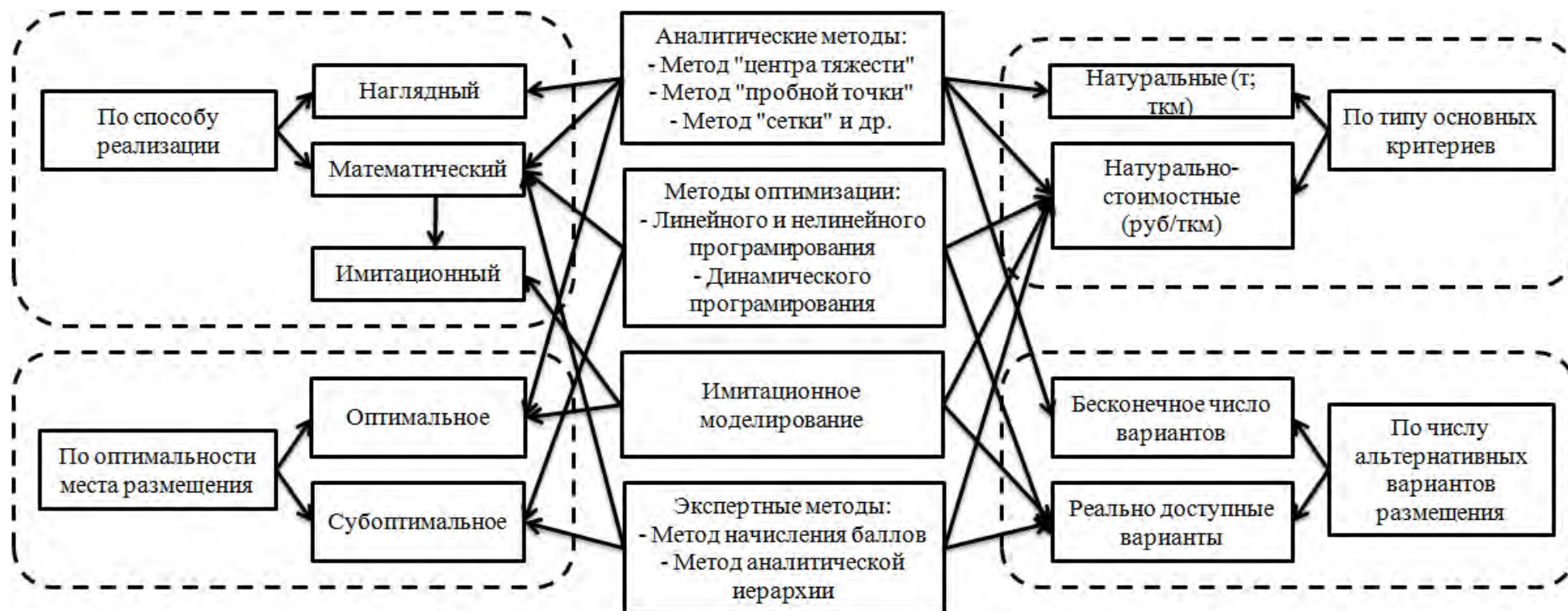
Приложение Н

Блок вывода результатов работы общей имитационной модели системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов



