

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи

*Чан Хао*

**Чан Хао**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ  
ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРНЫХ  
МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ**

Специальность 2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические  
системы страны, ее регионов и городов, организация производства на  
транспорте

Диссертация  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук  
Кочнева Д.И.

Екатеринбург –2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ .....	9
1.1 Ретроспективный анализ развития мировой контейнерной транспортной системы.....	9
1.2 Анализ мирового опыта совершенствования контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте .....	14
1.3 Анализ современных исследований в области повышения эффективности контейнерных поездов.....	18
1.4 Перспективы контейнеризации международных и транзитных перевозок в направлении Китай-Россия .....	22
Выводы к главе 1 .....	29
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В СБОРНЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДАХ .....	31
2.1 Сборный маршрутный контейнерный поезд: актуальность, принципы формирования.....	31
2.2 Технология организации сборных маршрутных контейнерных поездов .	36
2.3 Моделирование продолжительности выполнения грузовых операций на промежуточных станциях маршрута движения сборного маршрутного контейнерного поезда .....	40
2.4 Методика оптимального размещения контейнеров в составе сборного маршрутного контейнерного поезда .....	47
Выводы к главе 2 .....	55
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ СБОРНЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ.....	57
3.1 Графоаналитическая модель маршрутной сети сборных маршрутных контейнерных поездов .....	57

3.2 Модель поиска оптимальных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов.....	62
3.3 Алгоритм планирования сборных маршрутных контейнерных поездов..	68
3.4 Разработка модели поиска оптимальных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов в программной среде MS Excel.....	71
Выводы к главе 3 .....	79
4 АПРОБАЦИЯ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СБОРНЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ....	81
4.1 Апробация алгоритма формирования оптимальных маршрутов сборных маршрутных контейнерных поездов.....	81
4.2 Апробация методики оптимальной расстановки контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде .....	88
4.3 Оценка экономической эффективности системы сборных маршрутных контейнерных поездов .....	93
4.4 Перспективы практической реализации сборных маршрутных контейнерных поездов на основе цифровизации и обмена данными .....	99
Выводы к главе 4.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	109

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Основной тенденцией в развитии мирового транспорта является быстрый рост контейнерных перевозок, которые в максимальной степени соответствуют требованиям рыночной экономики. Преимуществами контейнеризации является снижение общих транспортных издержек, повышение сохранности перевозимых грузов, а также обеспечение логистического сервиса по принципу «от двери до двери».

В международном сообщении конкуренцию железнодорожным контейнерным перевозкам составляет морской транспорт, который обеспечивает наиболее низкую стоимость доставки, а во внутреннем сообщении – автомобильный, его ключевые преимущества: быстрая доставка грузов и более низкие тарифы на расстояния до 2000 км, высокая частота отправок и сервис «от двери до двери». Одним из основных направлений повышения конкурентоспособности контейнерных перевозок по железной дороге является организация маршрутных контейнерных поездов с установленным расписанием. Их преимущества: увеличение скорости перевозки за счет исключения операций переформирования и сортировки в пути следования, более низкие транспортные тарифы, повышение надежности срока доставки. Вместе с тем, объемы отправок прямыми маршрутными поездами остаются сравнительно невысокими, что обусловлено необходимостью накопления контейнеропотока на терминалах или подъездных путях предприятий-грузовладельцев для формирования полносоставного маршрута, кроме того техническая оснащенность контейнерной инфраструктуры в регионах зачастую не позволяет работать с полносоставными контейнерными поездами, осуществлять их формирование и расформирование.

В связи с этим в настоящем исследовании разрабатывается новая технология сборного маршрутного контейнерного поезда, который сочетает

элементы сборных и прямых маршрутов и построен на принципах организации пассажирского движения.

**Степень разработанности темы исследования.** Задачам организации контейнерных поездов по расписанию посвящено большое число современных исследований. Организационным аспектам организации контейнерных перевозок посвящены труды российских ученых: И.М. Басырова, А. С. Балаева, П.В. Баскакова, Д.В. Боцвина, С. Ю. Елисеева, А.Г. Кирилловой, П. А. Козлова, Д.И. Кочневой, П. В. Куренкова, С.Н. Корнилова, Р. Г. Леонтьева, В. С. Лукинско, С. В. Милославской, О.В. Москвичева, Л. Б. Миротина, В. М. Николашина, Р.М. Паршиной, М.Н. Прокофьева, С. М. Резера, О.В. Фридрихсона и др.

В работе учтены результаты исследований по организации контейнерных поездов ученых Китая: Чжоу Ц, Ванг Л., Чжу Х., Ян Х., Ху Г., Сунь В., Ван Х. и других; Европы: Бойзен Н., Сири С., Кабаллини К., Ларсен Р.Б., Руп Дж., Пеш Э. и других; США: Баркан К.П.Л, Гибсон Р., Ланг М-Х. и других.

Данные исследования построены в соответствии с традиционными системами организации движения: сборные поезда с переформированием состава, либо маршрутные поезда без грузовых операций в пути. Перспективы концепции контейнерных поездов на принципах пассажирского движения в настоящее время рассматриваются в ОАО «РЖД», однако на сегодняшний день научные исследования на данную тему отсутствуют. В связи с этим, проблема научного обоснования маршрутных контейнерных поездов в условиях реализации движения по расписанию с попутными погрузочно-выгрузочными операциями обладает научной актуальностью.

**Целью диссертационной работы** является совершенствование организации контейнерных перевозок на основе технологии сборных маршрутных контейнерных поездов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить **следующие задачи:**

1) сформировать понятие сборного маршрутного контейнерного поезда, требования к инфраструктуре и технико-технологические условия его реализации;

2) разработать графоаналитическую модель формирования альтернативных маршрутов сборных маршрутных контейнерных поездов и экономико-математическую модель поиска оптимального маршрута;

3) разработать алгоритм планирования сборных маршрутных контейнерных поездов на заданной транспортной сети;

4) разработать методику оптимального размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

1) сформулировано понятие сборного маршрутного контейнерного поезда и дано графоаналитическое представление технологии;

2) разработана экономико-математическая модель поиска оптимальных маршрутов движения сборного маршрутного контейнерного поезда;

3) разработан алгоритм планирования сборных маршрутных контейнерных поездов на заданной транспортной сети при известном спросе на контейнерные перевозки;

4) разработана методика оптимального размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде с целью минимизации производственного пробега погрузчика при погрузке/выгрузке контейнеров на промежуточных станциях маршрута.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Результаты диссертационной работы направлены на повышение конкурентоспособности железнодорожных контейнерных перевозок за счет ускорения доставки и совершенствования транспортного сервиса.

**Методологической основой** исследования являются современные представления об организации производства на транспорте. В работе использованы методы теории графов, оптимизационные алгоритмы, методы теории

логистики, методы теории вероятностей и математической статистики, методы теории расписаний.

**На защиту выносятся:**

1) авторское представление технологии сборного маршрутного контейнерного поезда, требования к инфраструктуре и технико-технологические условия его реализации;

2) графоаналитическая модель формирования альтернативных маршрутов сборных маршрутных контейнерных поездов и экономико-математическая модель поиска оптимальных маршрутов;

3) алгоритм планирования сборных маршрутных контейнерных поездов на заданной транспортной сети при известном спросе на контейнерные перевозки;

4) методика оптимального размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде с целью минимизации непроизводительного пробега погрузчика при погрузке/выгрузке контейнеров на промежуточных станциях маршрута.

**Обоснованность и достоверность** научных положений и выводов подтверждается результатами апробации разработанных моделей и алгоритмов на примере конкретной транспортной сети доставки грузов из Китая при известном уровне транспортного спроса.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на конференциях и семинарах: Всероссийская научно-техническая конференция «Цифровизация логистических процессов в цепях поставок»; Всероссийская научно-техническая конференция «Транспорт Урала-2020»; Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте. Управление. Экономика. Безопасность»; Международная научно-практическая конференция «Железнодорожный транспорт и технологии (РТТ-2021)»; Конкурс профессионального мастерства «Славим человека труда!» Уральского федерального округа в номинации «Лучший специалист транспортно-логистической отрасли»; 5-я

Международная конференция по организации дорожного движения и транспортным системам – ICTETS2021 (Китай, г. Чунцин); Международная конференция «Транспорт, логистика, принятие решений в рамках новой двухцикловой модели развития» (Китай, г. Нанкин); 17-й Академический симпозиум по системной инженерии «Проектирование систем двойной циркуляции и логистики» (Китай, г. Харбин).

Основные положения и результаты исследования опубликованы в пяти печатных работах, в том числе в трех, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов научных исследований».



# **1 АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ**

## **1.1 Ретроспективный анализ развития мировой контейнерной транспортной системы**

Контейнеризация – одно из направлений технического прогресса в организации перевозок, складировании и хранении грузов, способствующее рационализации и оптимизации транспортных процессов.

Современный контейнер был изобретен американским предпринимателем Малькольмом Маклином в 1955 году [1]. Эта идея возникла, когда в 1937 году Малькольм работал водителем грузовика в собственной автотранспортной компании McLean Trucking. Однажды, приехав в морской порт на разгрузку, он сутки простоял в очереди, ожидая разгрузки и наблюдая за работой грузчиков, которые вручную разгружали одну за другой машины, строили груз, затем поднимали его на борт судна и спускали в трюм. Недостатком такой технологии являлись не только длительные погрузочно-разгрузочные работы, но и вероятность хищения груза. Тогда Малькольма Маклина посетила идея конструкции определенного типа ящика, который было бы удобно перегружать с одного вида транспорта на другой, не раскрывая его.

Хотя сама идея перевозки груза в закрытом ящике была не нова, ему удалось добиться успеха, акцентируя преимущество услуги на том, что она не только защищает груз в процессе его транспортировки, но и позволяет контейнерам неограниченное количество раз перегружаться с одного вида транспорта на другой, оставаясь при этом закрытыми. Главной чертой нового вида доставки стала интермодальность, которая и предопределила его успех.

В 1955 году Маклин создает компанию SeaLand, которая специализируется на интермодальных контейнерных перевозках, патентует конструк-

цию стандартного морского контейнера (разработанного при участии инженера Кейта Тантлингера) и запускает его в производство. В 1966 г. груз, упакованный в контейнеры, впервые пересек Атлантику на борту принадлежавшего SeaLand судна «Fairland». Благодаря новой технологии перевозки груза в контейнере груз был доставлен на 4 недели раньше обычного срока [2].

Важную роль в развитии контейнеризации сыграла война во Вьетнаме. В 1968 году компания Маклина SeaLand заключила с Министерством обороны США договор на доставку контейнеров с грузами для американских солдат по схеме «от двери до двери», то есть, сразу к месту их дислокации. С целью обеспечения этих поставок был создан контейнерный терминал в городе Камрань, однако его мощностей скоро стало не хватать. Тогда терминалы начали появляться в портах союзников США в регионе: на Филиппинах и Тайване, в Японии и Южной Корее.

Еще одной важной датой для контейнеризации стал 1968 год, когда Международная организация по стандартизации утвердила стандарты для основных типов контейнеров, после чего началось массовое производство самих контейнеров, а также транспорта для их перевозки.

В 70-80-х годах XX века сформировались два главных контейнерных маршрута, которые работают и сейчас. Первый связывает страны Азии с США и может проходить через Панамский канал. Второй пролегает между Азией и Европой и проходит через Суэцкий канал [3].

Фундаментальными факторами, оказавшими влияние на развитие контейнерных перевозок, стали одновременно протекающие процессы глобализации и регионализации, перекроившие экономическую карту мира. Так, регионализация способствовала формированию в разных регионах мира так называемых зон свободной торговли – межгосударственных объединений, участники которых договорились о снятии таможенных пошлин на товары друг друга. В качестве примеров можно привести ЕС в Европе, НАФТА в Северной Америке, МЕРКОСУР в Южной Америке, АСЕАН в Юго-Восточной Азии, ЕАЭС на пространстве бывшего Советского Союза и ряд

других. В свою очередь глобализация способствовала мировому разделению труда и выстраиванию товарно-логистических связей между развитыми и развивающимися экономиками.

По мере роста контейнерного потока на рынке крупных контейнерных перевозчиков произошел ряд слияний и поглощений, который привёл к появлению крупнейших транспортных компаний, которые в настоящий момент контролируют большую часть мирового контейнерооборота. Так, в 1999 году компания SeaLand была выкуплена компанией MAERSK. Эта и другие сделки по слиянию и поглощению привели к разделу контейнерного рынка между несколькими сверхкрупными контейнерными компаниями. На данный момент 10 крупнейших компаний контролируют почти 70% мирового контейнерного потока [4]. Также между многими из них действуют соглашения об альянсе, позволяющие использовать мощности друг друга при расчёте оптимальных маршрутов и организации погрузочно-разгрузочных работ.

Динамика развития контейнеризации в мире представлена на рис. 1.1.[1,3].

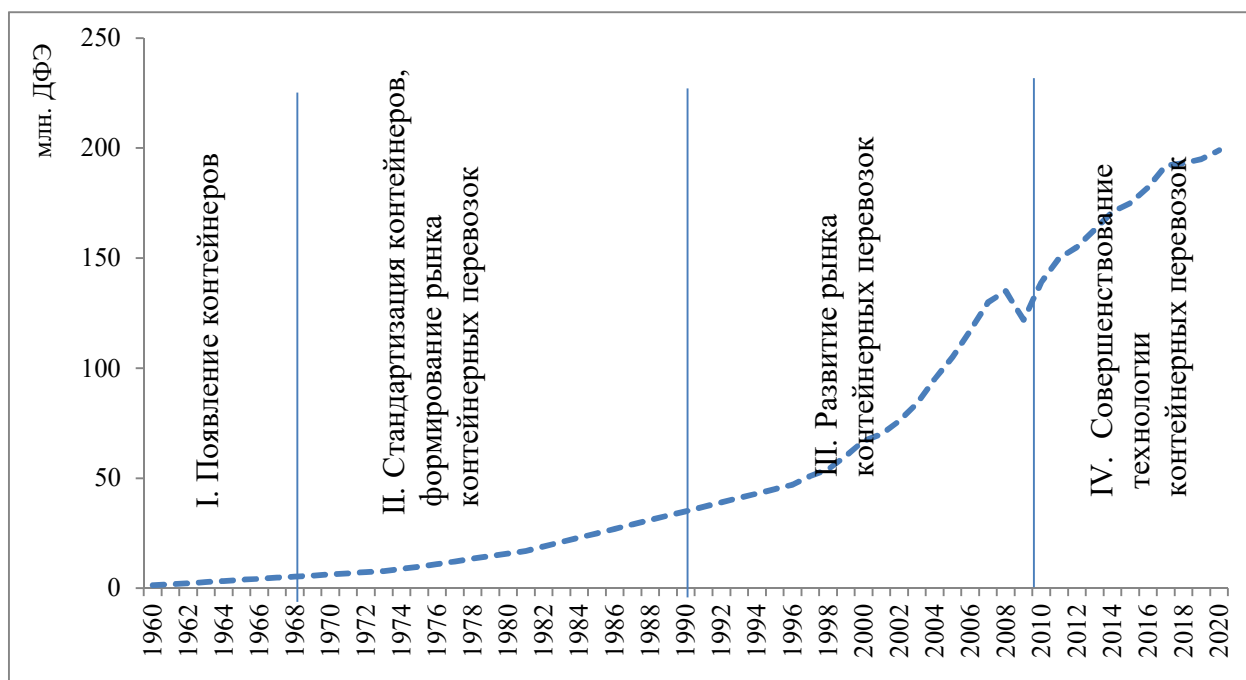


Рисунок 1.1 – Динамика мирового контейнерного рынка и основные этапы контейнеризации

На графике видно, что с внедрением стандартов контейнеров в 1968 году, перевозки начинают расти очень быстрыми темпами.

В 1970 году, в мире насчитывалось всего 75 морских портов, способных обрабатывать контейнеры. В 1980 году портов уже было 269, и объем перевозок возрос до 34,8 млн. TEU. В 2017 году мировые контейнерные перевозки достигли объема 192 млн. контейнеров. Эксперты ожидают в ближайшие десять лет дальнейший рост контейнерных перевозок на уровне 5-10% ежегодно [5–7].

На современном этапе развития мировой контейнерной транспортной системы темпы роста контейнеризации замедляются в связи с насыщением рынка, в связи с этим усилия контейнерного бизнеса, а также ученых-транспортников направлены на дальнейшее совершенствование техники и технологий контейнерных перевозок с целью повышения их эффективности и расширения номенклатуры контейнеропригодных грузов. В числе тенденций последнего десятилетия в этой области следует отметить:

- появление и развитие специализированных контейнеров для перевозки широкой номенклатуры товаров ранее не контейнеризируемых (в том числе балк-контейнеры, танк-контейнеры, рефрижераторные контейнеры, контейнеры-платформы, складные контейнеры и другие);

- развитие SMART-технологий в системе контейнерных перевозок, к ним относятся устройства слежения, устройства мониторинга состояния груза, автоматизированные грузовые терминалы и другое;

- развитие технологий ускоренных маршрутных контейнерных поездов на железнодорожном транспорте с целью повышения конкурентоспособности сухопутной составляющей интермодальной системы перевозок.

Итак, на основе ретроспективного анализа мировой контейнерной транспортной системы [1–4, 6] можем условно выделить четыре этапа контейнеризации. Наименования и ключевые характеристики этапов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Этапы развития мировой контейнерной транспортной системы

Этап	Период	Ключевые характеристики
I. Появление контейнеров	1950-1960 гг.	Появление первых контейнеров, получение патента и запуск в массовое производство Создание первой контейнерной компании
II. Стандартизация контейнеров, формирование рынка контейнерных перевозок	1960-1990 гг.	Появление ISO стандартов контейнеров Появление первых контейнерных терминалов Строительство специализированных судов-контейнеровозов
III. Развитие рынка транспортных услуг в области контейнерных перевозок	1990 -2010 гг.	Возникновение множества операторских, экспедиторских, терминальных контейнерных компаний Развитие конкуренции на рынке Формирование интегрированных логистических цепей контейнерными компаниями.
IV. Современный этап. Совершенствование техники и технологий контейнерных перевозок	2010 г - по настоящее время	Появление и развитие специализированных контейнеров для перевозки широкой номенклатуры товаров Развитие SMART-технологий в системе контейнерных перевозок Развитие технологий ускоренных маршрутных контейнерных поездов на железнодорожном транспорте

Таким образом, процесс контейнеризации, начавшийся в 1955 году, полностью изменил облик мировой торговли. Характерная для контейнеризации модель доставки «от двери до двери» помогла многократно увеличить объем и номенклатуру перевозимых в контейнерах грузов и способствовала появлению глобального рынка товаров.

Благодаря массовому применению крупнотоннажных контейнеров транспорт вышел на принципиально новый уровень стоимости, надежности,

гибкости и скорости транспортировки. Эффекты контейнеризации вышли далеко за пределы транспортной системы. В результате существенного удешевления и ускорения доставки грузов мировая экономика претерпела глубокие изменения. Создание контейнерной системы стало важнейшей предпосылкой возникновения и развития современных глобальных цепей поставок.

## **1.2 Анализ мирового опыта совершенствования контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте**

Железнодорожные контейнерные перевозки являются неотъемлемой частью интермодальной контейнерной системы. С момента появления универсальных контейнеров в 1950-е годы железная дорога является основным способом доставки контейнеров по суше из морских портов в отдаленные регионы.

За длительную историю развития железнодорожных контейнерных перевозок накоплен существенный мировой опыт повышения эффективности контейнерного сервиса.

Одним из наиболее успешных проектов является организация маршрутных контейнерных поездов по расписанию. Отметим, что, как правило, для отправления такого поезда полная загрузка необязательна. Это позволяет повысить частоту курсирования поездов, скорость и надежность времени доставки груза по назначению, а также разгрузить терминальную инфраструктуру. В Европе контейнерные поезда по фиксированным маршрутам и расписанию курсируют как на территории одной страны, так и между странами, в частности между морскими и сухими портами. Так, например, между портом Амстердама и терминалом в Берлине курсируют еженедельные грузовые «шаттлы», соединяя морской порт и сухой порт и обеспечивая регулярные поставки какао [8]. В Германии на регулярной основе дважды в неделю курсирует контейнерный поезд между Гамбургом и Вильгельмсхафеном [9].

На регулярной основе осуществляются перевозки в маршрутных контейнерных поездах из Китая в Европу. На данный момент существует три железнодорожных маршрута (северный, средний и западный) из Китая в Европу через Россию. Традиционно северный маршрут пролегает из города Маньчжурия, самого загруженного сухопутного порта в Северном Китае, через Трансиб в Москву и соединяется со странами Европы. Второй железнодорожный маршрут пролегает из города Эренхот во Внутренней Монголии через Улан-Батор в Монголии в Улан-Удэ в России с выходом на Транссибирскую магистраль. Третий – самый популярный на сегодня маршрут – это китайская железная дорога Лунхай и железная дорога Ланьсинь, выходящая из порта Алашанькоу в Астану, Казахстан и далее в Москву. С 2011 года регулярно курсирует поезд из Чунцина (западный мегаполис Китая) в Дуйсбург (Германия) через Синьцзян-Уйгурский автономный район в Европу. В настоящее время такие маршрутные поезда организованы более чем из 12 китайских городов, таких как Ухань, Сучжоу, Иу, Чжэнчжоу в Европу и насчитывают более 2000 поездов в год [10].

В России во внутреннем сообщении также существует положительный опыт организации регулярных контейнерных поездов. Крупнейшим российским контейнерным оператором ПАО «ТрансКонтейнер» на сегодняшний день организовано 57 регулярных маршрутов контейнерных поездов на наиболее востребованных направлениях [11]. Также ведущими операторами контейнерных поездов по различным участкам Транссибирского маршрута выступают компании: CRCT, CRIMT, «Казтранссервис», «Кедентранс», «РЖД Логистика», «ОТЛК», «Белинтертранс», «ТрансРэйл-БЧ», «ИнтерРейл Холдинг», «ДБ Шенкер», «Транс-Евразия Лоджистикс» и «ФИЛБ» [12-13].

Еще один эффективный способ совершенствования железнодорожных контейнерных перевозок – формирование двухъярусных контейнерных поездов. В этой области значительного успеха добились на железных дорогах США, а также в Канаде, Австралии, Индии. Перевозки контейнеров в два яруса используются исключительно на линиях с тепловозной тягой и с при-

менением специальных железнодорожных платформ. Условия перевозок на российских железных дорогах существенно отличаются от действующих в указанных странах. Протяженность электрифицированных линий составляет более 50% общей эксплуатационной длины. Из-за наличия контактного провода имеется дополнительное ограничение для двухъярусной перевозки по высоте груза [14].

Существенную роль в эффективной организации контейнерных перевозок играет терминально-логистическая инфраструктура. В Европейской практике широко распространены логистические центры или, так называемые «грузовые деревни» (от англ. freight village), центры грузооборота (от нем. Guterverkehrszentrum) [15–16]. Эти центры создаются с целью концентрации контейнеропотока, взаимодействия всех видов транспорта, привлечения транзита грузов по морю. Наиболее широкое развитие логистические центры получили в Германии, Голландии, Франции, Великобритании и Италии. Формирование сети логистических центров в Западной Европе началось еще в 80-90-е годы прошлого века, в связи с необходимостью концентрации складских районов за пределами городов. В Германии первыми инициаторами по строительству логистических центров выступили частные предприниматели: в 1985 году был сформирован центр в Бремене, который сегодня является одним из крупнейших в Европе. Также здесь функционируют крупные центры грузооборота в Эрфурте, Касселе, Дрездене, Липцке и другие. Европейские логистические центры сообщаются с морскими портами посредством железнодорожных коридоров, в связи с этим появилось еще одно общепотребимое название логистического центра – «сухой порт» (от англ. dry port) [17–18].