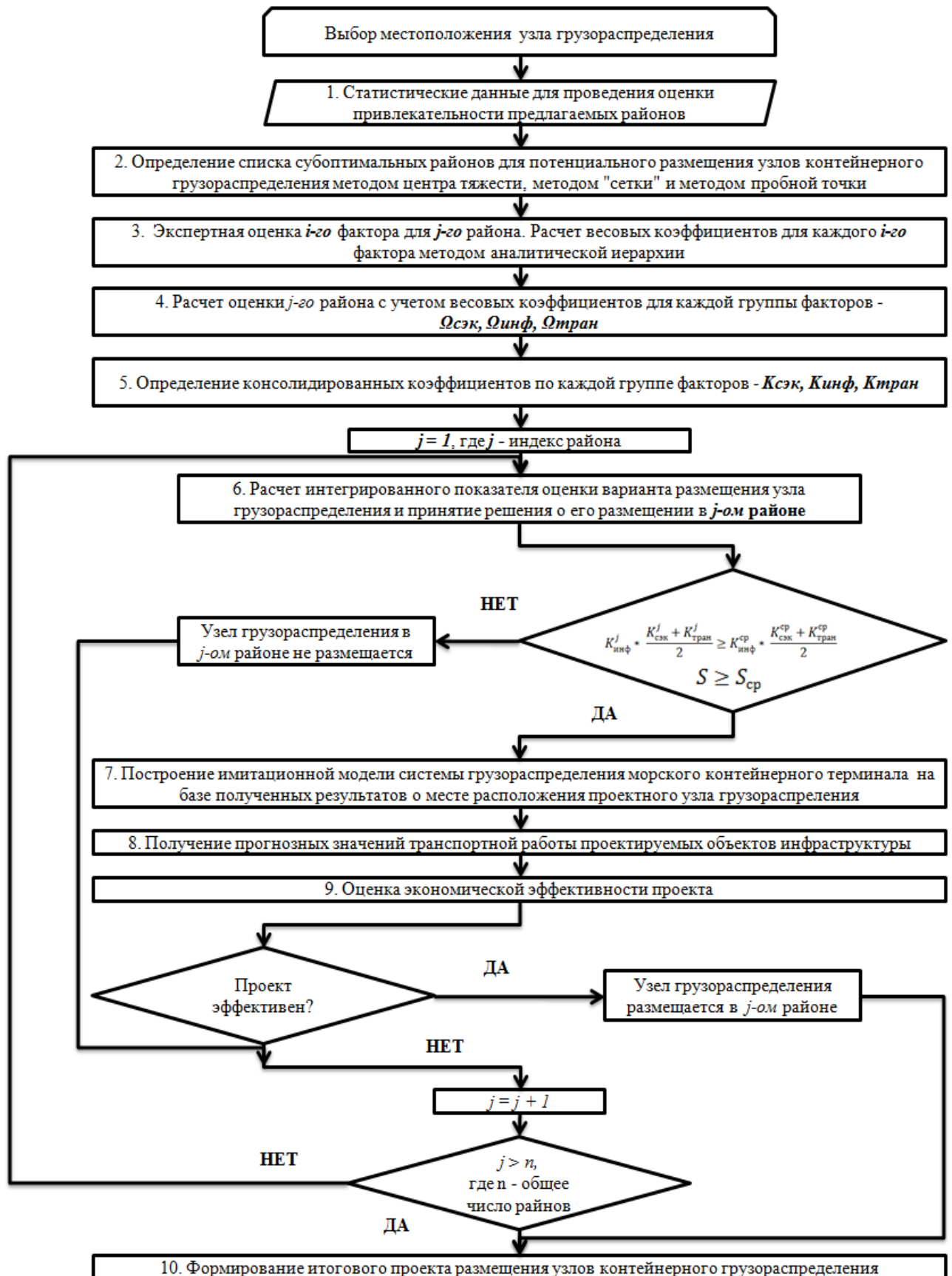
Приложение П

Классификация методов выбора местоположения узлов грузораспределения



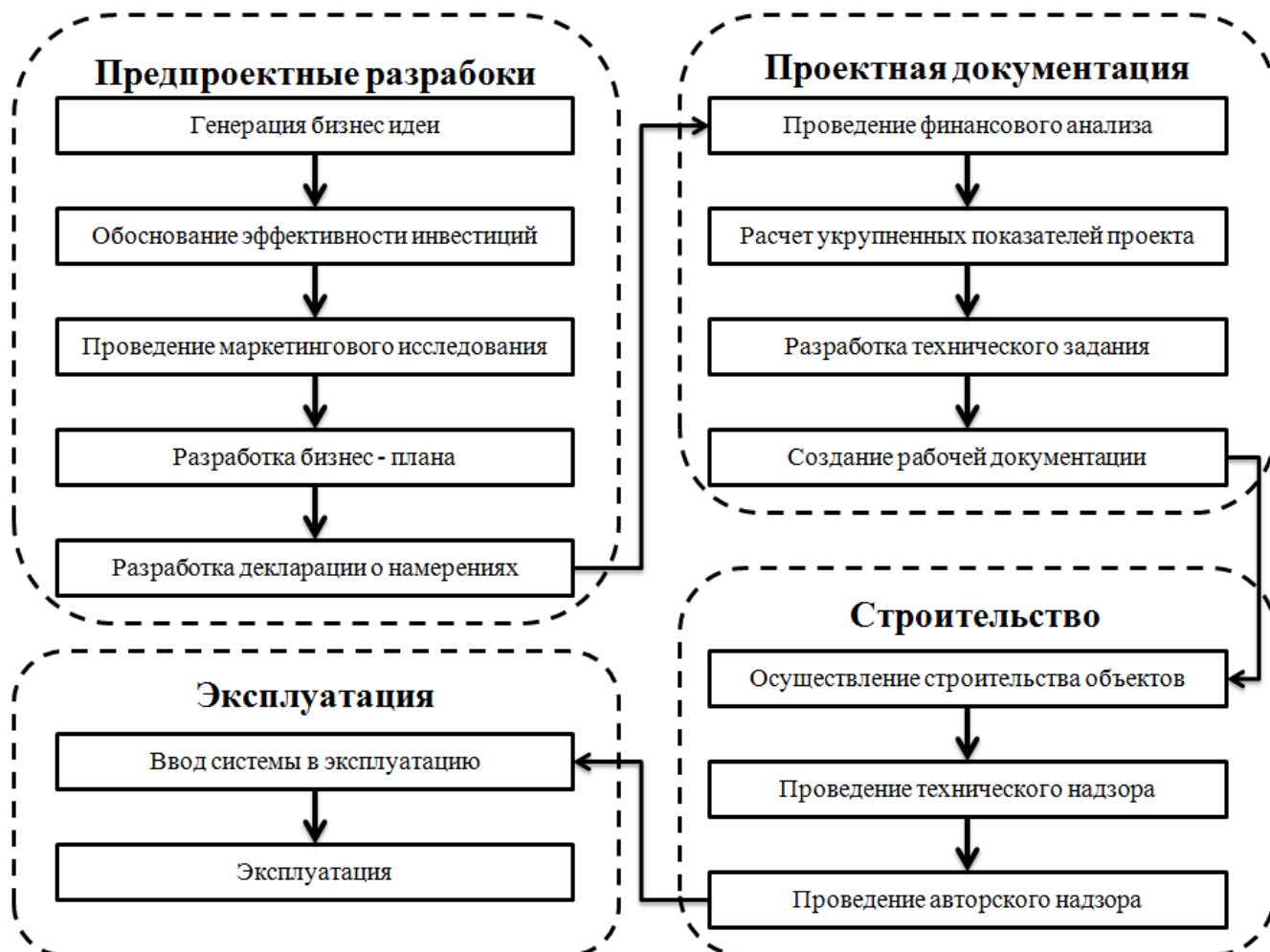
Приложение Р

Алгоритм выбора местоположения узлов контейнерного грузораспределения



Приложение С

Последовательность проектирования объектов транспортной системы в Российской Федерации по состоянию на 2016 г.



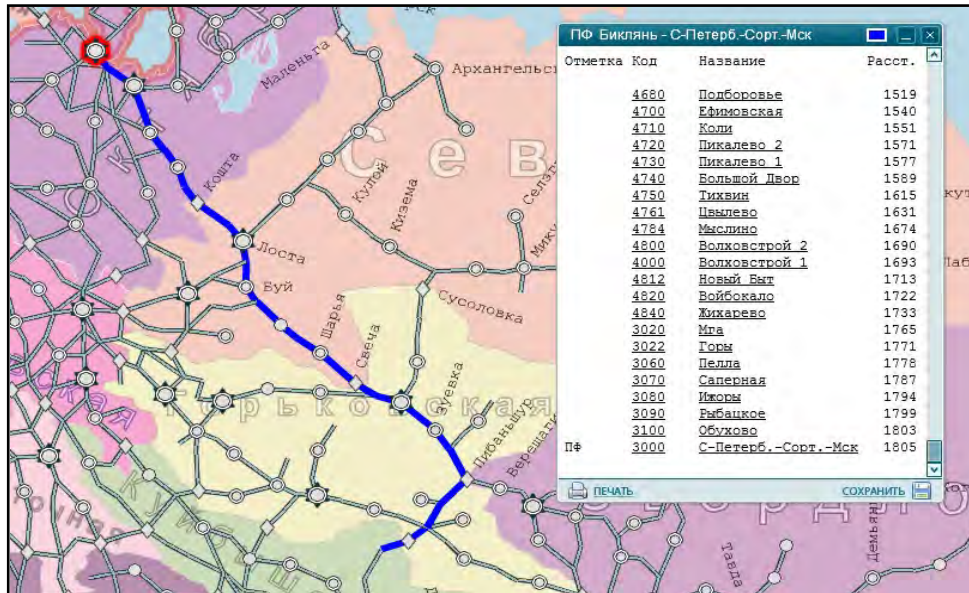
Приложение Т

Результаты интегрированной оценки привлекательности городов России для размещения узлов контейнерного грузораспределения

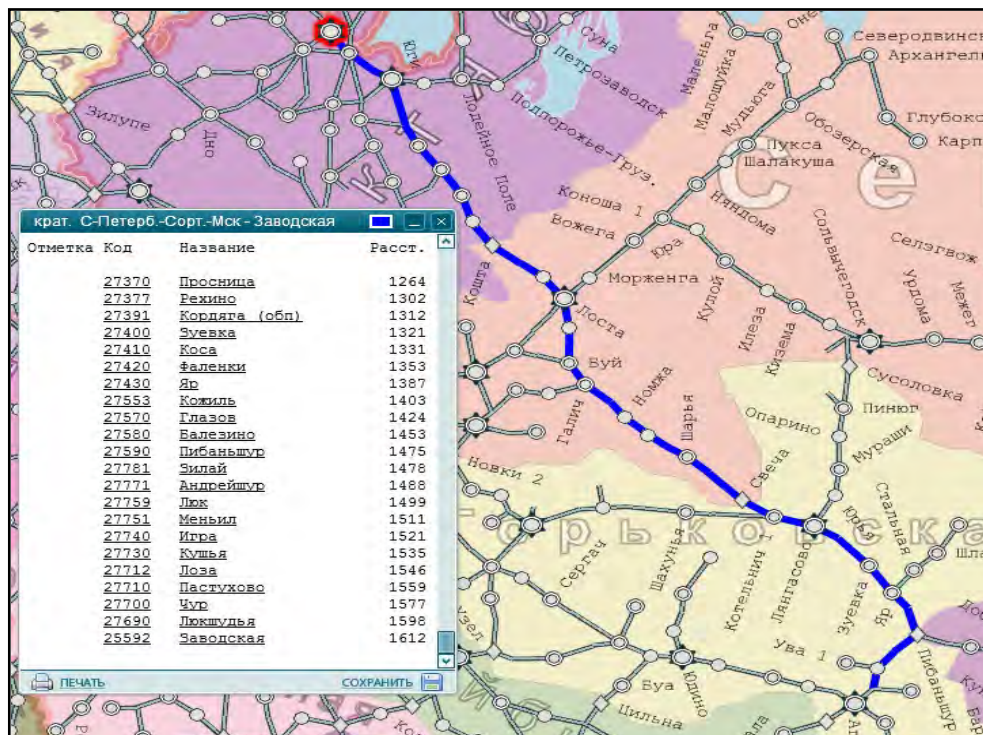
№	Планируемый регион для размещения узла контейнерного грузораспределения	Кинф	Ктр	Кэк	S
1	Москва	0,98	0,77	0,64	0,81
2	Санкт-Петербург	0,78	0,65	0,52	0,66
3	Новосибирск	0,38	0,62	0,49	0,51
4	Екатеринбург	0,36	0,55	0,44	0,46
5	Уфа	0,05	0,41	0,48	0,37
6	Самара	0,51	0,26	0,14	0,34
7	Казань	0,17	0,52	0,19	0,33
8	Ростов-на-Дону	0,36	0,38	0,18	0,32
9	Воронеж	0,16	0,49	0,21	0,32
10	Нижний Новгород	0,16	0,5	0,19	0,32
11	Челябинск	0,01	0,48	0,21	0,30
12	Омск	0,45	0,17	0,19	0,30
13	Пермь	0,43	0,05	0,2	0,28
14	Волгоград	0,45	0,05	0,11	0,27
15	Красноярск	0,45	0,06	0,12	0,27
16	Тюмень	0,35	0,28	0,16	0,27
17	Владивосток	0,41	0,18	0,15	0,27
18	Иркутск	0,33	0,31	0,14	0,27
19	Саратов	0,21	0,37	0,21	0,27
20	Краснодар	0,23	0,32	0,22	0,26
21	Кемерово	0,01	0,23	0,36	0,25
22	Калининград	0,29	0,26	0,17	0,25
23	Белгород	0,28	0,24	0,14	0,23
24	Владимир	0,29	0,14	0,19	0,22
25	Смоленск	0,31	0,15	0,11	0,21
26	Тверь	0,21	0,25	0,13	0,20
27	Великий Новгород	0,32	0,12	0,08	0,20
28	Калуга	0,15	0,22	0,14	0,17
29	Хабаровск	0,17	0,16	0,02	0,14
30	Южно-Сахалинск	0,16	0,15	0,01	0,13