В Китае также формируются логистические центры с целью концентрации контейнеропотока на ключевых международных маршрутах и взаимодействия видов транспорта. Наиболее крупным таким центром в Китае является парк города Сиань, созданный в 2008 году в рамках реализации национальной инициативы Китая «Один пояс, Один путь». На базе парка Сианя



функционирую три основные платформы: Сианьская таможенная зона, контейнерный центр и сухой порт. Взаимодействие логистической инфраструктуры Европы и Китая дало возможность реализовать регулярные контейнерные поезда Европа-Китай-Европа транзитом через Россию и Казахстан [16, 19].

В России в настоящее время также ведется активная работа по созданию логистических центров, наиболее крупными площадками являются грузовые деревни «Ворсино» в Московском транспортном узле, «Росва» в Калужской области [16, 20].

На базе логистических центров в США осуществляется эффективное взаимодействие различных видов транспорта, что позволяет сокращать время переработки контейнеров. С целью поддержания непрерывного транспортного процесса и сокращения транзитного времени доставки грузов операторы контейнерных перевозок складировать поступившие в порты контейнеры на автомобильные шасси, которые впоследствии оперативно подаются на транспортные средства. В результате работа портовых контейнерных терминалов происходит более эффективно, так как не требует приобретать и использовать дорогостоящие контейнерные перегружатели для перемещения контейнеров внутри порта. Это особенно важно в периоды массового поступления контейнеров [21].

Также стоит отметить положительный мировой опыт в части применения специализированных контейнеров и специальных средств тары и упаковки, что позволяет существенно расширить номенклатуру перевозимых в контейнерах грузов. Сегодня разрабатываются и внедряются в практику контейнеры для самых разнообразных видов грузов, они имеют стандартную длину и угловые фитинги, что позволяет транспортировать их любым видом транспорта, как и универсальные контейнеры. Наиболее распространены танк-контейнеры для перевозки жидких и балк-контейнеры для перевозки навалочных грузов, которые постепенно вытесняют с рынка традиционные железнодорожные цистерны и полувагоны за счет своей экономичности и ин-

термодальности. К специальным средствам тары и упаковки относятся, например, флекси-танки – специальные одноразовые вкладыши, которые позволяют перевозить жидкий груз в стандартном контейнере [22–23].

Новой тенденцией развития контейнерных перевозок последних лет во всем мире является комплексная цифровизация и автоматизация логистических процессов. В том числе системы электронного документооборота, онлайн-сервисы для клиентов, автоматические системы сбора данных и планирования перевозок, интеллектуальные системы слежения за грузом, роботизированные контейнерные терминалы [24–25].

Таким образом, анализ мирового опыта позволил выделить следующие ключевые направления совершенствования железнодорожных контейнерных перевозок: маршрутные контейнерные поезда по расписанию, развитие логистических центров, применение специализированных контейнеров и специальных средств тары и упаковки, цифровизация процессов организации контейнерных перевозок.

### **1.3 Анализ современных исследований в области повышения эффективности контейнерных поездов**

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности железнодорожных контейнерных перевозок является организация ускоренных маршрутных контейнерных поездов.

Контейнерным поездом принято называть состав установленного веса и/или длины, сформированный железной дорогой в соответствии с правилами технической эксплуатации и планом формирования поездов и вагонов, загруженных контейнерами [26].

Преимуществами доставки грузов в контейнерных поездах является увеличение скорости перевозки за счет исключения операций переформирования и сортировки в пути следования, более низкие транспортные тарифы, повышение надежности срока доставки.

В настоящее время в контейнерных поездах на сети российских железных дорог перевозится 12 % от общего объема грузов, перевозимых контейнерами. В том числе 6 % в международном, 2 % в транзитном и 4 % во внутреннем сообщении [11].

Невысокая доля перевозок в контейнерных поездах обусловлена рядом ограничений:

1) для формирования полносоставного отправительского маршрута требуется накопление контейнеропотока на терминалах или подъездных путях предприятий-грузовладельцев, что увеличивает общее время доставки и приводит к появлению дополнительных затрат, связанных с накоплением;

2) техническая оснащенность контейнерной инфраструктуры в регионах зачастую не позволяет работать с полносоставными контейнерными поездами, осуществлять их формирование и расформирование;

3) недостаточная степень интеграции контейнерных терминалов, собственников контейнеров и подвижного состава приводит к дисбалансу развития контейнерных транспортных систем в регионах, что снижает пропускную способность инфраструктуры [27–30].

Различные аспекты организации контейнерных поездов и методы повышения их эффективности рассматриваются в работах авторов И.М. Басырова, П.В. Баскакова, Д.В. Боцвина, А.Г. Кирилловой, П. А. Козлова, Д.И. Кочневой, П. В. Куренкова, О.В. Москвичева, Л. Б. Миротина, В. М. Николашина, Р.М. Паршиной, С. М. Резера и других. В работах [31-33] разрабатываются методики оценки экономической эффективности ускоренных контейнерных поездов с точки зрения интересов грузовладельца и перевозчика. Данные исследования убедительно доказывают конкурентоспособность контейнерных перевозок в маршрутных поездах по сравнению со сборными отправлениями.

Достаточно широко в литературе обсуждаются проблемы применения ускоренных контейнерных поездов для повышения транзитного потенциала транспортной системы России. Этим вопросам посвящены исследования [34–

40]. В частности, в работе [37] решается задача распределения транзитного контейнеропотока по транспортной сети Российской Федерации, а также предложены методы оценки эффективности инвестиционных проектов в развитие инфраструктуры транзитных контейнерных перевозок. В исследовании [38] разрабатывается методология и математические модели организации контейнерных и контрейлерных перевозок по смешанной транспортной сети, минимизирующие время доставки грузов.

В работах [39, 40] разработаны теоретические и методические положения, обеспечивающие повышение эффективности транзитных перевозок на основе обоснования и оптимизации параметров транзитных терминалов и межтерминальных сообщений.

Исследования [41–42] посвящены оценке потенциала укороченных контейнерных блок-поездов на маршрутах курирования свыше 4000 км. Исследования автора показали, что применение дифференцированных длин контейнерных поездов позволит получить относительную экономию за счет сокращения сроков накопления и комплектования контейнерных отправок. В работе автора определена величина «стоимостного коридора», который воспринимается как безубыточный резерв снижения для ОАО «РЖД» количества груженых контейнеров в поезде, а значит и возможность для снижения длины поезда. Проблемы применения укороченных (неполносоставных) маршрутных поездов также исследуются в работах [43–44].

В исследованиях [26–27, 45–47] разрабатываются технологии повышения эффективности контейнерных поездов на основе интеграции региональных контейнерных транспортных систем (КТС).

Так, в работах [26–27] предложено формировать в регионах двухуровневую структуру контейнерной транспортной системы (КТС), а именно: уровень 1 – сеть контейнерных терминалов (КТ), накапливающих контейнерные грузы от предприятий, и уровень 2 – сеть контейнерных накопительно-распределительных центров (КНРЦ), накапливающих потоки от КТ и обеспечивающих формирование контейнерных поездов. Похожая идея рассмат-

ривается в «Концепции комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге ОАО «РЖД» [48], где приведена двухуровневая система формирования контейнерных поездов: местный контейнерный поезд, (имеющий формат сборного, участкового или передаточного поезда) формируется на так называемом «терминале-сателлите» и отправляется в логистический центр для формирования маршрутного поезда, который курсирует между крупными региональными центрами и портами.

В западной научной литературе по логистике технология перевозок с участием региональных накопительно-распределительных центров обозначается термином «ступица и спица» (от англ. «hub-and-spoke»). В этом направлении развиваются исследования [49–51].

Итак, технология двухуровневых региональных КТС позволит концентрировать большие объемы контейнеропотока и массово внедрять контейнерные поезда. Вместе с тем, такая система по-прежнему предполагает сбор и накопление контейнеров на крупных терминалах или в распределительных центрах, что увеличивает время начально-конечных операций. Другая проблема этого подхода – длительные сроки и высокие инвестиции, связанные со строительством сети КНРЦ и развитием необходимой инфраструктуры.

Иной подход к интеграции региональных КТС предложен в исследованиях [47] и основан на скоординированном распределении контейнеропотока между терминалами. Подход предполагает взаимный обмен информацией между грузовладельцами, терминалами, железной дорогой и собственниками ресурсов на базе цифровой платформы, учитывает текущую и потенциальную потребность региона в контейнеризации, пропускную способность сети, интересы собственников контейнерного парка. В отличие от технологий двухуровневой КТС [27] данный подход не предполагает строительство новых контейнерных накопительно-распределительных центров для формирования контейнерных поездов, а рациональное распределение контейнеропотоков между существующими терминалами, что позволит сократить финансовые вложения в развитие сети, повысить эффективность региональной КТС

в первую очередь за счет организационных, а не инвестиционных мероприятий.

Таким образом, различные аспекты формирования ускоренных контейнерных поездов достаточно широко освещены в современной научной литературе. Вместе с тем, на практике сохраняются проблемы накопления и консолидации отправительских маршрутов, а также технической неразвитости транспортной инфраструктуры. Это обстоятельство сохраняет актуальность задачи формирования эффективной системы контейнерных поездов и требуют поиска новых технологий в этой области.

#### **1.4 Перспективы контейнеризации международных и транзитных перевозок в направлении Китай-Россия**

В настоящее время объемы товарооборота между Россией и Китаем растут быстрыми темпами. Это объясняется длительной историей экономического и культурного взаимодействия стран, наличием протяженной совместной границы, усилением евразийской политической интеграции. Названные факторы обуславливают актуальность развития совместных Российско-Китайских проектов в области транспорта и логистики.

Для оценки перспектив взаимодействия Китая и России при реализации совместных транспортно-логистических проектов проведем статистический анализ взаимной торговли.

Китай в последние годы является крупнейшим экспортером товаров в мире, на его долю приходится 19 % всего мирового экспорта [52]. Выделим наиболее значимых торговых партнеров Китая по объему торговли с помощью методики ABC-анализа. ABC-анализ позволяет классифицировать однородные объекты на группы А, В и С по степени их влияния на конечный результат и построен на правиле 80/20, которое предполагает, что не более 20 % объектов классификации составляют 80 % от общего результата.

Результаты ABC-анализа структуры экспорта и импорта Китая продемонстрированы на диаграммах (рис. 1.2, 1.3).

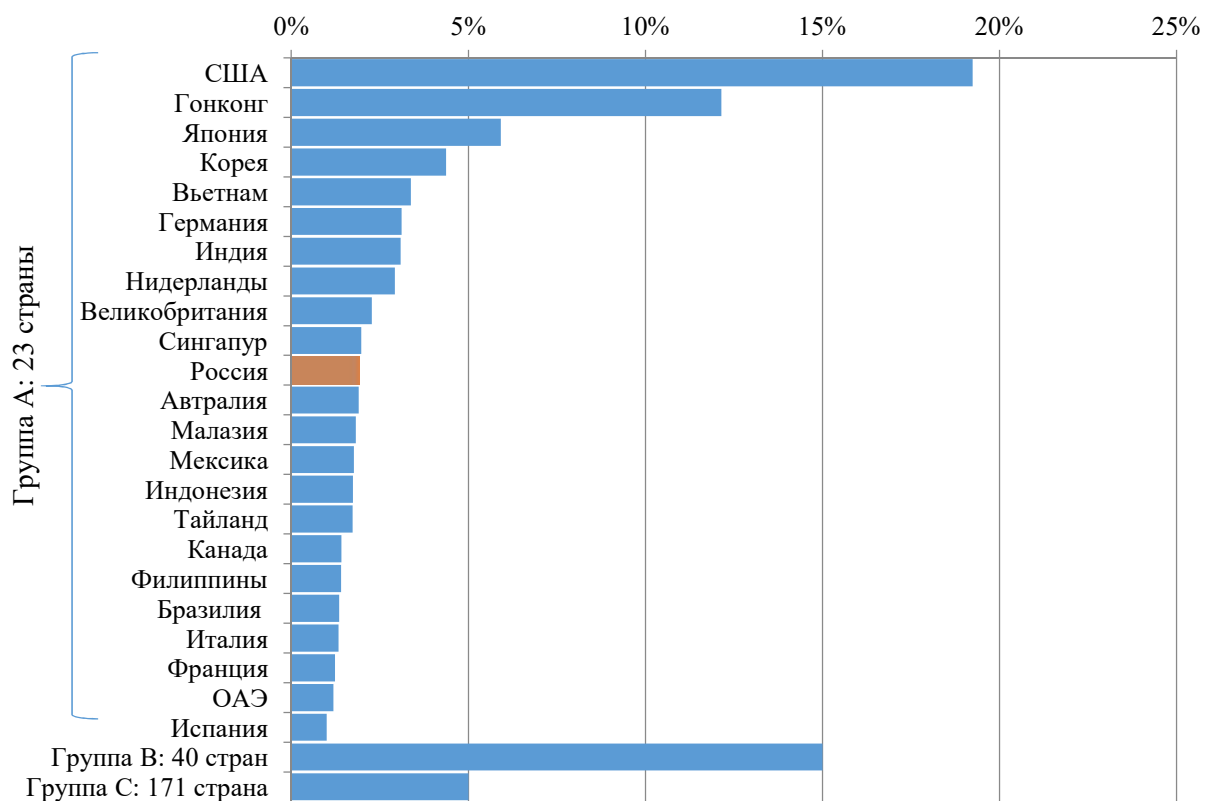


Рисунок 1.2 – ABC-анализ структуры экспорта Китая

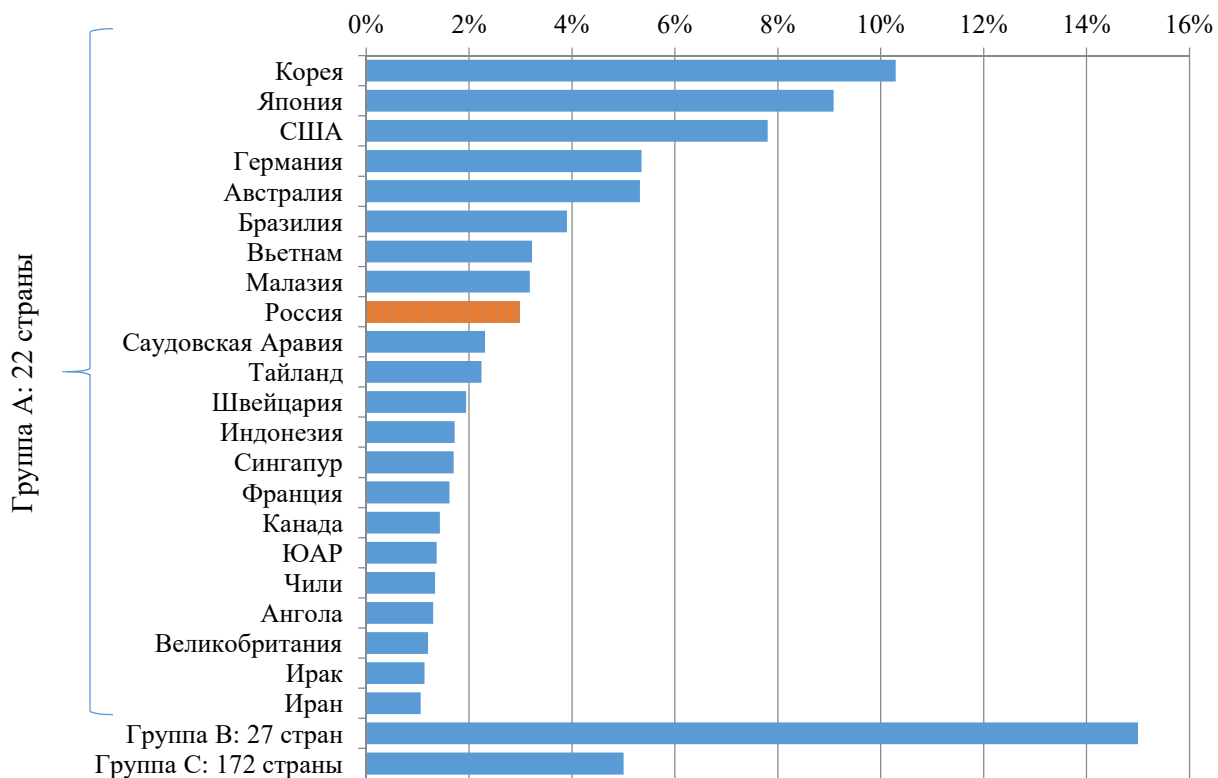


Рисунок 1.3 – ABC-анализ структуры импорта Китая

АВС-анализ внешней торговли Китая (по данным 2019 года [52]) показал, что 80 % продукции экспортируется 10 % странам (группа А), оставшиеся 20 % экспорта (группы В и С) приходятся на 90 % стран. Аналогичное распределение наблюдается и в структуре импорта Китая. Крупнейшим торговым партнером в структуре экспорта Китая является США, на его долю приходится 19,2 % экспорта, наиболее крупными импортерами товаров в Китай являются страны Азии: Корея (10 %), Япония (9 %).

Российская Федерация также является значимым торговым партнером Китая и включена в группу А как по экспортным так и по импортным внешнеторговым операциям: занимает 11 место в структуре экспорта и 9 в структуре импорта.

В структуре внешней торговли России Китай занимает первое место как по экспорту, так и по импорту. По данным Федеральной службы государственной статистики РФ за 2019 на долю Китая приходится 13,4 % экспортных операций и 22,2 % импорта [53].

При этом следует отметить высокую положительную динамику товарооборота между Китаем и Россией (рис. 1.4).

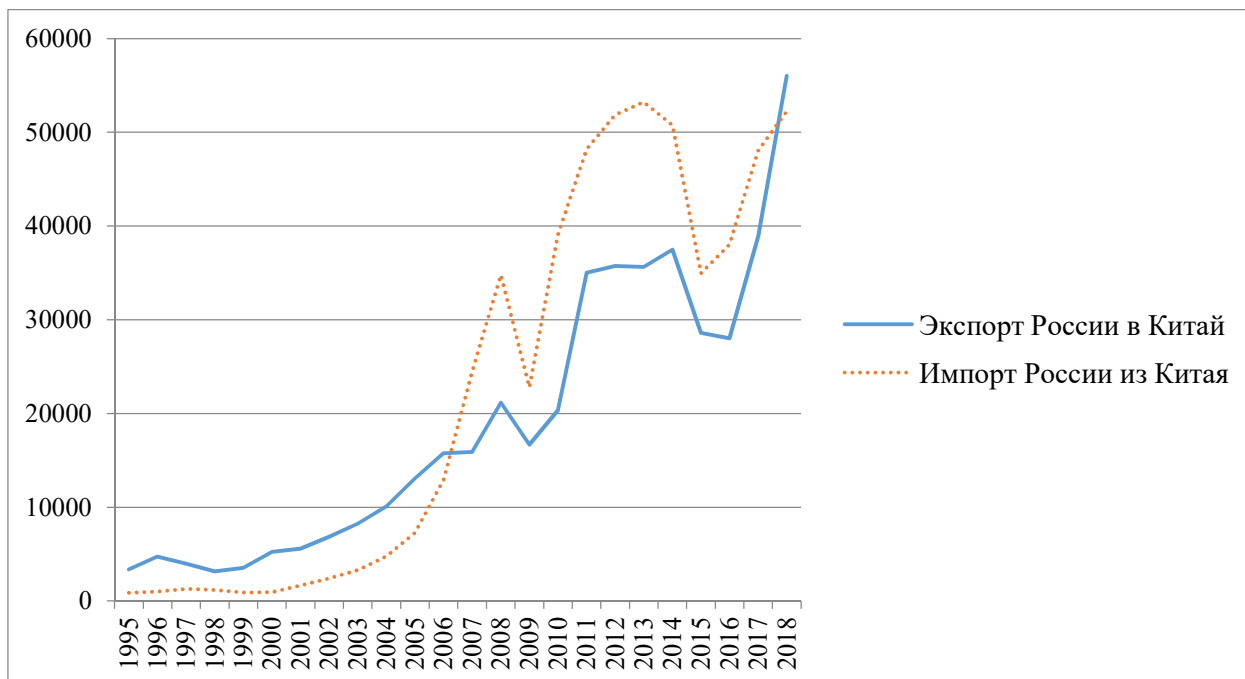


Рисунок 1.4— Динамика внешней торговли России и Китая, млн. долл. США



В товарной структуре импорта России из Китая основная доля поставок приходится на: машины, оборудование и транспортные средства (57,04% от всего объема импорта России из Китая); текстиль и обувь (10,81%); продукция химической промышленности (10,14%); металлы и изделия из них (8,22%); продовольственные товары и сельскохозяйственное сырьё (3,18%) [54].

В структуре экспорта России в Китай основная доля поставок приходится на следующие виды товаров: минеральные продукты (73,09% от всего объема экспорта России в Китай); древесина и целлюлозно-бумажные изделия (7,66%); продовольственные товары и сельскохозяйственное сырьё (5,62%); машины, оборудование и транспортные средства (4,77%); продукция химической промышленности (3,40%); металлы и изделия из них (2,94%) [54].

Рост товарооборота между Россией и Китаем, усиление экономической интеграции стран ЕАЭС способствуют развитию транспортных коммуникаций и появлению новых логистических технологий, а также повышают привлекательность транзитных Российских коридоров.

Ключевыми стратегическими документами в этой области являются:

– указ президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [55], где поставлена цель увеличения к 2024 г. объема транзитных железнодорожных контейнерных перевозок в четыре раза;

– проект «Один пояс-один путь», выдвинутый председателем КНР Си Цзиньпином, где поставлена цель выработки новых механизмов регионального экономического партнерства и создание трансевразийских транспортных коридоров, в том числе через территории Российской Федерации. Намерение России и Китая о сотрудничестве по развитию «Экономического пояса шелкового пути» (ЭПШП) было подтверждено совместным заявлением во время встречи лидеров двух стран в мае 2015 года. Члены ЕАЭС и Китай в рамках ЭПШП могут сотрудничать в обновлении транспортной инфраструк-

туры, в области строительства, энергетики, добычи ресурсов и высоких технологий [56].

В рамках российско-китайского сотрудничества сегодня реализуются успешные проекты, направленные на повышение эффективности транзитных и международных контейнерных транспортных коридоров. Реализация большинства проектов стала результатом совместных усилий железнодорожных компаний (владельцев инфраструктуры и операторов подвижного состава) различных стран, поставщиков логистических услуг, транснациональных операторов мультимодальных перевозок и судоходных компаний. Для перевозок в евро-азиатском железнодорожном сообщении все шире используются контейнерные маршрутные поезда. Отмечается неуклонный рост количества маршрутных поездов, совершающих рейсы, в том числе регулярные, между Китаем и Западной Европой, поскольку все больше грузоотправителей воспринимают железные дороги как альтернативу морскому или воздушному транспорту. Многие контейнерные маршрутные поезда, запущенные на пробной основе, стали совершать регулярные рейсы. Основной целью являлось налаживание современных и конкурентоспособных услуг контейнерных перевозок между Азией и Европой и получение прибыли за счет повышения привлекательности новых контейнерных сервисов для потребителей (грузовладельцев и логистических операторов).