Приложение У

Маршрут перевозки ст. Биклянь – ст. Санкт-Петербург– Сортировочный–
Московский

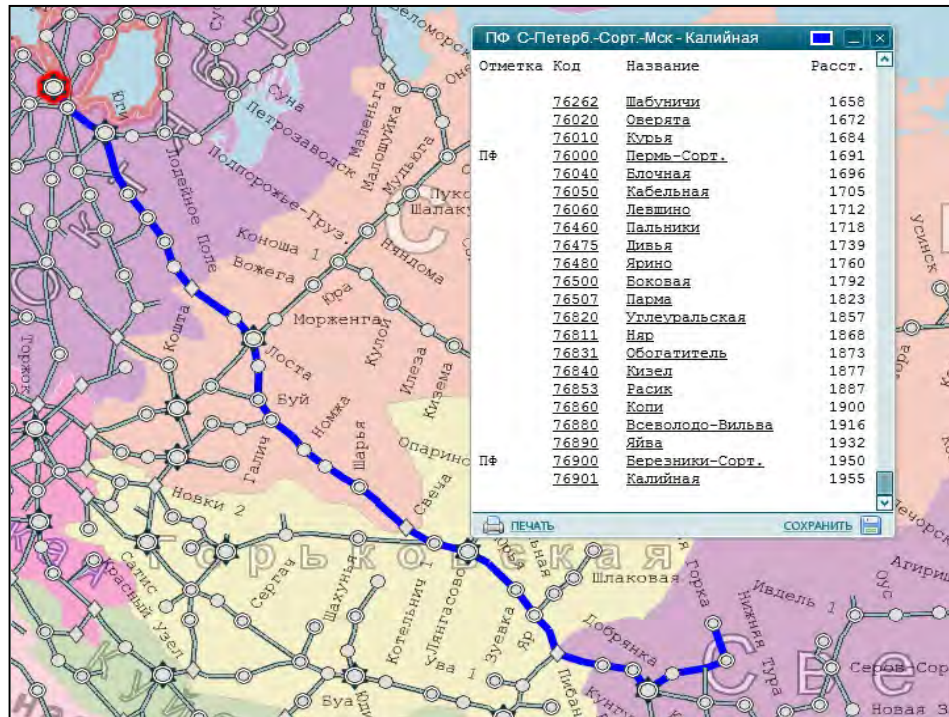


Маршрут перевозки ст. Заводская – ст. Санкт-Петербург– Сортировочный–
Московский

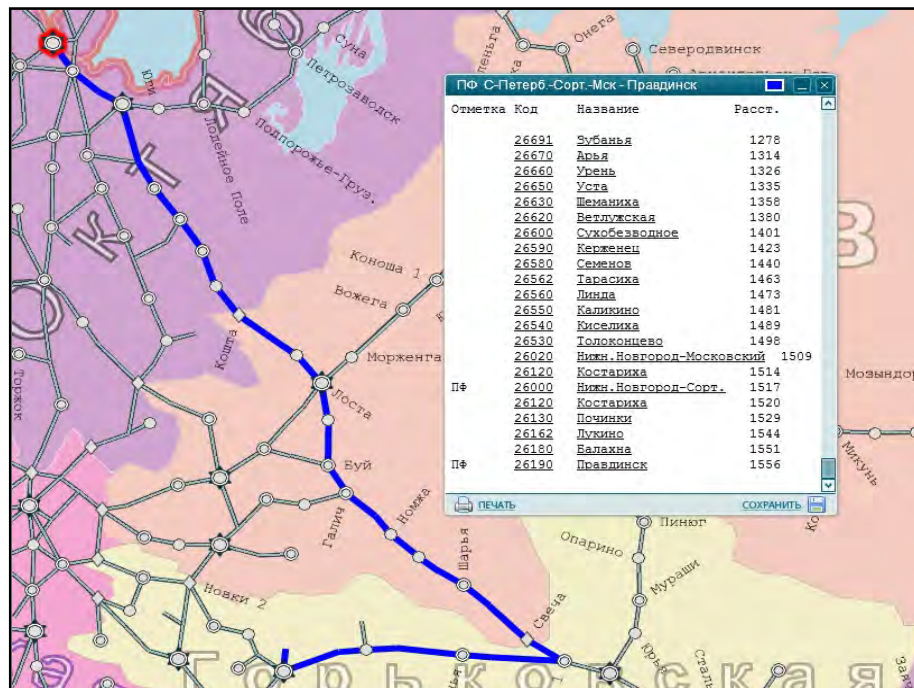


Приложение У (продолжение)

Маршрут перевозки ст. Калийная – ст. Санкт-Петербург– Сортировочный–
Московский