Ведущими операторами контейнерных поездов в сообщении Китай – Европа по различным участкам Транссибирского маршрута выступают компании: CRCT, CRIMT, «Казтранссервис», «Кедентранс», «РЖД Логистика», «ТрансКонтейнер», «ОТЛК», «Белинтертранс», «ТрансРэйл-БЧ», «ИнтерРейл Холдинг», «ДБ Шенкер», «Транс-Евразия Лоджистикс» и «ФИЛБ». Номенклатуру грузов в основном составляют ИТ-продукты, одежда, обувь, автомобили и их запчасти, хлебобулочные изделия, вино, кофейные зерна и др. Существенную грузовую базу для наращивания объемов перевозок в сообщении Китай – Европа, как ожидается, могут составить также почтовые отправки за счет роста электронной торговли. Пробные перевозки были осу-

ществлены CRCT из Чунцина, Урумчи и Чжэнчжоу в Казахстан, а также из Харбина в Российскую Федерацию [12].

Несмотря на рост транзитных и экспортно-импортных железнодорожных перевозок Китай-Россия стоит отметить, что их доля по сравнению с морским транспортом по-прежнему остается не существенной.

По данным статистической информации ЮНКТАД, Евростат, ИАТА, МСЖД [12] свыше 95% грузов по объему (в метрических тоннах) и около 70% в стоимостном выражении (в долл. США) приходится на перевозки по морским маршрутам. Под «перевозками по морским маршрутам» или «морскими перевозками» здесь понимается понимаются интермодальные перевозки в сообщении Азия – Европа с перевалкой в порту и далее с привлечением железнодорожного и/или автомобильного транспорта.

Структура и динамика перевозок Китай-Европа-Китай представлена на рис. 1.5. – 1.6.

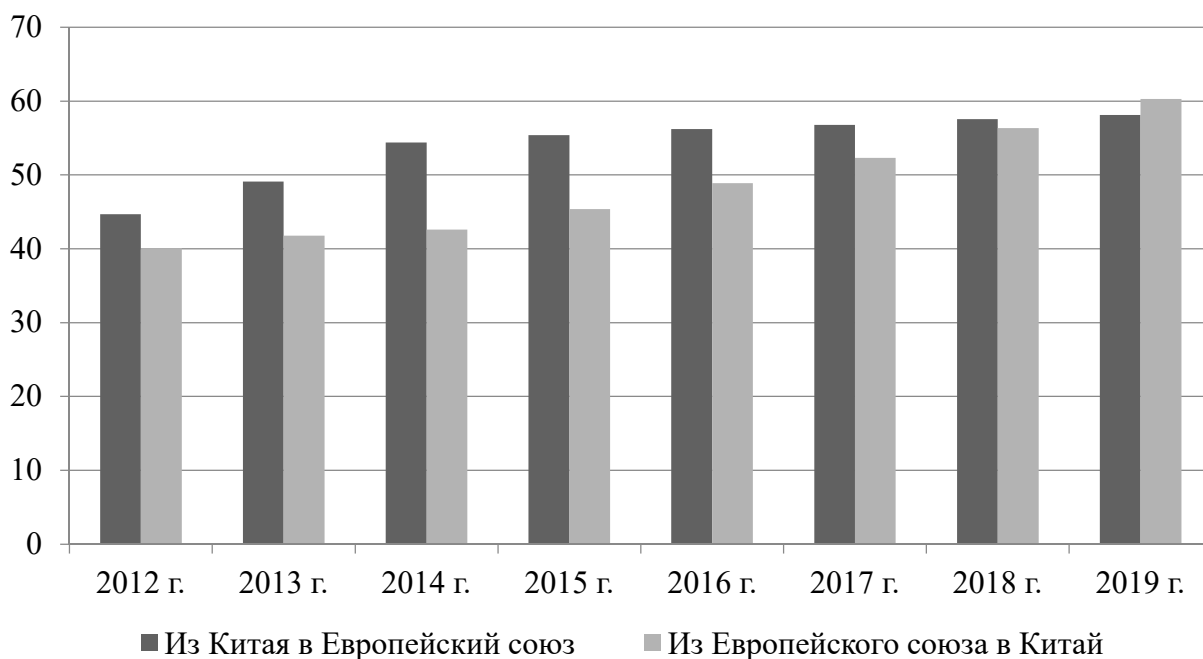


Рисунок 1.5 – Динамика грузоперевозок между Китаем и Европейским союзом, млн. тонн

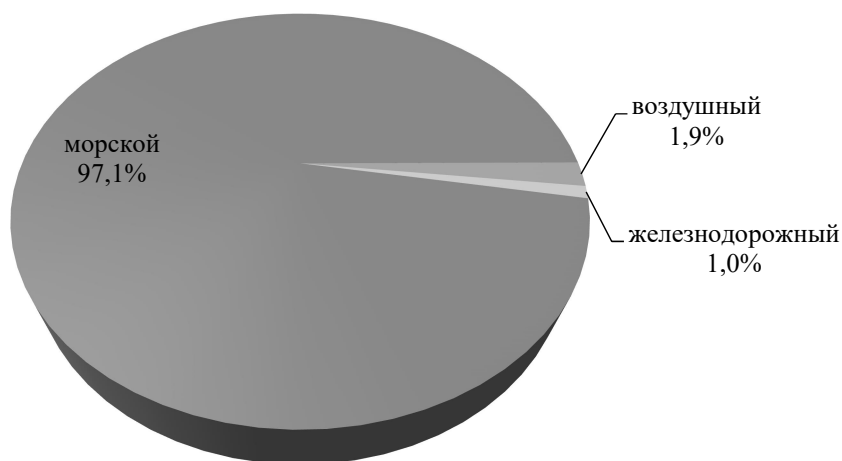


Рисунок 1.6 – Структура грузоперевозок по объему между Китаем и Европейским союзом в разрезе видов транспорта

Высокая доля морского транспорта в перевозках между Азией и Европой объясняется, прежде всего, низкой себестоимостью перевозки, вместе с тем морской транспорт уступает наземным сообщениям по срокам доставки и надежности.

Анализируя структуру перевозок Китай-Европа в стоимостном выражении, можно прийти к выводу, что в железнодорожном сообщении перевозятся более дорогостоящие грузы, чем морским транспортом. По данным [12] средняя стоимость тонны груза, отправленного по железной дороге составляет 75931 долларов, а морским – 4174 долларов. Это обстоятельство оправдано тем, что длительные сроки доставки морем приводят к замораживанию капитала, что в случае с высокоценными товарами приводит к существенным убыткам грузовладельцев. В связи с этим в последние годы возросла заинтересованность в железнодорожных соединениях между Китаем и Европейским союзом, поскольку при них сулят производителям весомые конкурентные преимущества, а именно скорость доставки. Так ряд транснациональных компаний, включая «Ауди», BMW, «Дженерал моторс», «Фольксваген» и «Самсунг», перешли на регулярные рейсы контейнерных поездов.

Таким образом, для дальнейшего увеличения доли железнодорожного транспорта в структуре международных перевозок Китай-Россия-Европа необходимо обеспечивать повышение скорости доставки грузов в контейнерных поездах, совершенствовать логистический сервис, предлагаемый грузовладельцам, разрабатывать гибкую тарифную политику. Это обстоятельство актуализирует задачу разработки новых технологий организации контейнерных поездов.

## **Выводы к главе 1**

1. Процесс контейнеризации, начавшийся в 1955 году, полностью изменил облик мировой торговли. Благодаря массовому применению крупнотоннажных контейнеров транспорт вышел на принципиально новый уровень стоимости, надежности, гибкости и скорости транспортировки. Эффекты контейнеризации вышли далеко за пределы транспортной системы. В результате существенного удешевления и ускорения доставки грузов мировая экономика претерпела глубокие изменения. Создание контейнерной системы стало важнейшей предпосылкой возникновения и развития современных глобальных цепей поставок.

2. Анализ современного мирового опыта позволил выделить следующие ключевые направления совершенствования железнодорожных контейнерных перевозок: маршрутные контейнерные поезда по расписанию, развитие логистических центров, применение специализированных контейнеров и специальных средств тары и упаковки, цифровизация процессов организации контейнерных перевозок.

3. Различные аспекты формирования ускоренных контейнерных поездов достаточно широко освещены в современной научной литературе. Вместе с тем, на практике сохраняются проблемы накопления и консолидации отправительских маршрутов, а также технической неразвитости транспортной инфраструктуры. Это обстоятельство сохраняет актуальность задачи

формирования эффективной системы контейнерных поездов и требует поиска новых технологий в этой области.

4. В последние годы существенно вырос товарооборот между Китаем и Россией, Китаем и Европой, однако в перевозках сохраняется высокая доля морского транспорта. Для увеличения доли железнодорожного транспорта в структуре международных перевозок Китай-Россия-Европа необходимо обеспечивать повышение скорости доставки грузов в контейнерных поездах, совершенствовать логистический сервис, предлагаемый грузовладельцам, разрабатывать гибкую тарифную политику. Это обстоятельство актуализирует задачу разработки новых технологий организации контейнерных поездов.

## 2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В СБОРНЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДАХ

### 2.1. Сборный маршрутный контейнерный поезд: актуальность, принципы формирования

На сегодня уровень контейнеризации сухих грузов в мире по некоторым оценкам составляет 60–70 % [11, 57]. В России этот показатель составляет всего 9,8 %, однако за последнее десятилетие коэффициент контейнеризации на сети железных дорог вырос более чем в два раза [11] (рис. 2.1).

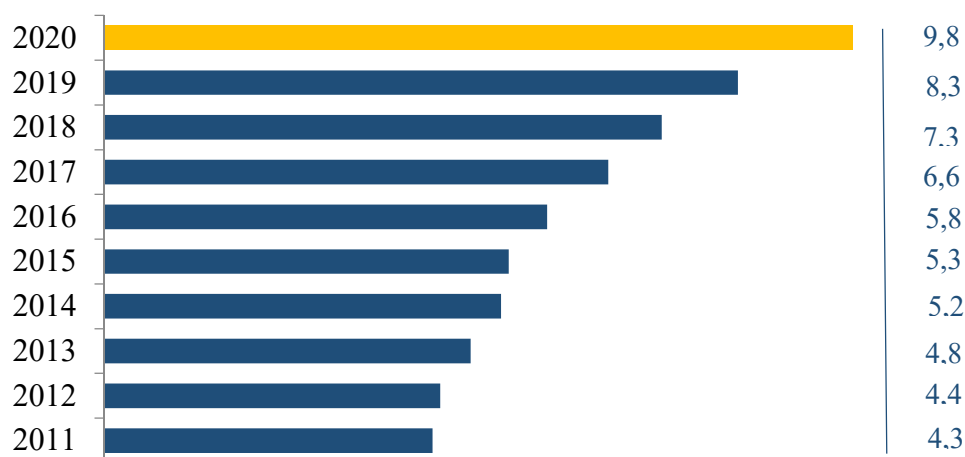


Рисунок 2.1 – Динамика коэффициента контейнеризации на сети ОАО  
«РЖД»

Причины роста контейнерного рынка в России заключаются в росте объемов промышленного производства, активизации внешней торговли со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, перераспределении грузопотока с других видов подвижного состава в пользу контейнеров.

Переключение грузов на контейнерные перевозки с других видов транспорта и повышение уровня контейнеризации – это одна из приоритетных задач экономического развития России. Так, в Указе президента «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [55] поставлена цель увеличения к 2024 г.

объема транзитных железнодорожных контейнерных перевозок в четыре раза.

Основной конкурент железнодорожных контейнерных перевозок – автомобильный транспорт, его ключевые преимущества: быстрая доставка грузов и более низкие тарифы на расстояния до 2000 км, высокая частота отправок и сервис «от двери до двери».

Для повышения конкурентоспособности контейнерных перевозок необходимо сокращать срок доставки и предоставлять грузоотправителям гибкий и удобный сервис.

На рынке железнодорожных контейнерных перевозок сформировалось два основных вида транспортных услуг:

1) групповые или одиночные отправки контейнеров в составе сборных грузовых поездов, которые осуществляются на все открытые для работы с контейнерами станции, с маршрутной скоростью 75–450 км/сут;

2) перевозки в контейнерных поездах установленной длины, следующие до станции выгрузки или расформирования, без промежуточных сортировок, переформирования и попутной загрузки/выгрузки в пути следования с маршрутной скоростью 800–900 км/сут. [59].

Преимуществами доставки грузов в контейнерных поездах служат увеличение скорости перевозки за счет исключения операций переформирования и сортировки в пути следования, более низкие транспортные тарифы, повышение надежности срока доставки. По данным ПАО «Трансконтейнер» сервис маршрутных контейнерных поездов обеспечивает увеличение скорости доставки в 2,5–3 раза по сравнению с отправкой малых партий контейнеров в составе сборных грузовых поездов [11].

Сегодня прямыми маршрутными контейнерными поездами перевозится 12 % от общего объема контейнерных грузов (в том числе 6 % – в международном, 2 % – в транзитном и 4 % – во внутреннем сообщении). При этом в связи с очевидными преимуществами прямых контейнерных поездов по



сравнению с отправкой одиночных контейнеров их доля на рынке контейнерных перевозок увеличивается (рис. 2.2).

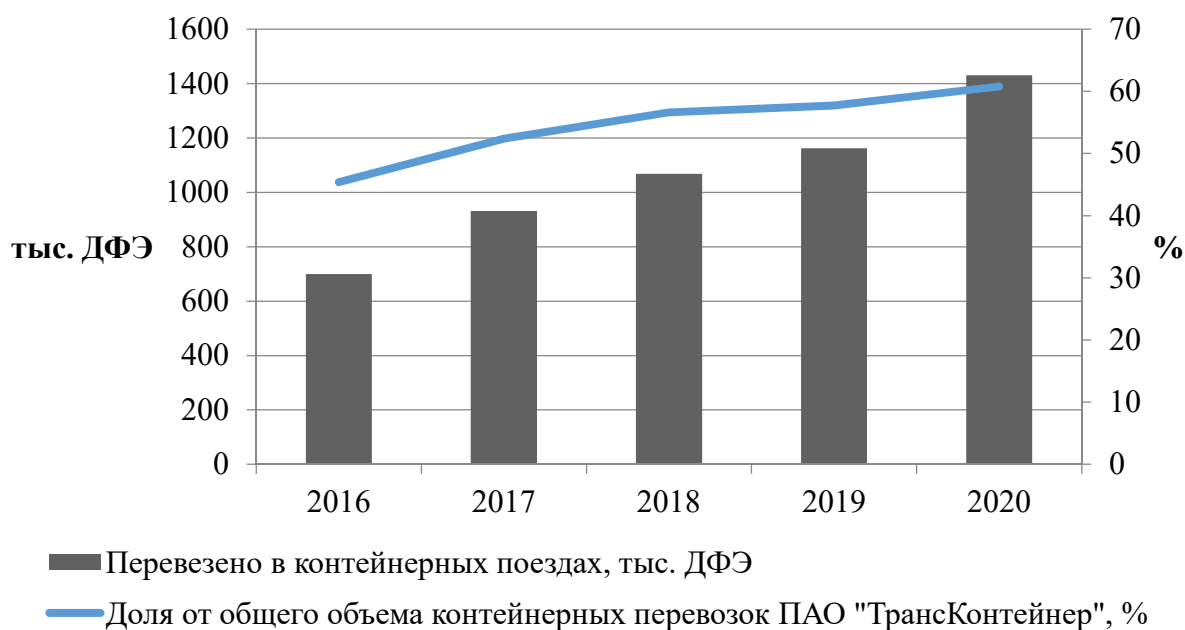


Рисунок 2.2 – Динамика перевозок в контейнерных поездах ПАО «Трансконтейнер»

В настоящее время крупнейший оператор контейнерных перевозок ПАО «ТрансКонтейнер» предлагает сервис доставки грузов в ускоренных контейнерных поездах по 57 маршрутам с различной частотой, при этом 50 маршрутов существуют на регулярной основе, остальные отправляются по накоплению.

Вместе с тем объемы отправок прямыми маршрутными поездами остаются сравнительно невысокой, что обусловлено рядом ограничений:

1) для формирования полносоставного отправительского маршрута требуется накопление контейнеропотока на терминалах или подъездных путях предприятий-грузовладельцев, что увеличивает общее время доставки и приводит к появлению дополнительных затрат, связанных с накоплением;

2) техническая оснащенность контейнерной инфраструктуры в регионах зачастую не позволяет работать с полносоставными контейнерными поездами, осуществлять их формирование и расформирование;

3) недостаточная степень интеграции контейнерных терминалов, собственников контейнеров и подвижного состава приводит к дисбалансу развития контейнерных транспортных систем в регионах, что снижает пропускную способность инфраструктуры [26, 30, 45, 47].

В связи с существующими проблемами и ограничениями на рынке контейнерных транспортных услуг в настоящем исследовании предложена иная перспективная технология организации контейнерных поездов – *сборный маршрутный контейнерный поезд (СМКП)*, который сочетает элементы сборных и прямых маршрутов и построен на принципах организации пассажирского движения.

Суть предлагаемой технологии состоит в следующем: движение осуществляется по расписанию с продажей отдельных мест в контейнерном поезде. Предполагается формирование поездов постоянной составности из фитинговых платформ с контейнерами или грузовыми местами назначением на определенные станции по маршруту следования. Остановки предусматриваются на промежуточных контейнерных терминалах или станциях, оборудованных для погрузки и выгрузки контейнеров. Во время стоянки выполняются необходимые технологические операции по смене локомотива или локомотивной бригады, а также снятие контейнера назначением на данную станцию погрузчиком с платформы и установка на освободившееся место контейнера назначением на одну из станций далее по маршруту [30].

Реализация данной технологии позволит сократить время доставки контейнеров за счет исключения сортировочных и маневровых операций в пути следования, упростить процедуру отправки грузов в контейнерах для грузовладельцев. При этом исключается необходимость накопления на терминале партии контейнеров на полный маршрут и соблюдается условие нормативной длины поезда. Перспективы такой концепции организации контейнерных перевозок в настоящее время рассматриваются в ОАО «РЖД» [60].

Итак, под *сборным маршрутным контейнерным поездом (СМКП)* в настоящем исследовании будем понимать контейнерный поезд с установлен-

ным маршрутом движения и расписанием, следующий от начальной до конечной станции маршрута без переформирования состава, но с выполнением грузовых операций по погрузке/выгрузке контейнеров на промежуточных остановках маршрута.

Идея такой технологии не нова. Так, например, на железных дорогах США существует опыт организации грузовых маршрутов, которые обращаются по постоянному расписанию, имеют постоянный состав и обеспечивают доставку грузов с нескольких станций отправления на несколько станций назначения. Для них используются специализированные вагоны и оборудование для ускоренной погрузки/выгрузки груза на промежуточных станциях [61].

В России в 2000-х годах также проводились эксперименты по реализации подобной технологии [60]. Однако тогда внедрить ее не удалось из-за неразвитости региональной инфраструктуры, отсутствия технологий отслеживания контейнеров и систем оперативного обмена данными. Сейчас развитие цифровой экономики и обновление инфраструктуры крупных терминалов создает предпосылки для внедрения передовых методов организации контейнерного движения.

Вместе с тем, реализация технологии СМКП требует множества исследований и решения ряда научных задач, в том числе:

- определение оптимальных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов с учетом потребностей регионов в контейнерных перевозках и ограничений инфраструктуры;
- экономическое обоснование составности и загрузки СМКП контейнерами с учетом рентабельности инфраструктуры и конкурентоспособности тарифа;
- разработка методики оптимальной расстановки контейнеров в СМКП для минимизации времени и затрат выполнения грузовых операций на промежуточных станциях маршрута;

- обоснование расписаний движения и обработки поездов с учетом возможных случайных отклонений времени выполнения операций;
- экономическое обоснование сборных маршрутных контейнерных поездов по сравнению с традиционными формами грузовых перевозок;
- разработка практических механизмов взаимодействия грузовладельца и перевозчика при реализации технологии СМКП.

## 2.2 Технология организации сборных маршрутных контейнерных поездов

Технология организации сборных маршрутных контейнерных поездов предполагает использование принципов организации пассажирского движения: поезд движется по маршруту в соответствии с четким расписанием, контейнеры (подобно пассажирам) подаются на станцию точно к моменту загрузки поезда и занимают в поезде строго установленные места.

Схематично технология организации сборных маршрутных контейнерных поездов представлена на рис. 2.3.

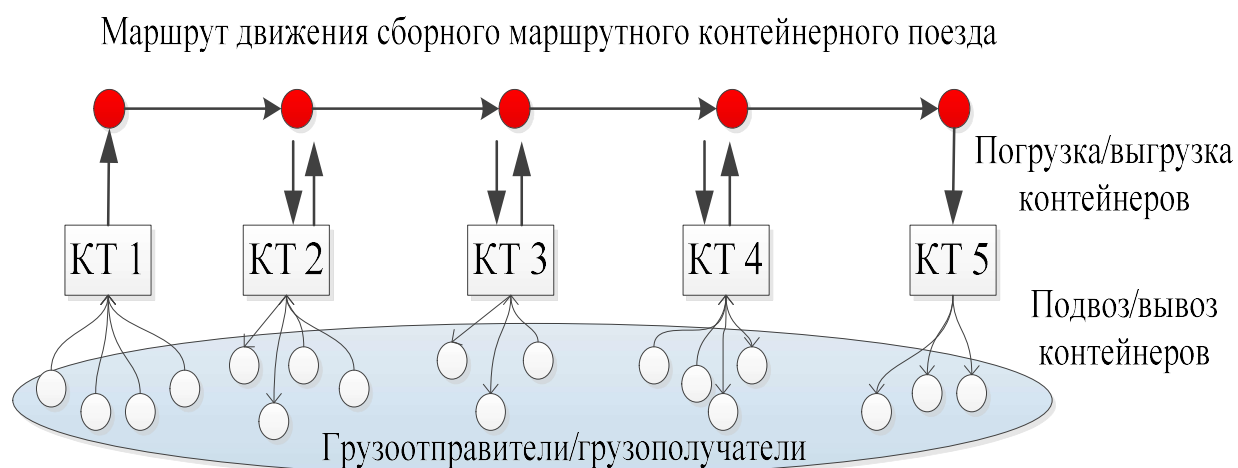


Рисунок 2.3 – Схема организации сборного маршрутного контейнерного поезда

Процесс организации *сборных маршрутных контейнерных поездов* предполагает выполнение следующих операций:

1) на начальной станции формирования поезда:

– подача поезда, состоящего из фитинговых платформ для размещения контейнеров, на терминал начального пункта;

– подача контейнеров, предназначенных для отправки в СМКП, от грузовладельцев на контейнерный терминал точно к моменту загрузки поезда;

– размещение контейнеров на площадке вдоль погрузочно-выгрузочного пути терминала, выделенного для погрузки СМКП в соответствии с планом загрузки поезда;

– грузовые операции с контейнерами: погрузка контейнеров на платформы в соответствии с планом размещения контейнеров в поезде;

– выполнение технических операций по отправлению поезда: техническое обслуживание, коммерческий осмотр, прицепка поездного локомотива к составу, осмотр и опробование автотормозов поезда, отправление поезда;

2) на промежуточных станциях погрузки/выгрузки контейнеров:

– подача сборного контейнерного поезда на специально выделенный погрузочно-выгрузочный путь контейнерного терминала;

– подача контейнеров, предназначенных для отправки в СМКП, от грузовладельцев на контейнерный терминал точно к моменту загрузки поезда;

– размещение контейнеров на площадке вдоль погрузочно-выгрузочного пути терминала, специально выделенного для погрузки/ выгрузки СМКП, при этом с целью минимизации пробега погрузчика размещение предназначенных для погрузки контейнеров на площадке должно осуществляться в заранее определенных зонах, в соответствии с планом загрузки поезда;

– грузовые операции с контейнерами: снятие контейнеров назначением на данную станцию и погрузка на освободившееся место контейнеров, следующих далее по маршруту;

- выполнение технических операций параллельно с грузовыми: смена локомотива и локомотивной бригады, осмотр и техническое обслуживание подвижного состава;

- отправка СКМП далее по установленному маршруту движения в соответствие с расписанием;

3) на конечной станции расформирования поезда:

- подача сборного контейнерного поезда на специально выделенный погрузочно-выгрузочный путь контейнерного терминала;

- грузовые операции с контейнерами: выгрузка контейнеров на площадку или перегруз на автотранспорт;

- выполнение технологических операций по прибытию поезда: техническое обслуживание, коммерческий осмотр.