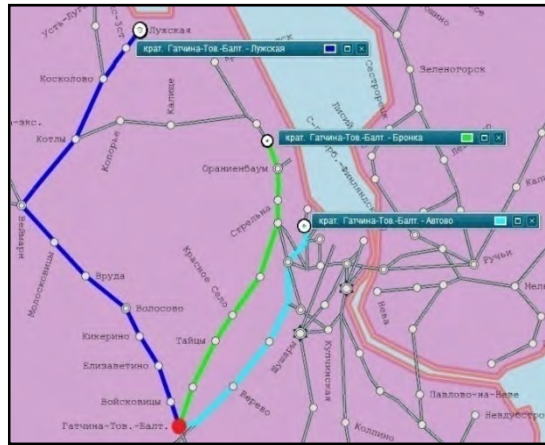


Маршрут перевозки ст. Правдинск – ст. Санкт-Петербург– Сортировочный–
Московский

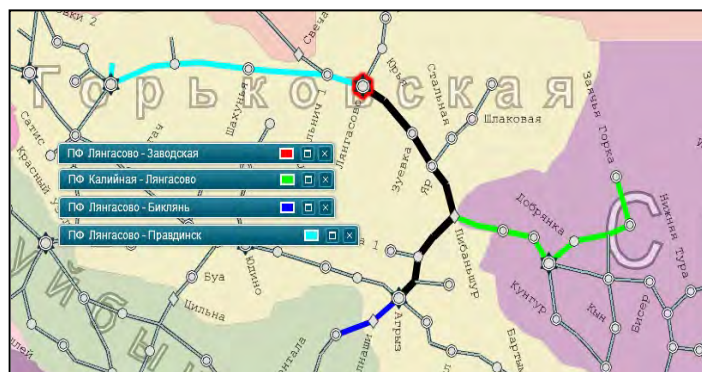


Приложение Ф

Маршрут перевозки из ТКТ в морские контейнерные терминалы



Маршрут перевозки от предприятий–производителей в распределительный логистический центр (РЛЦ)



Маршрут перевозки между узлами грузораспределения