Современное развитие контейнерной транспортной инфраструктуры и технологий в России в полной мере не позволяет реализовать предлагаемый подход. В связи с этим для реализации СКМП требуется создание следующих технико-технологических условий:

- наличие на терминале отдельного погрузочно-выгрузочного пути длиной не менее установленного отправительского маршрута (71 условный вагон, что соответствует длине около 994 метра), предназначенного для приема/отправления СКМП;

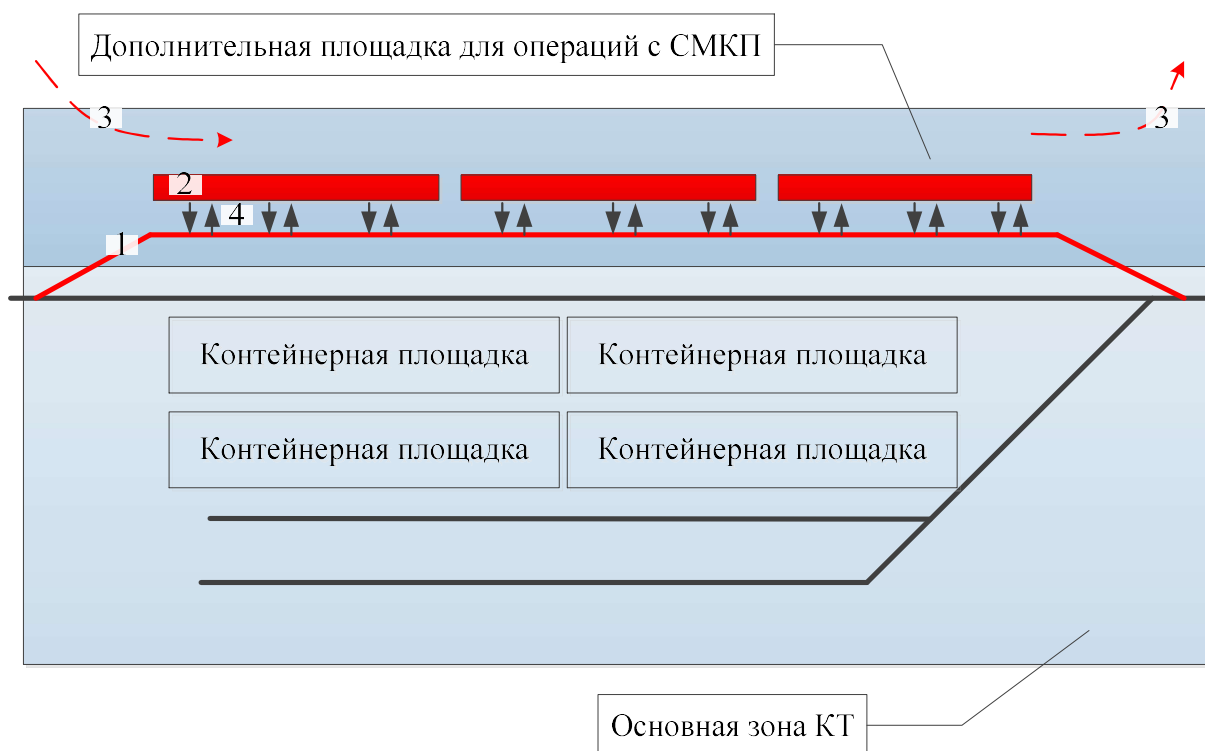
- наличие на терминале специальной отдельной погрузочно-выгрузочной контейнерной площадки вдоль пути, предназначенного для приема/отправления СКМП;

- модификация программного обеспечения формирования графика движения поездов для встраивания СКМП в существующий график;

- разработка и внедрение цифрового сервиса взаимодействия с грузоотправителями с возможностью отслеживания расписаний отправления поездов и приобретения места в СКМП (как аналог цифровых сервисов, реализованных в пассажирском сообщении);

– комплексное внедрение цифровых технологий отслеживания дислокации контейнеров для повышения прозрачности сервиса для клиентов и исключения ошибок и сбоев в транспортном процессе.

Примерная схема контейнерного терминала с дополнительной площадкой для приема сборных маршрутных контейнерных поездов приведена на рис. 2.4.



- 1 – погрузочно-выгрузочный путь для приема СМКП
- 2 – площадки размещения контейнеров (или автомобилей с контейнерами) при осуществлении грузовых операций с СМКП
- 3 – заезд /выезд автотранспорта
- 4 – обмен контейнерами с использованием колесного погрузчика типа «ричстакер»

Рисунок 2.4 – Схема контейнерного терминала с площадкой для приема сборных маршрутных контейнерных поездов

Погрузка контейнеров на поезд может осуществляться как с площадки, так и непосредственно с автотранспортных средств.

Реализация предлагаемого подхода не требует масштабного развития контейнерной инфраструктуры и существенного расширения контейнерных

площадок, так как в рамках технологии СМКП не предусмотрено длительное накопление контейнеропотока на терминалах, а подача контейнеров точно ко времени загрузки поезда. Кроме того, это позволит формировать увязанное со временем прибытия поезда расписание подвоза/вывоза контейнеров и осуществлять погрузку снятого с автомобиля контейнера сразу на фитинговую платформу и наоборот. Это позволит сократить стоимость погрузочно-разгрузочных операций, исключить хранение контейнеров на площадке и повысить эффективность используемых для подвоза контейнеров автомобилей.

### **2.3 Моделирование продолжительности выполнения грузовых операций на промежуточных станциях маршрута движения сборного маршрутного контейнерного поезда**

Одно из основных условий эффективного функционирования системы сборных маршрутных контейнерных поездов (СМКП) – соблюдение расписания движения, поэтому все технологические операции в пути следования поезда должны быть четко регламентированы во времени и увязаны с графиком движения поездов. Технологический процесс работы терминалов по отправлению и прибытию поезда регламентируется Единым технологическим процессом железнодорожных грузовых перевозок [62]. С позиции технологии СМКП оценка норм времени и разработка графика работы начальных и конечных пунктов движения поезда не представляет интереса, так как технология их работы не отличается от существующего процесса формирования/расформирования поездов. Вместе с тем, время выполнения грузовых операций на промежуточных станциях маршрута может существенно варьироваться и зависит от объемов погрузки/выгрузки контейнеров в каждом пункте (что определяется спросом региона на перевозки), порядком размещения контейнеров в СМКП, видом используемого погрузчика и его производительностью, используемой технологией грузовой работы.



В общем виде выражение для расчета продолжительности выполнения комплекса грузовых операций  $T_{Грj}$  в  $j$ -х промежуточных пунктах движения СМПК можем записать следующим образом [63]:

$$T_{Грj} = q_j \cdot t_{г} + \sum_0^{(q_j-1)} t_{п} \cdot r, \quad (2.1)$$

где  $q_j$  – число контейнеров, подлежащих погрузке/выгрузке в  $j$ -м промежуточном пункте, ДФЭ;

$t_{г}$  – продолжительность цикла выполнения грузовой операции по снятию контейнера с платформы и установке на освободившееся место контейнера назначением далее по маршруту, мин.;

$t_{п}$  – продолжительность перемещения погрузчика вдоль поезда на расстояние равное ДФЭ;

$r$  – условное расстояние между ближайшими контейнерами в поезде, подлежащими выгрузке, ДФЭ

Порядок размещения контейнеров в СМПК определяет траекторию движения погрузчика и общую продолжительность операций по его перемещению от одного контейнера к другому. В то время как продолжительность цикла погрузки/выгрузки  $t_{г}$  – одинакова при всех вариантах размещения контейнеров.

Пример маршрутов движения погрузчика при выполнении грузовых операций представлен на рис.2.5.

В случаях если размещение контейнеров в поезде осуществляется произвольно, то время перемещения погрузчика будет подвержено существенным случайным отклонениям. В связи с этим оценку ожидаемой, максимальной и минимальной продолжительности комплекса грузовых работ  $T_{Грj}$  на  $j$ -х промежуточных станциях маршрута необходимо осуществлять на основе имитационного моделирования.

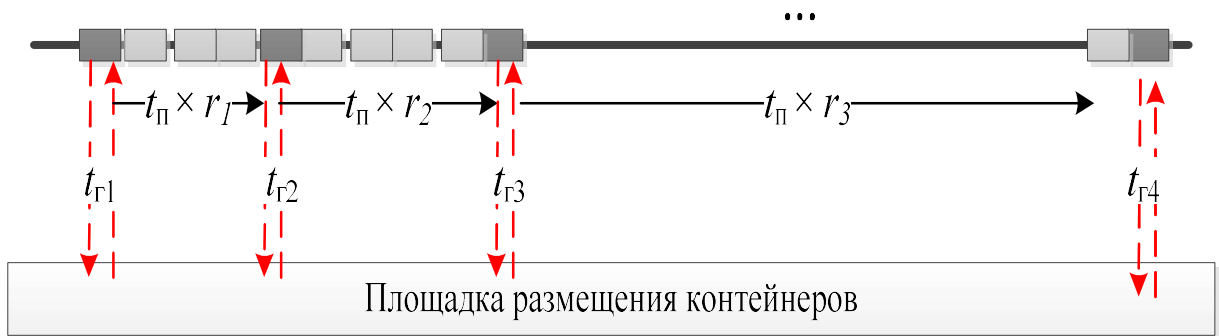


Рисунок 2.5 – Маршрут движения погрузчика (типа ричстакер) при выполнении грузовых операций в промежуточных пунктах движения СМПК (пример)

Зададим  $r$  – условное расстояние между ближайшими контейнерами в поезде, подлежащими выгрузке (ДФЭ), как случайную величину. Примем, что при произвольном порядке размещения каждый контейнер может с равной степенью вероятности занять любое грузовое место в поезде. Тогда  $r$  следует задать случайной величиной, распределенной в соответствии с равномерным законом распределения, его плотность распределения вероятности:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [a, b] \\ \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b] \end{cases}, \quad (2.2)$$

где  $[a, b]$  – интервал моделирования равномерно распределенных случайных чисел.

В нашем случае:

$a = 0$  (при соседнем размещении пары контейнеров в СМПК),

$b = N-2$ ,

где  $N$  – число контейнеров (в ДФЭ) в полносоставном контейнерном поезде, примем  $N = 126$  ДФЭ, что соответствует длине поезда 71 условный вагон, тогда  $b = 124$ .

Смоделируем случайную равномерную величину с помощью метода Монте Карло. Суть метода заключается в следующем: процесс описывается математической моделью с использованием генератора случайных величин, модель многократно обчисляется, на основе полученных данных вычисляются вероятностные характеристики рассматриваемого процесса.

Смоделируем случайное число  $r$  с использованием генератора моделирования случайных чисел программного продукта Статистика 2.0.

Опираясь на результаты моделирования  $r$  вычислим  $T_{ГРj}$  как случайную величину при следующих данных (на основе среднестатистических показателей терминальных операторов):

$$t_r = 5,5 \text{ мин};$$

$$t_{\Pi} = 0,025 \text{ мин.}$$

Тогда:

$$T_{ГРj} = q_j \cdot 5,5 + \sum_0^{(q_j-1)} 0,025 \cdot r .$$

По результатам 100 экспериментов рассчитаем математическое ожидание ( $\mu$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ) по формулам:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^M r_i}{M} , \quad (2.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (r_i - \bar{r})^2}{M}} , \quad (2.4)$$

где  $i$  – номер эксперимента,  $M$  – число экспериментов.

Фрагмент расчетной таблицы экспериментов представлен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Эксперименты по вычислению продолжительности выполнения комплекса грузовых операций  $T_{Грj}$  как случайной величины на основе метода Монте-Карло (фрагмент)

Число выгружаемых контейнеров в СМКП, ДФЭ	Время выполнения операции по снятию и погрузке контейнера ( $t_r$ ), мин.	Продолжительность выполнения комплекса грузовых операций ( $t_r+t_n$ ), мин											Доля времени грузовых операций в общем времени, %	
		Номер эксперимента									Математическое ожидание, мин	Среднеквадратическое отклонение, мин		Размах вариации, мин
		1	2	3	4	5	6	7	...	100				
2	11	12,0	13,8	12,0	11,5	12,8	11,8	11,4		13,6	12,59	0,90	2,88	87%
3	16,5	22,5	20,2	21,3	20,4	19,2	20,2	22,1		22,5	21,38	1,13	5,50	77%
4	22	24,1	24,5	22,3	26,6	26,3	25,4	24,4		26,3	25,08	1,29	5,50	88%
5	27,5	28,4	31,6	31,3	31,3	35,2	29,6	35,6		31,6	32,41	1,58	7,33	86%
6	33	39,9	41,5	37,1	36,0	37,9	38,2	37,2		42,1	39,26	2,00	8,63	85%
7	38,5	46,5	46,1	44,4	46,3	48,3	43,8	47,2		43,1	45,65	1,94	8,80	83%
8	44	51,5	52,8	55,0	55,1	52,1	52,5	54,1		54,9	53,28	2,15	10,98	82%
9	49,5	58,3	61,8	64,4	63,8	63,0	59,2	61,5		60,5	60,14	2,42	11,85	81%
10	55	73,0	64,9	70,5	68,4	68,0	66,6	67,3		68,1	67,11	2,65	10,60	82%
11	60,5	76,4	69,5	71,5	70,5	79,2	73,7	74,1		75,9	74,79	2,96	11,70	80%
12	66	81,5	79,0	79,1	81,8	83,7	85,6	82,5		80,4	81,14	2,68	11,83	81%
13	71,5	88,2	86,4	90,5	95,4	90,4	90,4	87,4		88,2	88,46	2,75	13,28	81%
14	77	94,0	100,0	95,5	97,5	98,4	93,1	96,7		99,4	95,44	3,52	17,10	81%
15	82,5	103,3	100,9	96,2	103,4	100,1	101,6	101,9		100,9	103,00	3,72	13,63	80%
16	88	109,1	109,7	108,6	107,0	110,1	112,7	114,7		111,9	109,18	3,65	13,90	80%
17	93,5	123,1	120,8	116,8	117,8	115,2	115,6	116,9		117,2	117,04	3,42	15,87	80%
18	99	125,2	123,3	125,6	129,0	123,1	127,6	119,2		119,1	124,50	3,71	14,43	81%
19	104,5	137,0	137,1	127,2	133,2	132,5	134,4	133,7		135,9	130,66	4,38	17,00	80%
20	110	132,5	140,4	139,4	133,6	140,3	138,9	137,8		130,5	137,44	3,78	19,80	80%

Продолжение таблицы 2.1

Число вы- гружае- мых кон- тейнеров в СМКП, ДФЭ	Время вы- полнения операции по снятию и погрузке контейнера ( $t_r$ ), мин.	Продолжительность выполнения комплекса грузовых операций ( $t_r+t_n$ ), мин											Доля вре- мени грузо- вых опера- ций в об- щем време- ни, %	
		Номер эксперимента									Мате- матиче- ское ожида- ние, мин	Средне- квадра- тиче- ское от- клоне- ние, мин		Размах вариа- ции, мин
		1	2	3	4	5	6	7	...	100				
21	115,5	139,7	145,9	148,5	146,8	142,1	149,5	146,3		147,4	145,60	3,27	17,13	80%
22	121	155,7	148,8	146,0	151,8	146,6	150,9	152,5		155,8	152,02	4,11	14,17	80%
23	126,5	150,0	157,4	157,7	159,2	160,0	155,0	161,9		158,0	159,02	4,63	22,98	79%
24	132	166,5	165,6	173,6	166,5	166,6	165,5	175,7		165,2	165,07	4,18	16,23	80%
25	137,5	174,9	173,1	176,6	174,9	170,3	175,0	160,2		175,1	173,60	4,25	21,35	80%
26	143	180,5	170,5	175,9	184,3	187,7	173,0	181,6		179,8	180,76	4,28	24,52	79%
27	148,5	185,8	174,1	187,6	193,7	188,9	183,8	185,2		177,0	188,06	4,32	26,95	80%
28	154	189,7	196,9	190,5	194,9	192,5	190,4	200,2		198,4	195,74	5,37	22,65	79%
29	159,5	206,5	201,8	204,7	200,9	198,6	203,3	206,5		205,1	201,75	4,80	23,32	79%
30	165	208,4	214,7	200,4	211,7	196,0	204,2	204,6		205,5	204,56	4,89	17,52	80%

График зависимости продолжительности  $T_{Грj}$  от числа контейнеров подлежащих погрузке/выгрузке на промежуточной  $j$ -й станции движения СМКП  $q_j$  представлен на рис. 2.6.

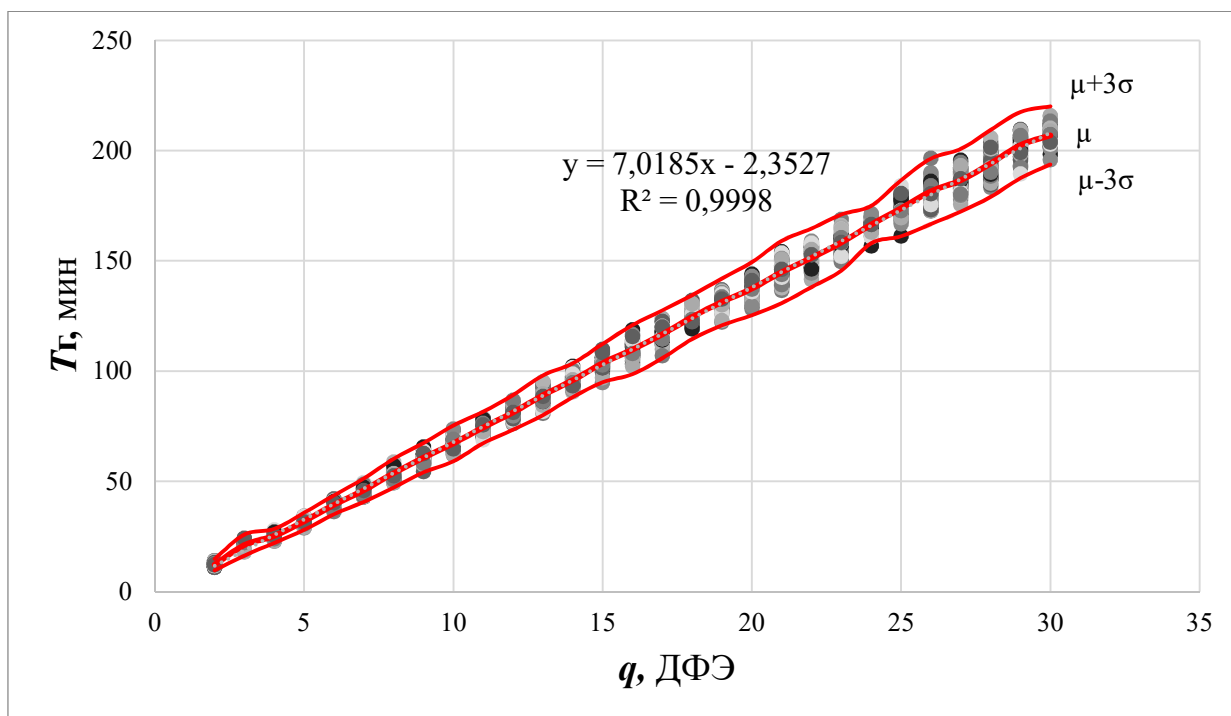


Рисунок 2.6 – Зависимость продолжительности грузовых операций  $T_{Грj}$  от числа контейнеров подлежащих погрузке/выгрузке на  $j$ -й станции движения СМКП  $q_j$

На основе моделирования установлено, что продолжительность выполнения операций по погрузке/выгрузке контейнеров  $T_{Г}$  на промежуточных терминалах маршрута СМКП с вероятностью 99 % не превысит  $\mu + 3\sigma$  минут и не будет меньше, чем  $\mu - 3\sigma$  минут (см. табл. 2.1).

Так, например, если на промежуточной станции требуется выгрузить и загрузить 30 контейнеров, то время выполнения этих операций не превысит  $204,56 + 4,89 \cdot 3 = 219,23$  минут (3,65 часа) и не будет меньше 189,89 минут (3,16 часа).

При этом установлена линейная зависимость  $T_{Г}$  от числа контейнеров, подлежащих погрузке/выгрузке. Методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии данной зависимости:  $T_{Г} = 7,0185q - 2,3527$ . Данная ли-

нейная модель может быть использована для оценки предельного времени, необходимого для погрузки/выгрузки поезда на промежуточных станциях маршрута.

Результаты моделирования также позволяют сделать существенный вывод – до 23 % времени на погрузку/выгрузку контейнеров приходится на непроизводительный пробег погрузчика вдоль поезда от одного контейнеро-места, подлежащего смене к другому. Учитывая случайность этой величины, размах вариации времени может составлять до 27 минут. Такая вариация затрудняет четкое планирование операций и создает риски для надежной отправки состава по расписанию.

В связи с этим возникает необходимость разработки методики обоснованной расстановки контейнеров в СМКП с целью минимизации времени непроизводительного пробега погрузчика и снижения неопределенности.

#### **2.4 Методика оптимального размещения контейнеров в составе сборного маршрутного контейнерного поезда**

Размещение контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями должно осуществляться обоснованно. Их произвольное размещение в начальном пункте отправления может привести к избыточному пробегу погрузчика в промежуточных пунктах при выполнении грузовых операций. То есть возникает задача оптимального размещения грузовых мест в поезде таким образом, чтобы контейнеры назначением в каждый промежуточный пункт находились максимально близко друг к другу.

Задача о размещении относится к классу задач комбинаторной оптимизации. Методы решения сводятся к перебору вариантов для получения оптимального или близкого к оптимальному значения. Осуществление метода полного перебора зачастую невозможно, так как при наличии  $n$  объектов, которые необходимо оптимально разместить в некотором пространстве, возникает  $n!$  вариантов расстановки. Так, например, если необходимо оптимально

разместить только 10 контейнеров в поезде, то для поиска оптимальной расстановки потребуется перебрать  $10! = 3\,628\,800$  вариантов. В связи с этим разработаны различные математические алгоритмы частичного перебора, позволяющие найти решение близкое к оптимальному: метод ветвей границ, метод имитации отжига, муравьиный алгоритм, генетический алгоритм и другие [64–65].

В виду специфики поставленной задачи для ее решения разработан специальный авторский алгоритм с опорой на существующие математические методы [66].

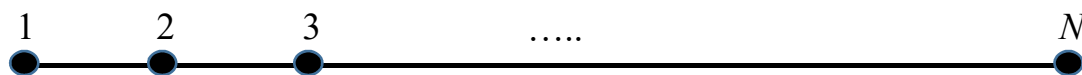
Алгоритм предполагает выполнение двух этапов.

*На первом этапе* определяются групповые места для контейнеров, следующих от одного места погрузки до одного места их выгрузки, и формируется исходная матрица расстановки.

*На втором этапе* исходная матрица подлежит многократной транспозиции (перестановке местами пары столбцов) до получения неулучшаемого значения критерия оптимальности. Критерием оптимальности выступает условное расстояние между контейнерами, подлежащими выгрузке в каждом промежуточном пункте.

Приведем описание алгоритма.

*Первый этап.* Занумеруем пункты (терминалы) погрузки/выгрузки контейнеров по маршруту следования поезда натуральными числами от 1 до  $N$ :



Для поезда, следующего по данному маршруту, задана матрица корреспонденций  $[q(i, j)]$  размера  $N \times N$ , где  $q(i, j)$  означает количество контейнеров, направляемых из пункта  $i$  в пункт  $j$ . Матрица корреспонденций удовлетворяет следующим ограничениям:



1.  $q(i, j) = 0$ , при  $j \leq i$  – контейнеры не могут быть отгружены и направлены из пункта  $i$  в предыдущие пункты следования поезда;

2.  $\sum_{i=1}^p q(i, p) = \sum_{j=p}^N q(p, j)$  – в каждом промежуточном пункте  $p = 2, 3, \dots, N-1$  в

поезд загружается столько контейнеров  $\sum_{j=p}^N q(p, j)$ , сколько в этом пункте было выгружено  $\sum_{i=1}^p q(i, p)$ .

Такая матрица может быть сформирована на основе алгоритма поиска оптимального маршрута поезда на заданной сети, разработанного в [30].

Обозначим через  $I_j$  число источников контейнеропотока, назначением в пункт  $j$ , а через  $S_i$  – число стоков (назначений) контейнеропотока, отправлением из пункта  $i$ .

Считаем, что в каждом пункте погрузки  $p = 1, 2, \dots, N-1$  контейнеры, направляемые в конкретный пункт  $j > p$ , загружаются на свободные грузовые места рядом друг с другом, образуя *грузовые группы*. Таким образом, *группа грузовых мест*  $\Gamma_{pj}$  – это совокупность грузовых мест расположенных рядом без промежутков, на которых помещаются контейнеры, направленные из данного пункта  $p$  в данный пункт назначения  $j$ . Отметим, что в поезде, на его протяжении, может возникнуть несколько различных групп  $\Gamma_{pj}$  контейнеров одного и того же пункта отправления  $p$  и назначения  $j$ .

Общее количество групп грузовых мест  $K$  зададим следующей формулой:

$$K = 1 + \sum_{i=2}^{N-1} S_i \quad (2.5)$$

В этой формуле первое слагаемое (единица) соответствует грузовой группе  $\Gamma_{1N}$  контейнеров, направляемых из пункта формирования поезда  $i = 1$  в последний пункт маршрута  $i = N$ . Эта группа содержит  $q(1, N)$  контейнеров, она не изменяется при прохождении поездом промежуточных

пунктов погрузки-выгрузки, поскольку контейнеры этой группы не затрагиваются в промежуточных пунктах маршрута. Таким образом, общее количество групп грузовых мест в поезде  $K$  определяется числом пар грузовых операций (погрузка-выгрузка) на маршруте. На начальном и конечном пункте в общей сложности осуществляется одна операция (только погрузка в начальном пункте и только выгрузка в конечном). В каждом промежуточном пункте осуществляется и погрузка, и выгрузка контейнеров, следовательно, необходимое количество грузовых мест будет определяться числом назначения потока отправлением из каждого пункта  $i$ , то есть слагаемым  $\sum_{i=2}^{N-1} S_i$ .

Договоримся группы грузовых мест нумеровать натуральными числами от 1 до  $K$ , например, от локомотива к хвосту поезда.

Далее, на первом этапе формируется исходная ( $\chi=0$ ) матрица расстановки контейнеров в поезде  $[\alpha_{lk}]$  размера  $(N-1) \times K$ . Элементы  $\alpha_{lk}$  матрицы расстановки будут означать количество  $q(i, j, k)$  контейнеров, погруженных в пункте  $i$  с назначением в пункт  $j$ , которые занимают  $k$ -е групповое место в контейнерном поезде.

Опишем алгоритм формирования матрицы расстановки  $[\alpha_{lk}]$ .

Элементы  $\alpha_{1k}$  первой строки матрицы расстановки вычисляются по матрице корреспонденций  $[q(i, j)]$  следующим образом.

Просматривая слева направо строки матрицы корреспонденций  $[q(i, j)]$  начиная со второй, выберем из них все ненулевые элементы и расположим их в последовательность ( $S_i$  – число стоков контейнеропотока, отправленного из пункта  $i$ , т.е. количество ненулевых элементов в  $i$ -й строке):

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha}_{11} = q(2, j_{21}), \tilde{\alpha}_{12} = q(2, j_{22}), \dots, \tilde{\alpha}_{1, S_2} = q(2, j_{2, S_2}); \tilde{\alpha}_{1, S_2+1} = q(3, j_{31}), \\ \tilde{\alpha}_{1, S_2+2} = q(3, j_{32}), \dots, \tilde{\alpha}_{1, S_2+S_3} = q(3, j_{3, S_3}); \dots ; \tilde{\alpha}_{1, K-1} = q(N-1, N) \end{aligned}$$

– по определению количества групп грузовых мест (формула (1)), эта последовательность содержит в точности  $K-1$  элемент.

Двигаясь по полученной последовательности ненулевых элементов слева направо, заполняем первую строчку матрицы расстановки по следующему правилу:

Если  $\tilde{\alpha}_{1k} = q(i, j) \leq q(1, i)$ , то  $\alpha_{1k} = \tilde{\alpha}_{1k}$ . Это означает, что если  $k$ -й элемент  $\tilde{\alpha}_{1k}$  последовательности, равный, разумеется, некоторому ненулевому элементу  $q(i, j)$  из  $i$ -й строки матрицы корреспонденций, не превосходит верхнего элемента  $i$ -го столбца, то его и записываем в  $k$ -ю позицию первой строки матрицы расстановки, присваивая ему обозначение  $q(i, j, k)$ .

Иначе, если  $\tilde{\alpha}_{1k} = q(i, j) > q(1, i)$ , то  $\alpha_{1k} = q(i, j) - \sum_{s=2}^j q(s, i)$ . Это означает, что в противном случае, когда количество контейнеров  $q(i, j)$  не помещается в освободившуюся после разгрузки группу из  $q(1, i)$  грузовых мест, из элемента  $q(i, j)$  необходимо вычесть сумму всех элементов  $i$ -го столбца матрицы корреспонденций, стоящих ниже первого верхнего. Оставшиеся контейнеры  $\sum_{s=2}^j q(s, i)$  распределяются на места, освободившиеся после выгрузки контейнеров, следовавших из пунктов  $s > 1$  до пункта  $i$ .

Последний элемент первой строки матрицы расстановки полагаем равным  $\alpha_{1K} = q(1, N)$  и он получает обозначение  $q(1, N, K)$ .

Для последующих строк матрицы расстановки  $l = 2, \dots, N - 1$  числовые значения  $\alpha_{lk}$  переписываются следующим образом. Значению  $\alpha_{lk}$  присваиваются индексы  $p$  и  $j$  в соответствие с матрицей корреспонденций. Если в промежуточном пункте  $p$  происходит выгрузка контейнеров, следующих из  $i$  в  $p$  и погрузка на освободившееся место контейнеров назначением из  $p$  в  $j$ , то соответствующему значению  $\alpha_{lk}$  присваиваются индексы  $p$  и  $j$ , при этом одновременно выполняются условия:  $p=l$  и  $p=j_{l-1}$ . В случае если смены контейнеров в пункте  $p$  на грузовом месте не происходит (контейнеры проследова-

ли через пункт  $p$  транзитом), то переписываются индексы предыдущей строки, то есть  $p = p_{l-1}$  и  $j = j_{l-1}$ .

Для каждой строки  $l$  матрицы  $[\alpha_{lk}]$  вычисляется условное расстояние между контейнерами  $r(l)$  (расстояние непроизводительного пробега погрузчика), подлежащими погрузке в  $p$ -м пункте отправления, как сумма элементов  $\alpha_{lk}(p, j)$  с индексами  $p$  меньшими, чем номер этой строки  $l$  в границах отрезка  $[lk_{\min}; lk_{\max}]$ , то есть:

$$r(l) = \sum_{k_{\min}(l)}^{k_{\max}(l)} \alpha_{lk}(p, j), \text{ при } p < l, \quad (2.6)$$

где  $k_{\min}(l)$  – номер крайнего левого столбца строки  $l$ , где записано значение  $\alpha_{lk}(p, j)$  с индексом  $p=l$ ;

$k_{\max}(l)$  – номер крайнего правого столбца строки  $l$ , где записано значение  $\alpha_{lk}(p, j)$  с индексом  $p=l$ .

Тогда критерий оптимальности каждого варианта решения  $\chi$  определяется выражением:

$$R(\chi) = \sum_{l=1}^{N-1} r(l). \quad (2.7)$$

Задача состоит в поиске такой матрицы расстановки  $\chi$ , для которой  $R(\chi)$  принимает наименьшее значение.

Суть предлагаемого алгоритма оптимизации состоит в последовательных транспозициях (перестановках некоторых пар) столбцов матрицы  $\chi$  по установленным правилам и исключение на каждом шаге решений с минимальным значением критерия оптимальности  $R(\chi)$ . Идея такого подхода основана на принципе генетического алгоритма.

Последовательность операций алгоритма оптимизации размещения контейнеров в поезде следующая:

*1 шаг.* В матрице расстановки  $\chi$  вычисляется значение  $R(\chi)$ . Среди значений матрицы  $\alpha_{lk}(p, j)$  в отрезке  $[(k_{\min}(l); k_{\max}(l))]$  выбираем наибольший элемент, то есть величину, которая более всего влияет на критерий  $R(\chi)$ .

*2 шаг.* Выполняем транспозицию (перестановку двух столбцов) в матрице  $\chi$ :  $k$ -й столбец, в котором расположен выбранный на первом шаге элемент  $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$ , меняем местами со столбцом, где в строке  $l$  расположен  $\alpha_{lk_{\min}}(p, j)$ . Получаем матрицу  $\chi+1$ , вычисляем значение  $R(\chi+1)$ .

*3 шаг.* Выполняем транспозицию в матрице  $\chi$ :  $k$ -й столбец, в котором расположен элемент  $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$ , меняем местами со столбцом, где в строке  $l$  расположен элемент  $\alpha_{lk_{\max}}(p, j)$ . Получаем матрицу  $\chi+2$ , вычисляем значение  $R(\chi+2)$ .

*4 шаг.* Если  $R(\chi) < R(\chi+1)$  и  $R(\chi) < R(\chi+2)$ , то выполненные на шагах 2 и 3 перестановки не позволили улучшить решение, переходим к шагу 5. В противном случае из матриц  $\chi+1$  и  $\chi+2$  выбирают ту, для которой  $R(\chi)$  принимает наименьшее значение, прочие исключаются из рассмотрения, переходят к шагу 6.

*5 шаг.* В матрице расстановки  $\chi$  находим следующий по убыванию величины элемент  $\alpha_{lk}(p, j)_{\max 1}$  в интервале  $(k_{\min}(l); k_{\max}(l))$ , элементы  $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$ , выбираемые ранее, из рассмотрения исключаются. Переходим к шагу 2.

*6 шаг.* Для выбранной матрицы повторяем шаги 1-4 до тех пор, пока не рассмотрены все столбцы со значениями  $\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$ , которые увеличивают расстояние между контейнерами одного назначения и не использованы способы их перестановки.

Блок-схема алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде на рис. 2.7.

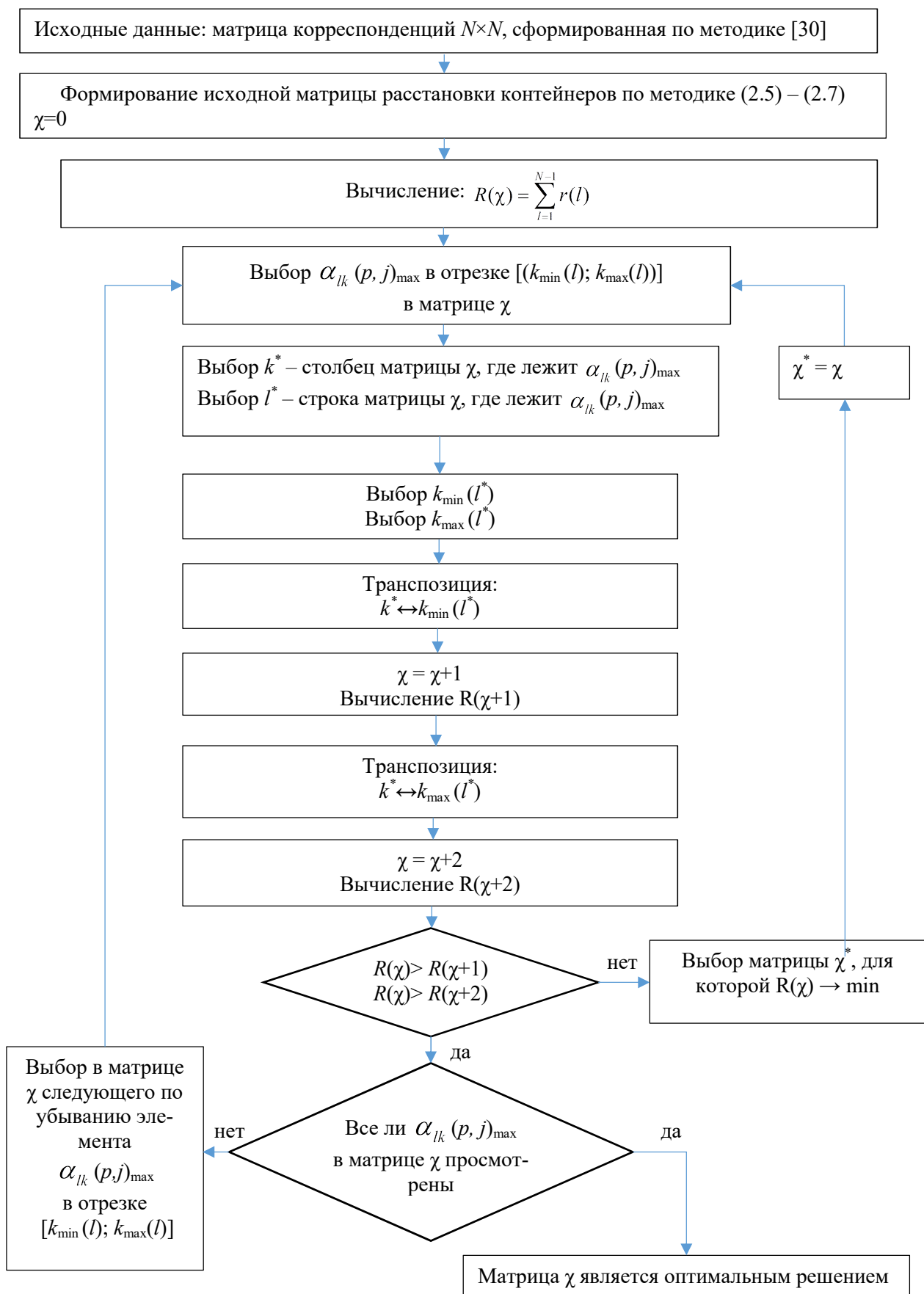


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде

Таким образом, разработан авторский алгоритм оптимального размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде, позволяющий сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах движения СМКП. Это обеспечит ускорение грузовых операций при перестановке контейнеров и сокращение эксплуатационных затрат использования погрузочных механизмов контейнерного терминала.

Предложенный алгоритм позволяет существенно сократить число итераций поиска решения по сравнению с методом полного перебора и имеет возможность программной реализации.

## **Выводы к главе 2**

1. Предложена технология сборного маршрутного контейнерного поезда (СМКП), то есть контейнерного поезда с установленным маршрутом движения и расписанием, следующего от начальной до конечной станции маршрута без переформирования состава, но с выполнением грузовых операций по погрузке/выгрузке контейнеров на промежуточных остановках маршрута. Реализация данной технологии позволит сократить время доставки контейнеров за счет исключения сортировочных и маневровых операций в пути следования, упростить процедуру отправки грузов в контейнерах для грузо-владельцев. При этом исключается необходимость накопления на терминале партии контейнеров на полный маршрут и соблюдается условие нормативной длины поезда.

2. Сформированы требования к инфраструктуре и технико-технологические условия реализации сборных маршрутных контейнерных поездов. Установлено, что реализация предлагаемого подхода не требует масштабного развития контейнерной инфраструктуры и существенного расширения контейнерных площадок, так как в рамках технологии СМКП не предусмотрено длительное накопление контейнеропотока на терминалах, а подача контейнеров точно ко времени загрузки поезда. Кроме того, это поз-

волит формировать увязанное со временем прибытия поезда расписание подвоза/вывоза контейнеров и осуществлять погрузку снятого с автомобиля контейнера сразу на фитинговую платформу и наоборот.

3. Проведено моделирование времени выполнения грузовых операций на промежуточных станциях маршрута движения СМКП на основе метода статистических испытаний Монте-Карло. Результаты моделирования показали, что до 23 % времени на погрузку/выгрузку контейнеров приходится на непроизводительный пробег погрузчика вдоль поезда от одного контейнероместа, подлежащего смене к другому. Учитывая случайность этой величины, размах вариации времени может составлять до 27 минут. Такая вариация затрудняет четкое планирование операций и создает риски для надежной отправки состава по расписанию. Это обуславливает необходимость разработки методики обоснованной расстановки контейнеров в СМКП с целью минимизации времени непроизводительного пробега погрузчика и снижения неопределенности.

4. Разработан авторский алгоритм оптимизации размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде на основе методов частичного перебора. Алгоритм позволяет сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах движения СМКП, что обеспечивает ускорение грузовых операций при перестановке контейнеров и сокращение эксплуатационных затрат использования погрузочных механизмов контейнерного терминала. Предложенный алгоритм позволяет существенно сократить число итераций поиска решения по сравнению с методом полного перебора и имеет возможность программной реализации.



## **3 МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ СБОРНЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ**

### **3.1 Графоаналитическая модель маршрутной сети сборных маршрутных контейнерных поездов**

Внедрение технологии сборных маршрутных контейнерных поездов (СМКП) требует проведения большого числа исследований и решение ряда научных задач. В том числе определение оптимальных маршрутов движения контейнерных поездов, станций их формирования и расформирования таким образом, чтобы обеспечивалась минимальное время следования и максимальная загрузка состава с учетом потребностей регионов в контейнерных перевозках и ограничений региональной инфраструктуры.

Задачи поиска оптимального маршрута движения транспорта известны под общим названием *traveling salesman problem* (задача TSM) или «задача коммивояжера». Для решения этих задач разработано множество математических алгоритмов, в том числе жадные алгоритмы, метод ветвей-границ [67], эвристические алгоритмы [68] и другие.

Применительно к железнодорожным перевозкам задачи формирования оптимальных маршрутов рассматриваются в работах [37–38, 59, 69–70]. Так, например, в работе [37] решается задача распределения транзитного контейнеропотока из Азии в Европу по транспортной сети России на основе методов квадратичного программирования. В работе [38] разрабатывается модель выбора оптимальных маршрутов контейнерных и контейнерных перевозок на смешанной автомобильно-железнодорожной транспортной сети по критерию времени доставки. В [70] анализируются классические методы теории графов применительно к проблеме оптимизации маршрутов грузовых поездов и обосновываются наиболее эффективные алгоритмы.

Вместе с тем данные исследования построены в соответствии с традиционными системами организации движения: сборные поезда с переформированием состава, либо маршрутные поезда без грузовых операций в пути. Таким образом, проблема оптимальной организации маршрутных контейнерных поездов в условиях реализации движения по расписанию с попутными погрузочно-выгрузочными операциями обладает научной актуальностью.

Наиболее удобным математическим аппаратом для решения задач маршрутизации транспортных потоков является теория графов.

Граф транспортной сети представляет собой абстрактное представление множества вершин и связей между ними [71].

Обозначим граф сети сборных маршрутных контейнерных поездов  $G = (V, E)$ , где вершины графа  $v_i$  – станции (терминалы) погрузки/выгрузки контейнеров, ребра  $e_{i-j}$  – железнодорожные пути сообщения.

На рассматриваемом графе можно проложить один или несколько альтернативных маршрутов движения контейнерных поездов. Маршрутом в графе называют чередующуюся последовательность вершин и ребер, в которой любые два соседних элемента инцидентны. Вершина и ребро называются инцидентными друг другу, если вершина является для этого ребра концевой [71].

В рамках решения задачи формирования оптимальных маршрутов определим следующие требования к графоаналитической модели СМКП:

- 1) граф сети СМКП является ориентированным, то есть каждое ребро графа  $e_{i-j}$  имеет направление, определяющее возможный путь движения потока от начальной вершины ребра  $v_i$  до конечной вершины ребра  $v_j$ ;
- 2) граф не содержит кратных ребер – ребер инцидентных одним и тем же двум вершинам, то есть не существует двух альтернативных способов движения контейнеропоток между одними и теми же станциями (терминалами);
- 3) граф не содержит петель – ребер инцидентных одной и той же вершине;

4) граф не содержит циклов, то есть последовательности вершин, начинающейся и заканчивающейся в той же самой вершине, следовательно, из любой вершины графа можно проложить путь к конечной вершине;

5) вершины графа обозначены натуральными числами от 1 до  $n$ , при этом нумерация вершин должна соответствовать последовательности движения потока по маршруту, то есть для любого ориентированного ребра  $e_{i-j}$ , инцидентного вершинам  $i$  и  $j$  выполняется условие  $i < j$ .

Таким образом, формируемая модель сети сборных маршрутных контейнерных поездов (СМКП) представляет собой простой ориентированный граф  $G = (V, E)$  с помеченными ребрами  $e_{i-j}$  и вершинами  $v_i$ .

Компьютерное представление модели осуществляется традиционным способом: в виде матриц смежности и меток.

Матрица смежности ориентированного графа представляет собой диагональную матрицу  $n \times n$ , где  $n$  – число вершин графа.

Пример графа СМКП, состоящего из 5 вершин (станций погрузки-выгрузки контейнеров) приведен на рис. 3.1. В табл. 3.1 приведена матрица смежности для данного гипотетического графа СМКП.

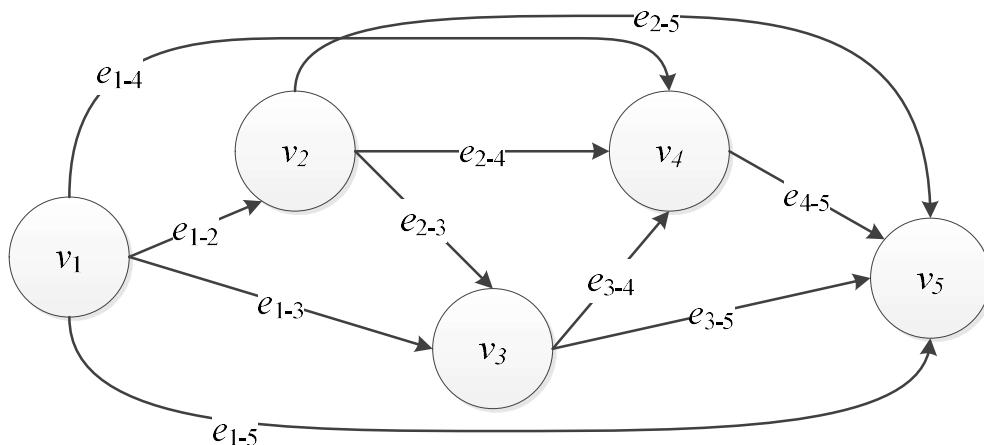


Рисунок 3.1 – Граф сети сборных маршрутных контейнерных поездов (пример)

Таблица 3.1 – Матрица смежности графа сети сборных маршрутных контейнерных поездов (пример)

$i/j$	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2		0	1	1	1
3			0	1	1
4				0	1
5					0

Каждому ребру и вершине графа присвоим числовые метки, характеризующие параметры помечаемого объекта.

Введем обозначения:

–  $\{Q_{ij}\}$  – вектор, характеризующий спроса  $i$ -го пункта в отправке контейнеров в пункт  $j$ ;

–  $\{q_{ij}^{(k)}\}$  – число контейнеров погруженных в  $k$ -й поезд в направлении  $i$ - $j$ ,  $q_{ij}^{(k)} \leq Q_{ij}$ ;

–  $T_{\text{гр}i}$  – время выполнения грузовых операций в  $i$ -м пункте,  $T_{\text{гр}i} = f(q_{ij}^{(k)})$ ;

–  $x_{i-j}^{(k)}$  – булева переменная, характеризующая включение ребра  $e_{i-j}$  в маршрут  $k$ -го поезда, где  $x_{i-j}^{(k)}=1$  означает, что ребро включено в маршрут,  $x_{i-j}^{(k)}=0$  – в противном случае;

–  $T_{i-j}$  – время движения контейнерного поезда на участке  $i$ - $j$ .

Для каждого альтернативного маршрута графа СМКП определим поток. Поток в теории графов называют неотрицательную вещественную функцию, определенную на множестве дуг. Дугой принято обозначать ребро ориентированного графа [71].

Обозначим  $Z_l^{(k)}$  величину потока, проходящего по дуге  $l$ . Эта величина характеризует загрузку  $k$ -го контейнерного поезда и включает транзитный поток, проходящий через  $i$ -й пункт и поток, погруженный в  $i$ -м пункте, таким образом, число дуг  $l$  равно числу станций погрузки контейнеропотока, то есть  $l = 1, 2, \dots, n-1$ .

При известных объемах погрузки в каждом пункте  $q_{ij}^{(k)}$  и структуре маршрута  $x_{i-j}^{(k)}$  величина потока определяется выражением:

$$Z_l^{(k)} = Z_{l-1}^{(k)} + \sum_{j>l}^n (q_{lj}^{(k)} \cdot \sum_{i=l}^{j-1} x_{i-j}^{(k)}) - \sum_{i<l}^{n-1} (q_{il}^{(k)} \cdot \sum_{i=l}^{j-1} x_{i-j}^{(k)}). \quad (3.1)$$

В выражении величина  $\sum_{i=l}^{j-1} x_{i-j}^{(k)}$  идентифицирует наличие грузовых операций по смене контейнеров в  $i$ -ом пункте маршрута,  $\sum_{i=l}^{j-1} x_{i-j}^{(k)} = 0$  будет означать, что в  $i$ -м пункте грузовые операции не осуществляются, поезд проследовал этот пункт транзитом.

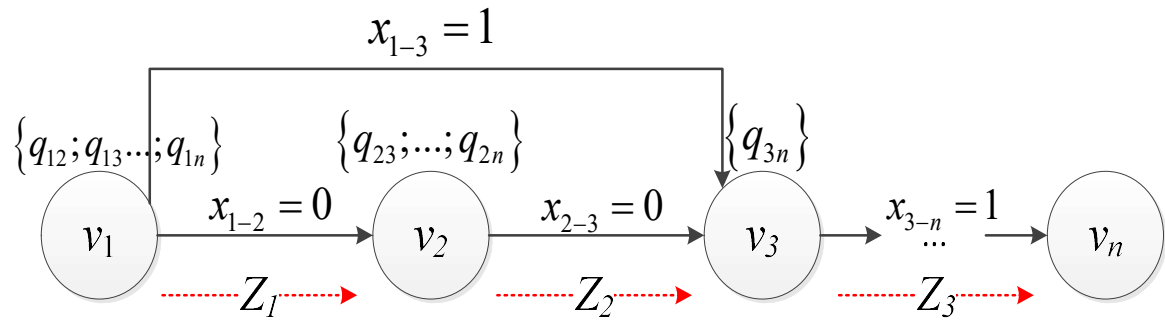
Пример вычисления контейнеропотока  $Z_l^{(k)}$  при заданных объемах погрузки  $q_{ij}^{(k)}$  приведен на рис. 3.2.

Потоки, формируемые на каждом маршруте СМКП, должны удовлетворять двум условиям:

1) ограниченности: поток по любой дуге сети не превосходит пропускной способности этой дуги, то есть в нашем случае контейнеропоток на участке маршрута не должен превышать максимальной вместимости контейнерного поезда;

2) сохранения: поток, заходящий в любую вершину сети (кроме начальной и конечной вершины) равен суммарному потоку, выходящему из этой вершины; то есть в каждом промежуточном пункте на освободившееся

после выгрузки контейнера место устанавливается другой контейнер, следующий далее по маршруту.



$$Z_1 = q_{12} \cdot x_{1-2} + q_{13} \cdot (x_{1-3} + x_{2-3}) + \dots + q_{1n} \cdot (x_{1-n} + x_{2-n} + \dots + x_{(n-1)-n})$$

$$Z_2 = Z_1 + q_{23} \cdot x_{2-3} + \dots + q_{2n} \cdot (x_{2-n} + x_{3-n} + \dots + x_{(n-1)-n}) - q_{12} \cdot x_{1-2}$$

$$Z_3 = Z_2 + q_{3n} \cdot (x_{3-n} + x_{4-n} + \dots + x_{(n-1)-n}) - q_{13} \cdot (x_{1-3} + x_{2-3}) - q_{23} \cdot x_{2-3}$$

Рисунок 3.2 – Пример вычисления потока СМКП в транспортной сети на заданном графе

Итак, разработана графоаналитическая модель формирования альтернативных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов (СМКП), сформированы основные требования к модели и формализованы ее параметры. Следующим этапом является формирование алгоритма поиска оптимальной маршрутной сети СМКП на основе разработанной графоаналитической модели.

### 3.2 Модель поиска оптимальных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов

В рамках настоящего исследования оптимальным маршрутом движения СМКП будем называть такой маршрут, который обеспечивает минимальное время доставки при обеспечении заданной загрузки поезда на каж-

дом участке его движения и заданной величине спроса каждого пункта на контейнерные перевозки.

Экономико-математическая модель поиска оптимального маршрута СМКП формируется на базе разработанной графоаналитической модели.

Исходными данными модели выступают:

–  $Q_{ij}$  – величина спроса  $i$ -го пункта-отправителя на доставку контейнеров в  $j$ -й пункт-потребитель;

–  $T_{i-j}$  – время движения контейнерного поезда на участке  $i-j$ ;

–  $T_{гри}$  – время выполнения грузовых операций в  $i$ -м пункте.

Величина  $Q_{ij}$  может быть определена различными методами:

1) экстраполяция на основе данных о погрузке контейнеров в  $i$ -м пункте в прошлом,

2) на основе установления регрессии с объемами производства контейнеропригодной продукции в регионе, тяготеющего к данному  $i$ -му пункту (например, с помощью модели [45]);

3) на основе заявок грузоотправителей в режиме реального времени с использованием современных цифровых систем обмена данными.

Величина  $T_{i-j}$  определяется статистически с учетом существующих графиков движения поездов, скоростных ограничений, ограничений пропускной способности.

Величина  $T_{гри}$  определяется для промежуточных пунктов движения поезда исходя из технологии работы контейнерного пункта, объема грузовой работы  $i$ -го пункта и норм времени на выполнение сопутствующих технологических операций (смена локомотива и локомотивной бригады, технический и коммерческий осмотры и др.). Для вычисления  $T_{гри}$  примем линейную зависимость, полученную ранее (см. п.п. 2.3):  $T_{гри} = 7,01 \cdot \sum_j^n q_{ij} - 2,35$ .

Варьируемыми переменными в модели выступают два массива:

–  $q_{ij}$  – число контейнеров погруженных в  $i$ -м пункте в направлении  $i-j$ ; целое число, не превышающее величины спроса на контейнерные перевозки пункта  $i$ :  $q_{ij} \leq Q_{ij}$ ,  $q_{ij} \in Z$ ,  $Z$  – множество целых чисел.

–  $x_{i-j}$  – булева переменная, характеризующая включение ребра  $e_{i-j}$  в маршрут  $k$ -го поезда, где  $x_{i-j}^{(k)}=1$  означает, что ребро включено в маршрут,  $x_{i-j}^{(k)}=0$  – в противном случае.

Введем ограничения, отражающие структуру искомого маршрута на заданном графе.

Так как искомый маршрут по условию начинается в вершине  $i=1$ , он должен включать в себя одну из дуг, идущих от начальной вершины. Таким образом:

$$\sum_{j=2}^n x_{1-j} = 1. \quad (3.2)$$

Аналогично искомый путь заканчивается в вершине  $n$ , он должен включать в себя одну из дуг, идущих от предшествующих вершин. Таким образом:

$$\sum_{i=1}^{n-1} x_{i-n} = 1. \quad (3.3)$$

Для промежуточных вершин ограничения сформируем так, чтобы искомый путь мог пройти через любую вершину. При этом если искомый путь входит в вершину, то должен выйти из нее: число входящих в вершину ребер равно числу выходящих из нее, а разность этих чисел равна нулю. Число таких ограничений равно числу промежуточных вершин графа за исключением начальной и конечной вершины. Обозначим числом  $r$  – номер промежуточной вершины графа и запишем ограничения для промежуточных вершин следующим образом:



$$\sum_{i < r}^r x_{i-r} - \sum_{j > r}^n x_{r-j} = 0. \quad (3.4)$$

Введем ограничения, отражающие сохранение потока.

Поток, заходящий в любую вершину сети (кроме начальной и конечной вершины) равен суммарному потоку, выходящему из этой вершины, а разность этих чисел равна нулю.

Следовательно, ограничение для начальной и конечной вершины:

$$\sum_{j=2}^n q_{1j} - \sum_{i=1}^{n-1} q_{in} = 0. \quad (3.5)$$

Ограничения для промежуточных вершин:

$$\sum_{i < r}^r q_{ir} - \sum_{j > r}^n q_{rj} = 0, \quad (3.6)$$

где  $r$  – номер промежуточной вершины графа.

Зададим ограничение величины потока  $Z_l$ : на каждом участке маршрута величина потока  $Z_l$  должна соответствовать заданной загрузке контейнерного поезда  $Z_n$ , то есть:

$$Z_l = Z_n, \quad l = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3.7)$$

Величина  $Z_n$  соответствует нормативной длине контейнерного поезда. Согласно [62] действующим нормативом длины поезда является 6 тыс. тонн и 71 условный вагон. В пересчете на двадцатифутовый эквивалент 71 условный вагон составляет около 126 ДФЭ. Эта величина будет использована в модели в качестве ориентировочной  $Z_n$ .

Вместе с тем, для получения наиболее эффективных управленческих решений и увеличения числа формируемых контейнерных поездов величина потока  $Z_l$  может быть задана интервальным ограничением, то есть:

$$Z_{\min} \leq Z_l \leq Z_{\max} . \quad (3.8)$$

В настоящее время имеется исследования и соответствующий опыт организации поездов повышенной или укороченной длины. Так, например, в работах [41–42] экономически обоснованы укороченные контейнерные поезда малой длины с 29 фитинговыми платформами в составе поезда (что в условных вагонах составляет 53, а в единицах ДФЭ – 116). Данные результаты получены на основе анализа безубыточности при заданном уровне рентабельности перевозчика – 7,4 %.

Опираясь на результаты данных исследований можно установить предельные значения загрузки СМКП в коридоре от 116 до 126 ДФЭ, однако в реальных условиях на конкретных маршрутах эти значения могут варьироваться и требуют дополнительных исследований.

Если число контейнеров в поезде меньше установленной нормы, то модель работает аналогично, оперируя не с физическими контейнерами, а грузовыми местами – «фиктивными единицами» контейнерпотока.

Увеличение длины контейнерного поезда также принципиально возможно при условии достаточности пропускной способности инфраструктуры и длины приемо-отправочных путей на станциях, включаемых в маршрут.

Экономически обоснованная оценка минимальной и максимальной приемлемой загрузки поезда требует проведения дополнительных исследований и зависит от экономических и технико-технологических условий реализации конкретного маршрута.

Также модель позволяет учитывать пропускную способность железнодорожной инфраструктуры. При наличии ограничений по весу или длине поезда на отдельных участках заданной транспортной сети ( $P_l$ ) в модель вводится дополнительное ограничение величины потока:

$$Z_i \leq P_i . \quad (3.9)$$

Целевая функция оптимизационной модели формирования маршрута СМКП представлена выражением:

$$F(x, q) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{i-j} \cdot T_{i-j} + \sum_{i=2}^{n-1} T_{\text{гpi}} \cdot \sum_{j=2}^{n-1} q_{ij} . \quad (3.10)$$

Таким образом, маршрут движения СМКМ предлагается оптимизировать по критерию времени его движения от начального до конечного пункта с учетом времени выполнения грузовых операций в промежуточных пунктах.

Время доставки выбрано в качестве целевого критерия, так как именно этот показатель в настоящее время является ключевым для обеспечения конкурентоспособности контейнерных перевозок по железной дороге.

Вместе с тем, модель позволяет задавать и иные критерии оптимальности, например, стоимость перевозки контейнеров в СМКП по заданным маршрутам или многокритериальные оценки.

Многокритериальные оценки маршрутов могут быть получены методами линейной свертки [72–73], методами стоимостной оценки времени доставки [74], путем перевода части оптимизационных критериев в ограничения [75] и др.

Итак, разработана экономико-математическая модель поиска оптимального маршрута движения сборного маршрутного контейнерного поезда (СМКП) по критерию времени доставки с учетом ограничений спроса на контейнерные перевозки и обеспечения заданной загрузки контейнерного поезда. Следующим этапом является формирование алгоритма поиска набора оптимальных маршрутов на заданной транспортной сети для максимального удовлетворения спроса грузоотправителей на контейнерные перевозки.

### 3.3 Алгоритм планирования сборных маршрутных контейнерных поездов

На заданной матрице спроса и транспортной сети, как правило, можно сформировать не один, а несколько маршрутных контейнерных поездов нормативной загрузки и различной маршрутизации. В связи с этим предлагается следующий пошаговый алгоритм планирования контейнерных поездов на заданной транспортной сети.

Исходными данными для реализации алгоритма являются следующие:  $Q_{ij}$  – величина спроса  $i$ -го пункта-отправителя на доставку контейнеров в  $j$ -й пункт-потребитель в сутки, конт.;  $T_{mi-j}$  – время движения маршрутного контейнерного поезда на участке  $i-j$ , сут.;  $T_{ci-j}$  – время движения сборного контейнерного поезда на участке  $i-j$ , сут.;  $Z_n$  – нормативная загрузка поезда, конт.

Этапы работы алгоритма следующие.

Этап 1. Назначаются маршруты поездов, которые могут быть сформированы от одной станции отправления до другой станции назначения без остановок для погрузки/выгрузки контейнеров. Для этого последовательно просматривается матрица  $\{Q_{ij}\}$  и выбираются такие элементы  $Q_{ij}$ , для которых  $Q_{ij} \geq Z_n$ , то есть целесообразность включения этих потоков в СМКП отсутствует. Назначенные прямые маршруты пошагово ( $u$  – номер шага) исключаются из матрицы спроса: для выбранных элементов выполняется действие:  $Q_{ij} - Z_n$ . Число шагов  $u$ , выполненных на первом этапе соответствуют числу назначенных прямых маршрутов. После исключения всех прямых маршрутов из матрицы  $\{Q_{ij}\}$  переходим к следующему этапу.

Этап 2. Выполняется расчет оптимального маршрута по критерию времени доставки контейнера в соответствие с моделью поиска оптимального маршрута движения СМКП (см. п.п. 2.2). В случае если решение найдено из матрицы спроса исключается сформированный маршрут  $\{Q_{ij}(u)\} - q_{ij}(u)$ , в противном случае из сети исключаются ребра, для которых не выполняется условие нормативной загрузки поезда, в модель вводится ограничение  $Z_k = 0$ .

Этап 2 повторяется до тех пор, пока не будут рассмотрены все возможные варианты маршрутов при заданных условиях. По завершению этапа 2 алгоритма рассчитывается остаток нераспределенного контейнеропотока, не включенного ни в один маршрут и переход к этапу 3.

Этап 3. Контейнеры, не включенные ни в один маршрут на 1-2 этапе алгоритма могут быть отправлены в составе сборных грузовых поездов, либо накапливаться на терминале до момента появления целесообразности отправки следующего СМКП. Решение о накоплении контейнеропотока принимается если время накопления не превышает разницы между временем движения в сборном грузовом поезде и СМКП. Для этого оставшиеся после назначения маршрутов на этапах 1-2 элементы матрицы  $\{Q_{ij}\}$  умножаются на срок накопления контейнеропотока  $T_n$ , то есть имеющийся среднесуточный контейнеропоток увеличивается вдвое, втрое и т.д. в связи с накоплением на терминалах, проверяется условие: не превысит ли время движения маршрутного поезда с учетом накопления времени движения сборного поезда, отправляемого без накопления. В случае если условие выполняется повторяются этапы алгоритма 1-2 для новой матрицы  $\{Q_{ij}\}$ , в противном случае рассчитывается остаток нераспределённого контейнеропотока для отправки в обычном сборном грузовом поезде, работа алгоритма завершается.

Алгоритм работает таким образом, что на каждом шаге  $i$  назначается прямой маршрутный или сборный маршрутный контейнерный поезд, при этом часть контейнеропотока, распределенная в маршрут, исключается из матрицы спроса  $\{Q_{ij}\}$ . Результатом работы алгоритма является перечень прямых и сборных маршрутных контейнерных поездов, отправляемых ежесуточно и с установленным интервалом при накоплении, а также остаточный контейнеропоток, не включаемый в маршруты для отправки в составе обычных сборных контейнерных поездов.

Блок-схема алгоритма планирования маршрутных контейнерных поездов на заданной транспортной сети представлена на рис. 3.3.

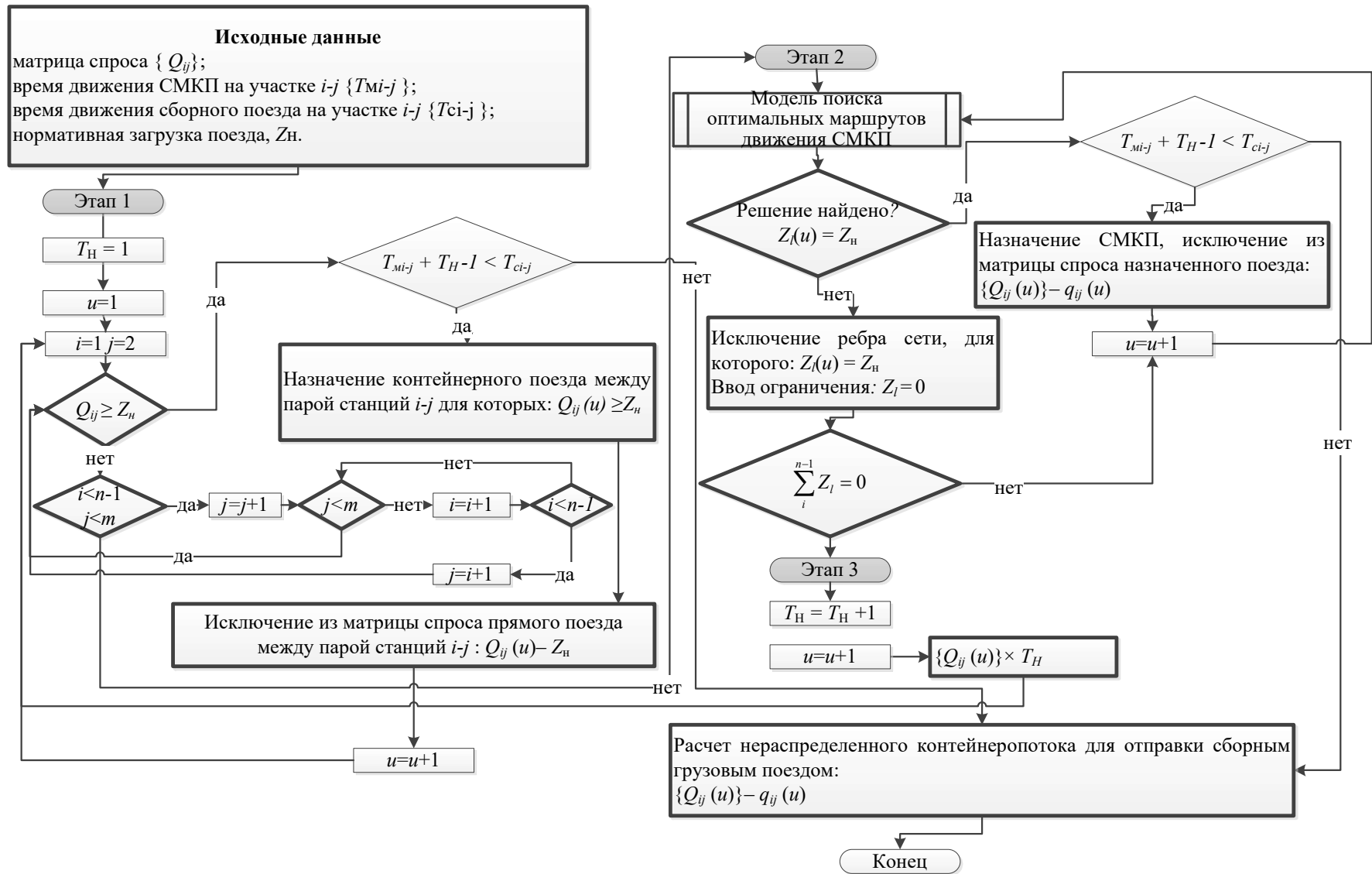


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритма планирования маршрутных контейнерных поездов на заданной транспортной сети

### 3.4 Разработка модели поиска оптимальных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов в программной среде MS Excel

Разработанная экономико-математическая модель поиска оптимальных маршрутов движения СМКП относится к классу задач нелинейного программирования. Поиск оптимального решения может быть выполнен с использованием различных математических алгоритмов [75–78]: методы динамического программирования, генетические алгоритмы, методы комбинаторной оптимизации, метод ветвей-границ, метод множителей Лагранжа и другие.

Для решения поставленной задачи могут быть использованы различные программные средства, например, MathCad, MATLAB, Python, IDLE.

В настоящем исследовании для решения оптимизационной задачи поиска маршрутов движения СМКП предлагается использовать наиболее доступный вариант – встроенные алгоритмы «Поиск решения» в программной среде MS Excel [79].

В целях апробации модели зададимся условным гипотетическим графом транспортной сети, состоящим из 5 вершин-станций переработки контейнерного потока (см. рис. 3.1, табл. 3.1). Зададим гипотетическую матрицу спроса  $i$ -х пунктов-отправителей на доставку контейнеров в  $j$ -е пункты-потребители  $[Q_{ij}]$  и гипотетическую матрицу времени доставки контейнеров между каждой парой пунктов  $[T_{i-j}]$ . Ограничение на нормативную загрузку контейнерного поезда  $Z_n$  зададим числом 126 ДФЭ (что соответствует нормативной длине поезда 71 условный вагон). Время выполнения грузовых операций определим исходя из линейной зависимости, полученной ранее (см.

п.п. 2.3): 
$$T_{spi} = 7,01 \cdot \sum_j^n q_{ij} - 2,35.$$

Также зададим матрицы вывода решения (матрицы варьируемых переменных):  $[q_{ij}]$  и  $[x_{i-j}]$ .

Пример формирования исходных данных задачи в табличном редакторе MS Excel представлен на рис. 3.4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	<b>Исходные данные задачи</b>							<b>Варьируемые переменные</b>					
2	<b>Матрица спроса на контейнерные перевозки, ДФЭ Q(ij)</b>							<b>Включение ребра в маршрут поезда (булева переменная), x(i-j)</b>					
3	<i>i/j</i>	1	2	3	4	5		<i>i/j</i>	1	2	3	4	5
4	1		100	85	50	80		1					
5	2		0	35	40	20		2					
6	3		0	0	90	0		3					
7	4		0	0	0	90		4					
8	5							5					
9	<b>Матрица времени доставки, сут. T(i-j)</b>							<b>Объем погрузки контейнеров в поезд (целое число), ДФЭ, q(ij)</b>					
10	<i>i/j</i>	1	2	3	4	5		<i>i/j</i>	1	2	3	4	5
11	1		2	7	8	10		1					
12	2			5	7	9		2					
13	3				6	8		3					
14	4					6		4					
15	5							5					
16													
17	<b>Нормативная загрузка поезда, ДФЭ Zн</b>							<b>Целевая функция задачи, сут. F(x)</b>					
18	126							0					
19													
20	<b>Ставка затрат времени на выполнение грузовых операций, сут./ДФЭ Tгр</b>												
21	0,004												
22													

Рисунок 3.4 – Пример оформления исходных данных задачи поиска оптимального маршрута СМКП в табличном редакторе MS Excel

Зададим вспомогательные выражения для ввода ограничений задачи:

- расчет величины потока в контейнерной поезде  $Z_i$  по формуле (3.1);
- ограничения, отражающие структуру маршрута (см. формулы (3.2)–(3.4));
- ограничения, отражающие сохранение величины потока (см. формулы (3.5)–(3.6)).

Пример записи выражений для формирования ограничений задачи в табличном редакторе MS Excel представлено в табл. 3.2. и на рис. 3.5.



Таблица 3.2 – Пример записи выражений для ввода системы ограничений задачи поиска оптимального маршрута СМКП в табличном редакторе MS Excel

<b>Ячейки, характеризующие включение ребра в маршрут поезда (булева переменная), <math>x_{ij}</math></b>					
<i>i/j</i>	1	2	3	4	5
1		J4	K4	L4	M4
2			K5	L5	M5
3				L6	M6
4					M7
5					
<b>Ячейки, характеризующие объем погрузки контейнеров в поезд (целое число), ДФЭ, <math>q_{ij}</math></b>					
<i>i/j</i>	1	2	3	4	5
1		J11	K11	L11	M11
2			K12	L12	M12
3				L13	M13
4					M14
5					
<i>l</i>	<b>Выражения расчета величины потока, ДФЭ, <math>Z_l</math></b>				
1	P4=J11*J4+K11*СУММ(K4:K5)+L11*СУММ(L4:L6)+M11*СУММ(M4:M7)				
2	P5=P4+ K12*K5+L12*СУММ(L5:L6)+M12*СУММ(M5:M7)- J11*J4				
3	P6=P5+ L13*L6+M13*СУММ(M6:M7)- K11*СУММ(K4:K5)+K12*K5				
4	P7=P6+ M14*M7- M11*СУММ(M4:M7)+M12*СУММ(M5:M7)+M13*СУММ(M6:M7)+M14*M7				
<b>Выражения для ввода ограничений структуры маршрута</b>					
<i>i</i>	Расчет			Ограничение	
1	=СУММ(J4:M4)			1	
2	=J4-СУММ(K5:M5)			0	
3	=СУММ(K4:K5)-СУММ(L6:M6)			0	
4	=СУММ(L4:L6)-M7			0	
5	=СУММ(M4:M7)			1	
<i>i</i>	<b>Выражения для ввода ограничений сохранения потока</b>				
1-5	=СУММ(J11:M11)-СУММ(M11:M14)			0	
2	=J11-СУММ(K12:M12)			0	
3	=СУММ(K11:K12)-СУММ(L13:M13)			0	
4	=СУММ(L11:L13)-M14			0	

O	P	Q	R	S
<b>Ограничения задачи</b>				
<b>Величина потока, ДФЭ Z(i)</b>				
i	Z(i)	Погрузка в i	Выгрузка в i	Ограничение Z(i)=Zn
1	=Q4	=J11*J4+K11*СУММ(K4:K5)+L11*С	-	=\$A\$18
2	=P4+Q5-R5	=K12*K5+L12*СУММ(L5:L6)+M12*	=J11*J4	=\$A\$18
3	=P5+Q6-R6	=L13*L6+M13*СУММ(M6:M7)	=K11*СУММ(K4:K5)+K12*K5	=\$A\$18
4	=P6+Q7-R7	=M14*M7	=L11*СУММ(L4:L6)+L12*СУММ(L	=\$A\$18
5		-	=M11*СУММ(M4:M7)+M12*СУММ	
<b>Структура маршрута</b>			<b>Сохранение потока</b>	
i	Расчет	Ограничение	Расчет	Ограничение
1	=СУММ(J4:M4)	1	=СУММ(J11:M11)-СУММ(M11:M14)	0
2	=J4-СУММ(K5:M5)	0	=J11-СУММ(K12:M12)	0
3	=СУММ(K4:K5)-СУММ(L6:M6)	0	=СУММ(K11:K12)-СУММ(L13:M13)	0
4	=СУММ(L4:L6)-M7	0	=СУММ(L11:L13)-M14	0
5	=СУММ(M4:M7)	1		

Рисунок 3.5 – Пример записи выражений для ввода системы ограничений задачи поиска оптимального маршрута СМКП в табличном редакторе MS Excel

Зададим целевую функцию задачи поиска оптимального маршрута СМКП по формуле (3.9).

При размещении массивов данных в табличном редакторе MS Excel как показано на рис. 3.4–3.5 целевая функция задачи будет записана выражением:

$$=СУММПРОИЗВ(J4:M7;C11:F14)+\$A\$21*СУММ(K12:M12)+\$A\$21*СУММ(L13:M13)+\$A\$21*M14$$

Для поиска оптимального маршрута воспользуемся надстройкой «Поиск решения». Это надстройка для Microsoft Excel, которую можно использовать для анализа «что если». С ее помощью можно найти оптимальное значение целевой функции, с учетом ограничений на значения в других ячейках с формулами на листе.

Параметры, вносимые в программу, и выражения для их расчета приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Ввод выражений в окно программы «Поиск решения»

Параметр	Обозначение	Выражение (ячейка) в MS Excel
Целевая функция	$F(x)$	\$H\$19
Изменяемые ячейки	Массив $[x_{i-j}]$	\$J\$4:\$M\$7
	Массив $[q_{ij}]$	\$J\$11:\$M\$14
Ограничения	$q_{ij} \leq Q_{ij}$	\$J\$11:\$M\$14 <= \$C\$4:\$F\$7
	$q_{ij} \in Z$	\$J\$11:\$M\$14=целое
	$x_{i-j} = 0 \vee 1$	\$J\$4:\$M\$7 = бинарное
	$\sum_{j=2}^n x_{1-j} = 1$ $\sum_{i=1}^{n-1} x_{i-n} = 1$ $\sum_{i<r}^r x_{i-r} - \sum_{j>r}^n x_{r-j} = 0$	\$P\$11:\$P\$15 = \$Q\$11:\$Q\$15
	$Z_l = Z_n, l = 1, 2, \dots, n-1$	\$P\$4:\$P\$7 = \$\$\$4:\$\$\$7
	$\sum_{j=2}^n q_{1j} - \sum_{i=1}^{n-1} q_{in} = 0$ $\sum_{i<r}^r q_{ir} - \sum_{j>r}^n q_{rj} = 0$	\$R\$11:\$R\$14 = \$\$\$11:\$\$\$14

Окно «Поиск решения» MS Excel представлено на рис. 3.6.

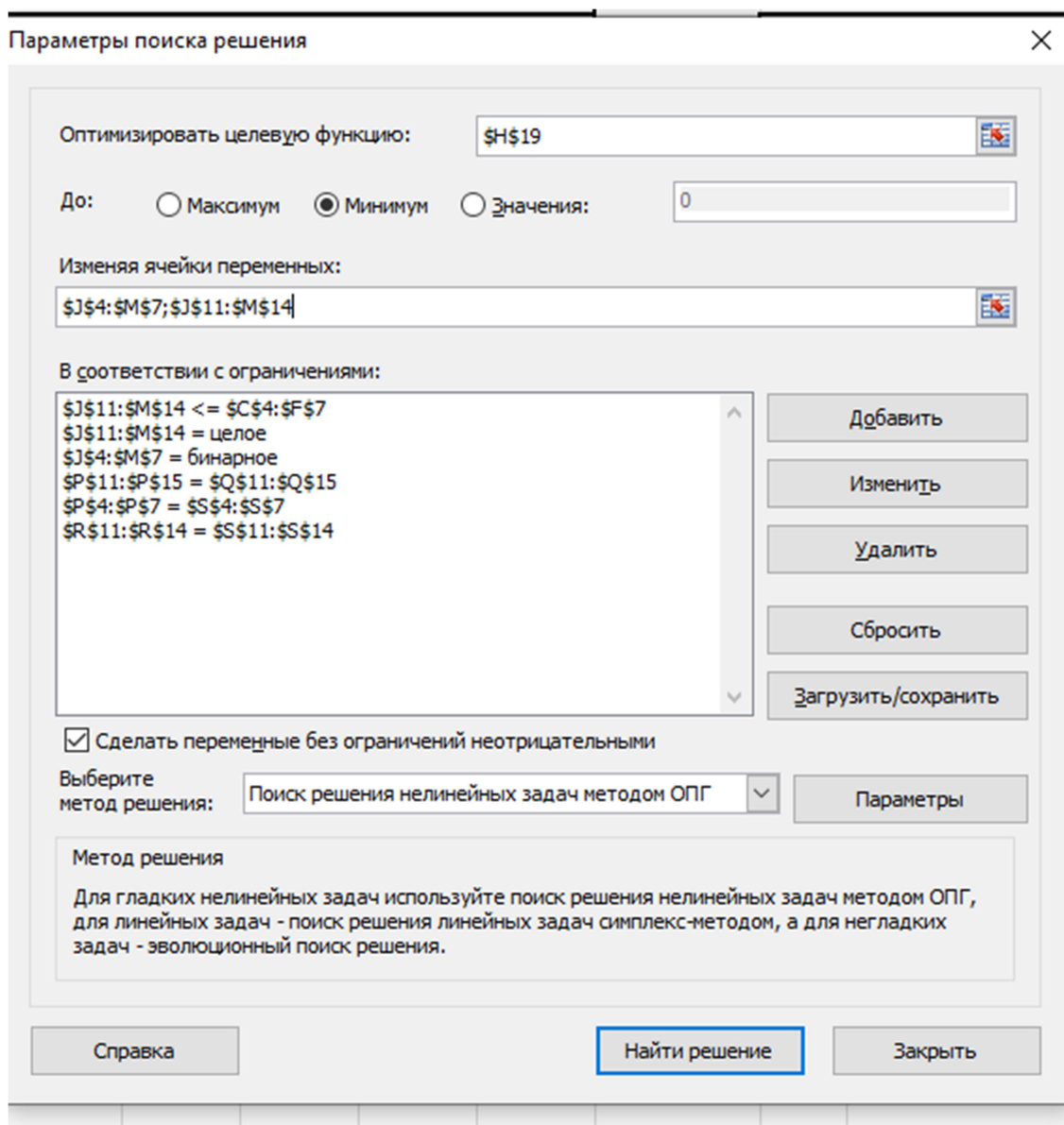


Рисунок 3.6– Окно программы «Поиск решения» MS Excel для поиска оптимального маршрута СМКП

Расчет произведен по средствам алгоритма поиска решения обобщенного приведенного градиента (ОПГ). Алгоритм ОПГ – метод обобщенно приведенного градиента, основан на сокращении размерности задачи с помощью представления всех переменных через множество независимых переменных.

Получено следующее решение (рис. 3.7).

H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
<b>Варьируемые переменные</b>						<b>Ограничения задачи</b>					
<b>Включение ребра в маршрут поезда (булева переменная), <math>x(i-j)</math></b>						<b>Величина потока, ДФЭ <math>Z(l)</math></b>					
$i/j$	1	2	3	4	5	$l$	$Z(l)$	Погрузка в $i$	Выгрузка в $i$	Ограничение $Z(l)=Z_n$	
1		1	0	0	0	1	126	126	-	126	
2		0	0	1	0	2	126	19	19	126	
3		0	0	0	0	3	126	0	0	126	
4		0	0	0	1	4	126	27	27	126	
5						5		-	126		
<b>Объем погрузки контейнеров в поезд (целое число), ДФЭ, <math>q(ij)</math></b>						<b>Структура маршрута</b>			<b>Сохранение потока</b>		
$i/j$	1	2	3	4	5	$i$	Расчет	Ограничение	Расчет	Ограничение	
1		19	0	27	80	1	1,00	1	0,00	0	
2		0	0	0	19	2	0,00	0	0,00	0	
3		0	0	0	0	3	0,00	0	0,00	0	
4		0	0	0	27	4	0,00	0	0,00	0	
5						5	1,00	1			
<b>Целевая функция задачи, сут. <math>F(x)</math></b>											
15,184											

Рисунок 3.7 – Результат решения задачи поиска маршрута СМКП с помощью надстройки «Поиск решения» методом ОПГ (маршрут № 1)

То есть на заданной матрице спроса найден первый маршрут сборного маршрутного контейнерного поезда, проходящий по ребрам: 1 – 2 – 4 – 5. На начальной станции загружается 126 контейнеров, из них 19 – в адрес второй станции, 27 – в адрес четвертой, 80 – на пятую. На второй станции происходит снятие 19 контейнеров, адресованных на эту станцию и погрузка других 19 контейнеров в адрес пятой станции, на четвертой снимают 27 контейнеров и устанавливают на их место 27 единиц, следующих далее по маршруту. На конечной пятой станции происходит выгрузка 126 контейнеров, следующих из первого, второго и четвертого пунктов. На каждом участке маршрута сохраняется загрузка поезда в 126 ДФЭ, общее время маршрута найдено 15,184 суток.

В соответствии с разработанным алгоритмом (см. п.п. 3.3) исключим из исходной матрицы спроса величину потока погруженного на сформированный поезд.

Определим возможность формирования еще одного маршрута, предварительно исключив распределенный на первый маршрут контейнеропоток из матрицы спроса. При заданных условиях программа не может найти удовлетворяющий ограничениям маршрут. Тогда в соответствии с алгоритмом исключим конечную вершину ( $i=5$ ) из начальной транспортной сети и внесем корректировки в программу, принимая, что  $n=4$ , аналогично выполним расчет на модели и получим новый маршрут поезда (рис. 3.8).

H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
<b>Варьируемые переменные</b>						<b>Ограничения задачи</b>							
<b>Включение ребра в маршрут поезда (булева переменная), <math>x(i-j)</math></b>						<b>Величина потока, ДФЭ <math>Z(i)</math></b>							
$i/j$	1	2	3	4	5	$i$	$Z(i)$	Погрузка в $i$	Выгрузка в $i$	Ограничение $Z(i)=Z_n$			
1		1	0	0	0	1	126	126	-	126			
2		0	1	0	0	2	126	18	18	126			
3		0	0	1	0	3	126	85	85	126			
4		0	0	0	0	4	0	0	126	126			
5						5		-	0				
<b>Объем погрузки контейнеров в поезд (целое число), ДФЭ, <math>q(ij)</math></b>						<b>Структура маршрута</b>				<b>Сохранение потока</b>			
$i/j$	1	2	3	4	5	$i$	Расчет	Ограничение	Расчет	Ограничение			
1		18	85	23	0	1	1,00	1	0,00	0			
2		0	0	18	0	2	0,00	0	0,00	0			
3		0	0	85	0	3	0,00	0	0,00	0			
4		0	0	0	0	4	1,00	1					
5						5	0,00	0					
<b>Целевая функция задачи, сут. <math>F(x)</math></b>													
13,412													

Рисунок 3.8 – Результат решения задачи поиска маршрута СМКП с помощью надстройки «Поиск решения» методом ОПГ (маршрут № 2)

То есть на остаточной матрице спроса найден второй маршрут сборного маршрутного контейнерного поезда, проходящий по ребрам: 1 – 2 – 3 – 4.

После назначения второго маршрута остаточный спрос не позволяет сформировать полносоставный контейнерный поезд ни из одной из заданных вершин. В соответствии с алгоритмом увеличим вдвое подлежащий отправке среднесуточный контейнеропоток, смоделировав его накопление в течение двух суток. В результате получено еще два маршрута с интервалом отправ-

ления через день: маршрут 1-2 и 4-5. Оставшийся контейнеропоток может быть отправлен традиционными сборными поездами либо рассматриваться для дальнейшего накопления, во втором случае необходимо оценить выгоды от накопления необходимого объема контейнеров по сравнению с отправкой в сборном поезде.

Итак, для решения оптимизационной задачи поиска маршрутов движения СМКП разработана модель в среде MS Excel, которая позволяет с помощью алгоритма обобщенного приведенного алгоритма находить наилучший с точки зрения времени доставки маршрут, удовлетворяющий всем ограничениям задачи. Апробация алгоритма на гипотетической транспортной сети и при заданном спросе показала принципиальную работоспособность и модели и возможность ее использования на практике.

### **Выводы к главе 3**

1. Разработана графоаналитическая модель формирования альтернативных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов (СМКП), сформированы основные требования к модели и формализованы ее параметры.

2. Разработана экономико-математическая модель поиска оптимального маршрута движения сборного маршрутного контейнерного поезда (СМКП) по критерию времени доставки с учетом ограничений спроса на контейнерные перевозки и обеспечения заданной загрузки контейнерного поезда на каждом участке его движения.

3. На заданной матрице спроса и транспортной сети, как правило, можно сформировать не один, а несколько маршрутных контейнерных поездов нормативной загрузки и различной маршрутизации. В связи с этим предложен пошаговый алгоритм планирования контейнерных поездов на заданной транспортной сети. Алгоритм работает таким образом, что на каждом шаге назначается прямой маршрутный или сборный маршрутный

контейнерный поезд, при этом часть контейнеропотока, распределенная в маршрут, исключается из матрицы спроса. Результатом работы алгоритма является перечень прямых и сборных маршрутных контейнерных поездов, отправляемых ежедневно и с установленным интервалом при накоплении, а также остаточный контейнеропоток, не включаемый в маршруты для отправки в составе обычных сборных контейнерных поездов.

4. Для решения оптимизационной задачи поиска маршрутов движения СМКП разработана модель в среде MS Excel, которая позволяет с помощью алгоритма обобщенного приведенного алгоритма находить наилучший с точки зрения времени доставки маршрут, удовлетворяющий всем ограничениям задачи. Апробация алгоритма на гипотетической транспортной сети и при заданном спросе показала принципиальную работоспособность и модели и возможность ее использования на практике.



## **4 АПРОБАЦИЯ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СБОРНЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ**

### **4.1 Апробация алгоритма формирования оптимальных маршрутов сборных маршрутных контейнерных поездов**

Проведем апробацию модели поиска оптимального маршрута сборного маршрутного контейнерного поезде (СМКП) и алгоритма планирования системы СМКП на заданной сети.

Для апробации модели сформируем транспортную сеть доставки грузов в контейнерах из Китая в Россию и Европу транзитом через РФ.

Основные пункты пропуска контейнеропотока из Китая на территорию РФ – порты Приморского края (Владивосток, Восточный (Находка)) и сухопутный пограничный переход Забайкальск – Маньчжурия. Они пропускают соответственно 50 % и 19 % от всего импортного и транзитного контейнеропотока из Китая в Россию.

Основными пунктами экспорта и транзита в Европу служат морской порт Санкт-Петербург и сухопутные пограничные переходы станций Красное-экспорт (Смоленская обл.) и Злынка-экспорт (Брянская обл.).

Также включим в рассматриваемую транспортную сеть регионы России с большими объемами контейнерооборота: Иркутская область, Красноярский край, Новосибирская область, Челябинская область, Свердловская область, Пермский край, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Нижегородская область, Московская область.

Задача состоит в объединении импортного и транзитного контейнеропотоков из Китая с внутренними и экспортными потоками, формируемыми в РФ.

Граф рассматриваемой транспортной сети представим матрицей смежности (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица смежности графа транспортной сети доставки грузов в контейнерах на направлении Китай–Россия–Европа

Регион	<i>i/j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Приморский кр.	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Забайкальский кр.	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Иркутская обл.	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Красноярский край	4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Новосибирская обл.	5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Челябинская обл.	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Свердловская обл.	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
Пермский край	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Башкортостан	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Татарстан	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Нижегородская обл.	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Москва и Моск. обл.	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
С.-Петерб. и Ленингр. обл.	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Смоленская обл.	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Матрицу спроса сформируем из среднесуточного объема контейнеро-потока, генерируемого каждой вершиной графа (регионом) на основе статистических данных о погрузке и выгрузке контейнеров на сети ОАО «РЖД» за 2019-2020 г.г. (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Матрица спроса заданной транспортной сети  $\{Q_{ij}\}$ , ДФЭ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	7	23	41	172	19	214	4	4	7	8	568	9	14
2		0	9	1	3	15	5	10	3	5	4	70	2	83
3			0	0	1	3	3	2	1	2	3	5	18	1
4				0	0	0	12	6	0	0	0	1	18	0
5					0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6						0	0	0	0	0	0	0	24	0
7							0	2	0	0	0	16	88	21
8								0	1	1	5	7	20	3
9									0	1	0	1	33	0
10										0	2	8	5	5
11											0	6	11	67
12												0	0	119
13													0	0
14														0

Ограничение по загрузке контейнерного поезда на каждом участке маршрута зададим величиной 126 ДФЭ, что соответствует полной загрузке 63-х сорокафутовых фитинговых платформ и нормативной длине поезда в 71 условный вагон.

Время доставки контейнеров по каждому участку маршрута задано матрицей  $\{T_{i-j}\}$  на основе среднесетевой скорости движения для контейнерных поездов (по данным [80] – 866 км/сут. (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Матрица сроков доставки на заданной транспортной сети  $\{T_{i-j}\}$ , сут.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		3,88	4,56	5,53	6,41	8,06	8,19	8,61	8,61	9,18	9,69	10,09	10,54	10,58
2			1,71	2,96	3,84	5,48	5,61	6,04	6,04	6,61	7,12	7,52	7,97	8,01
3				1,25	2,13	3,77	3,90	4,33	4,33	4,90	5,41	5,81	6,26	6,30
4					0,88	2,53	2,65	3,09	3,08	3,65	4,16	4,56	5,01	5,05
5						1,65	1,77	2,21	2,20	2,77	3,28	3,68	4,13	4,17
6							0,30	0,74	0,56	1,30	1,81	2,21	2,66	2,70
7								0,43	0,69	1,00	1,51	1,91	2,36	2,40
8									0,98	0,80	1,07	1,58	1,92	2,06
9										1,02	1,44	1,74	2,52	2,15
10											0,60	0,95	1,71	1,44
11												0,50	1,17	0,99
12													0,78	0,50
13														0,86
14														

Время на погрузочно-выгрузочные операции определим из установленной ранее зависимости  $T_r = 7,016 q - 2,353$  (см. п.п. 2.3).

Расчет по разработанному алгоритму позволяет сформировать следующие маршруты ежесуточных контейнерных поездов (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Оптимальные маршруты контейнерных поездов на заданной транспортной сети при заданном спросе на перевозки

Маршрут	Погрузка/выгрузка, ДФЭ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1–5	$\frac{126}{0}$				$\frac{0}{126}$									
1–7	$\frac{126}{0}$						$\frac{0}{126}$							
1–12 (4 поезда)	$\frac{126}{0}$											$\frac{0}{126}$		
1–7–10– 11–12–14	$\frac{126}{0}$						$\frac{33}{33}$			$\frac{7}{7}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{76}{76}$		$\frac{0}{126}$
1–3–4–7– 8–13	$\frac{126}{0}$		$\frac{23}{23}$	$\frac{36}{36}$			$\frac{70}{70}$	$\frac{14}{14}$					$\frac{0}{126}$	
2–12–14		$\frac{126}{0}$										$\frac{43}{43}$		$\frac{0}{126}$

Срок доставки контейнеров в сформированных маршрутах рассчитан в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Расчетный срок доставки контейнеров по маршрутам

Маршрут	Расчетный срок доставки, сут.
1–5	6,41
1–7	8,19
1–12 (4 поезда)	10,09
1–7–10–11–12–14	11,39
1–3–4–7–8–13	11,51
2–12–14	8,22

Таким образом, алгоритм позволил сформировать 6 прямых маршрутов контейнерного поезда и три сборных маршрутных контейнерных поезда (СМКП).

Для наглядности представим эпюры контейнеропотока для трех сформированных СМКП (рис. 4.1–4.3).

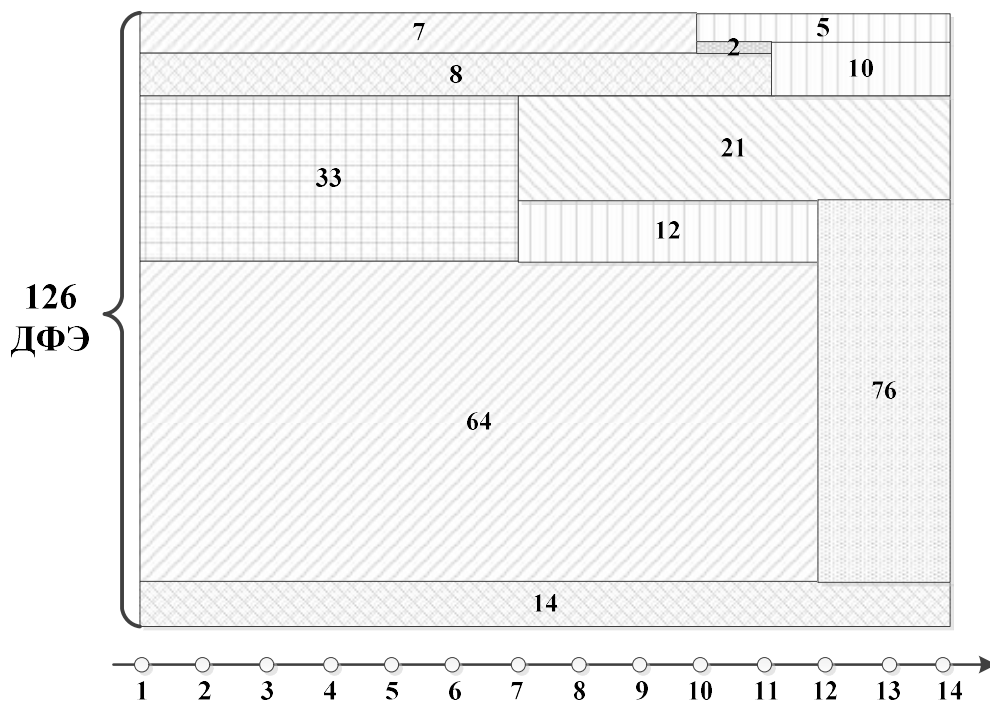


Рисунок 4.1 – Эпюра контейнеропотока для сборного маршрутного контейнерного поезда: Приморский край – Смоленская область с остановками для перегрузки контейнеров в Свердловской области, Татарстане, Нижегородской области, Москве

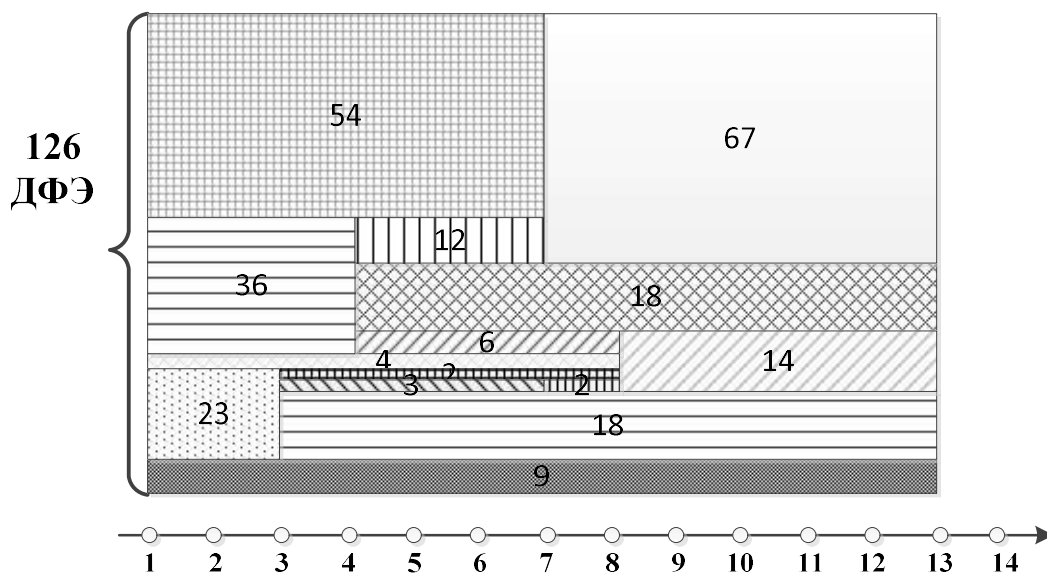


Рисунок 4.2 – Эпюра контейнеропотока для сборного маршрутного контейнерного поезда Приморский край – Санкт-Петербург с остановками для перегрузки контейнеров в Иркутской области, Красноярском крае, Свердловской области, Пермском крае

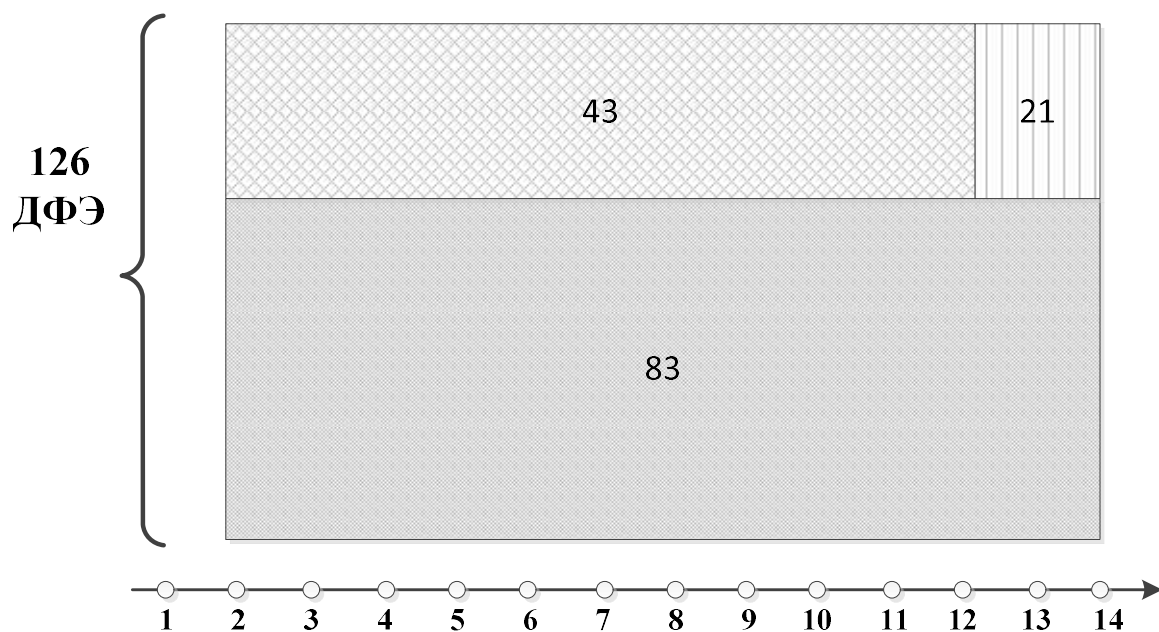


Рисунок 4.3 – Эпюра контейнеропотока для сборного маршрутного контейнерного поезда: Забайкальский край – Смоленская область с остановкой для перегрузки контейнеров в Москве

После назначения контейнерных поездов, представленных в таблице 4.4 (выполнение этапов 1-2 алгоритма) остался нераспределенный суточный спрос на контейнерные перевозки (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Остаточная матрица спроса заданной транспортной сети после назначения ежесуточных контейнерных поездов ( $\{Q_{ij}\}-\{q_{ij}\}$ ), ДФЭ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	7	0	5	46	19	1	0	4	0	0	0	0	0
2		0	9	1	3	15	5	10	3	5	4	27	2	0
3			0	0	1	3	0	0	1	2	3	5	0	1
4				0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5					0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
6						0	0	0	0	0	0	0	24	0
7							0	0	0	0	0	4	21	0
8								0	1	1	5	7	6	3
9									0	1	0	1	33	0
10										0	0	8	5	0
11											0	6	11	57
12												0	0	0
13													0	0
14														0

Остаточную матрицу спроса умножим на 2, что будет соответствовать накоплению контейнеропотока в каждом узле в течение двух суток (отправка поезда через день). С новой матрицей спроса повторим этапы алгоритма 1-2 параллельно проверяя целесообразность формирования маршрутного поезда с накоплением. После выполнения алгоритма к остаточной матрице потока вновь добавим остаточный среднесуточный контейнеропоток для формирования регулярных поездов через каждые 2 суток. В результате получены следующие варианты сборных маршрутных контейнерных поездов, срок доставки в которых с учетом накопления не превышает сроков доставки в обычных грузовых поездах (табл. 4.7). Дальнейшее увеличение сроков накопления будет являться не целесообразным, так как срок доставки контейнеров в сборных маршрутных поездах с учетом накопления превысит срок доставки в обычном грузовом поезде.

Таблица 4.7 – Маршруты сборных маршрутных контейнерных поездов при условии накопления потока на терминалах

Маршрут	Периодичность	Время накопления потока, сут.	Время движения, сут.	Расчетный срок доставки, сут.
2-7-8-9-10-11-12	Через день	1	9,52	10,52
1-5-6-9-13	Через два дня	2	11,12	13,12
2-3-6-11-14	Через два дня	2	8,28	10,28

Таким образом, при заданном суточном спросе на отправку контейнеров и на заданной транспортной сети предложенный алгоритм позволил сформировать следующие маршруты контейнерных поездов:

ежесуточные:

- 1) Приморский край – Новосибирская область;
- 2) Приморский край – Свердловская область;
- 3) Приморский край – Москва;

4) Приморский край – Смоленская область с остановками для перегрузки контейнеров в Свердловской области, Татарстане, Нижегородской области, Москве;

5) Приморский край – Санкт-Петербург с остановками для перегрузки контейнеров в Иркутской области, Красноярском крае, Свердловской области, Пермском крае;

6) Забайкальский край – Смоленская область с остановкой для перегрузки контейнеров в Москве;

через день:

7) Забайкальский край – Москва с остановками для перегрузки контейнеров в Свердловской области, Башкортостане, Татарстане, Нижегородской области;

через два дня:

8) Приморский край – Санкт-Петербург с остановками для перегрузки контейнеров в Новосибирской области, Челябинской области, Башкортостане;

9) Забайкальский край – Смоленская область с остановками для перегрузки контейнеров в Иркутской области, Челябинской области, Нижегородской области.

Срок доставки на указанных маршрутах меньше срока доставки в обычных грузовых поездах.

#### **4.2 Апробация методики оптимальной расстановки контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде**

Проведем апробацию алгоритма оптимальной расстановки контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде. Возьмем ранее сформированный в работе сборный маршрут: Приморский край, Иркутская область, Красноярский край, Свердловская область, Пермский край, Санкт-Петербург (см.



рис. 4.2). Матрица корреспонденций, полученная на основе модели (см. п.п. 4.1) представлена в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Матрица корреспонденций сборного маршрутного контейнерного поезда, ДФЭ

Пункт отправления контейнеров	Пункт назначения контейнеров					
	Приморский край	Иркутская область	Красноярский край	Свердловская область	Пермский край	Санкт-Петербург
Приморский край	0	23	36	54	4	9
Иркутская область	0	0	0	3	2	18
Красноярский край	0	0	0	12	6	18
Свердловская область	0	0	0	0	2	67
Пермский край	0	0	0	0	0	14
Санкт-Петербург	0	0	0	0	0	0

Сформируем исходную матрицу расстановки контейнеров.

Определим число групповых мест в поезде:  $K = 9+1 = 10$  мест. Следовательно, получим матрицу расстановки размером  $5 \times 10$ . По разработанной методике рассчитаем значения  $\alpha_{ik}(p, j)$  – число контейнеров, погруженных в пункте  $i$  назначением в пункт  $j$ , которые занимают  $k$ -е групповое место в контейнерном поезде – и сформируем матрицу расстановки контейнеров (табл. 4.9).

Цветом в матрице (табл. 4.9) выделены ячейки, где указан контейнеро-поток, подлежащий выгрузке в пункте, соответствующем номеру строки.

Таблица 4.9 – Исходная матрица расстановки контейнеров в поезде с попутными грузовыми операциями,  $\alpha_{lk}(p, j)$  (ДФЭ)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$r(i)$
$3_{(1,2)}$	$2_{(1,2)}$	$18_{(1,2)}$	$12_{(1,3)}$	$6_{(1,3)}$	$18_{(1,3)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(2,4)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(1,3)}$	$6_{(1,3)}$	$18_{(1,3)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(2,4)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(3,4)}$	$6_{(3,5)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(1,4)}$	$52_{(1,4)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	0
$3_{(4,6)}$	$2_{(2,5)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(4,6)}$	$6_{(3,5)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(4,5)}$	$52_{(4,6)}$	$4_{(1,5)}$	$9_{(1,6)}$	44
$3_{(4,6)}$	$2_{(5,6)}$	$18_{(2,6)}$	$12_{(4,6)}$	$6_{(5,6)}$	$18_{(3,6)}$	$2_{(5,6)}$	$52_{(4,6)}$	$4_{(5,6)}$	$9_{(1,6)}$	100

Вычислим значение критерия оптимальности  $R(\chi)$  для исходной матрицы:

$$R(0) = 44 + 100 = 144 \text{ ДФЭ.}$$

На практике, полученное значение  $R(\chi)$  означает, что при осуществлении грузовых операций с контейнерами на промежуточных станциях погрузчик выполняет излишний пробег  $144 \times 6,1 = 878,4$  метра.

На основе предложенного алгоритма выполним многократные транспозиции столбцов матрицы расстановки. Фрагмент работы алгоритма приведен на рис. 4.4.

Результат выполнения шагов алгоритма приведен в табл. 4.10.

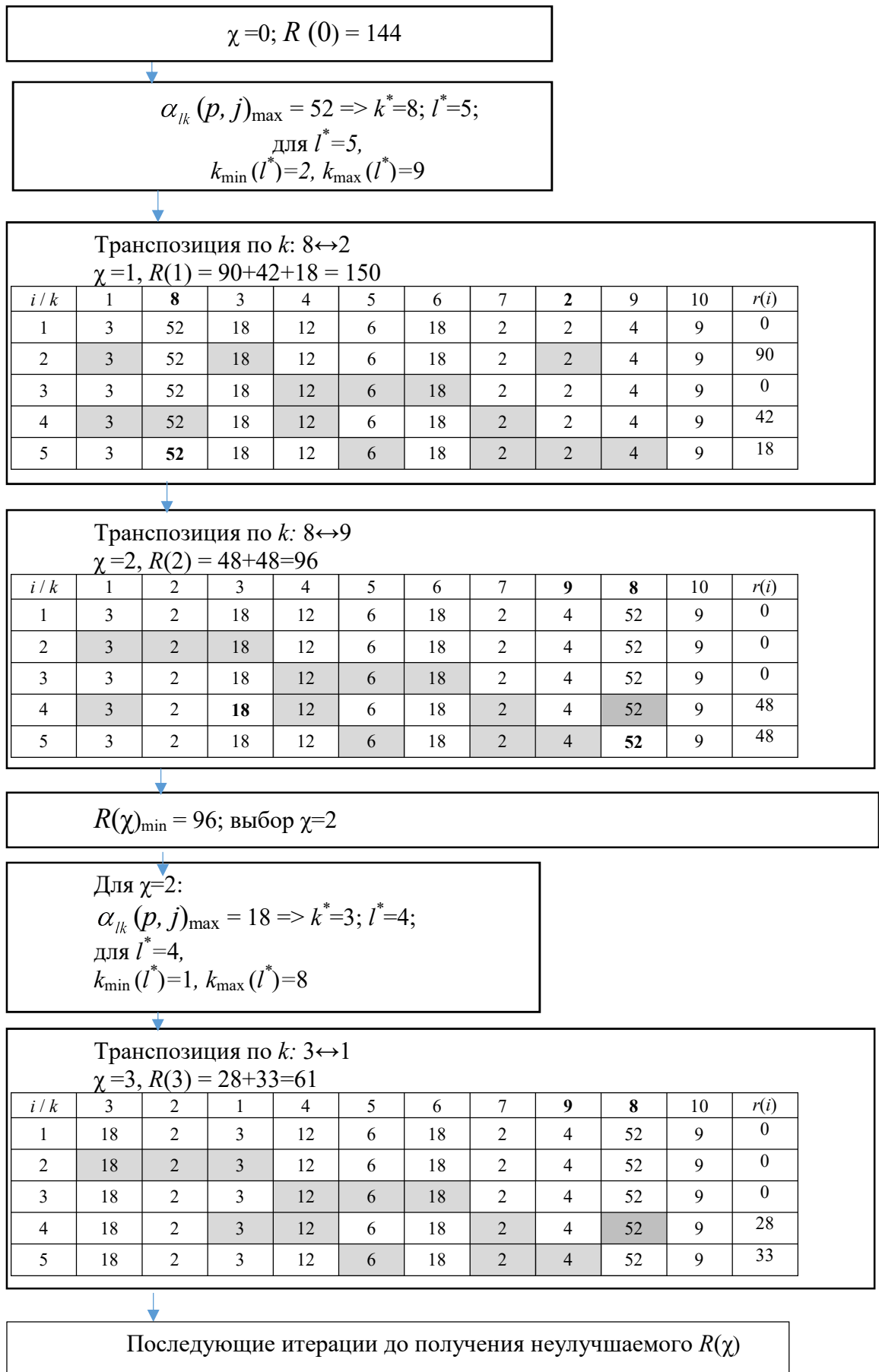


Рисунок 4.4– Апробация алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в СМКП (фрагмент)

Таблица 4.10 – Результат апробации алгоритма поиска оптимального размещения контейнеров в СМКП

Вариант решения	Выбранный наибольший элемент	Выбранный столбец	Выбранная строка	Транспозиция	Критерий $R(\chi)$	Выбор решения
$\chi$	$\alpha_{lk}(p, j)_{\max}$	$k^*$	$l^*$			
0	52	8	5	-	144	$R(\chi)_{\min} = 96$ $\chi=2$
1				$8 \leftrightarrow 2$	150	
2				$8 \leftrightarrow 9$	96	
3	18	3	4	$3 \leftrightarrow 1$	61	$R(\chi)_{\min} = 61$ $\chi=3$
4				$3 \leftrightarrow 8$	202	
5	18	6	4	$6 \leftrightarrow 1$	79	$R(\chi)_{\min} = 61$ $\chi=3$
6				$6 \leftrightarrow 8$	131	
7	18	6	5	$6 \leftrightarrow 2$	51	$R(\chi)_{\min} = 49$ $\chi=8$
8				$6 \leftrightarrow 9$	49	
9	12	4	5	$4 \leftrightarrow 2$	53	$R(\chi)_{\min} = 35$ $\chi=10$
10				$4 \leftrightarrow 7$	35	
11	6	5	4	$5 \leftrightarrow 1$	42	$R(\chi)_{\min} = 35$ $\chi=10$
12				$5 \leftrightarrow 8$	89	
13	4	9	3	$9 \leftrightarrow 5$	31	$R(\chi)_{\min} = 31$ $\chi=13$
14				$9 \leftrightarrow 6$	61	
15	4	9	4	$9 \leftrightarrow 1$	33	$R(\chi)_{\min} = 31$ $\chi=13$
16				$9 \leftrightarrow 8$	91	
17	3	1	5	$1 \leftrightarrow 2$	30	$R(\chi)_{\min} = 30$ $\chi=17$
18				$1 \leftrightarrow 5$	43	
19	2	2	4	$2 \leftrightarrow 1$	31	$R(\chi)_{\min} = 30$ $\chi=17$
20				$2 \leftrightarrow 8$	134	

В результате 17 итераций получена матрица расстановки контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде (табл. 4.11), дальнейшие итерации не приводят к уменьшению значения целевой функции  $R(17)_{\min} = 30$  ДФЭ.

Таблица 4.11 – Оптимальная матрица размещения контейнеров в СМКП

3	1	2	7	9	5	4	6	8	10	$r(i)$
18(1,2)	3(1,2)	2(1,2)	2(1,4)	4(1,5)	6(1,3)	12(1,3)	18(1,3)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(2,4)	2(2,5)	2(1,4)	4(1,5)	6(1,3)	12(1,3)	18(1,3)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(2,4)	2(2,5)	2(1,4)	4(1,5)	6(3,5)	12(3,4)	18(3,6)	52(1,4)	9(1,6)	0
18(2,6)	3(4,6)	2(2,5)	2(4,5)	4(1,5)	6(3,5)	12(4,6)	18(3,6)	52(4,6)	9(1,6)	30
18(2,6)	3(4,6)	2(5,6)	2(5,6)	4(5,6)	6(5,6)	12(4,6)	18(3,6)	52(4,6)	9(1,6)	0

Таким образом, при заданных условиях оптимизация размещения контейнеров в поезде позволяет сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах с  $144 \times 6,1 = 878,4$  метров до  $30 \times 6,1 = 183$  метра, то есть в 4,8 раза. Это позволит повысить скорость грузовых операций при перестановке контейнеров и сократить эксплуатационные затраты использования погрузочных механизмов контейнерного терминала.

### 4.3 Оценка экономической эффективности системы сборных маршрутных контейнерных поездов

По сравнению с традиционной технологией организации движения новая технология предполагает сортировку контейнеров, а не вагонов в пути следования сборного поезда. В связи с этим, экономический эффект организации сборного маршрутного контейнерного поезда предлагается оценивать с точки зрения сокращения эксплуатационных расходов, вызванных переработкой состава:

$$\Delta E = N_1 \times E_{\text{сорт}} - N_2 \times E_{\text{пер}}, \quad (4.1)$$

где  $E_{\text{сорт}}$  – эксплуатационные затраты переработки вагонопотока на сортировочной станции;

$E_{\text{пер}}$  – эксплуатационные затраты перегрузки контейнеров на промежуточном терминале маршрута;

$N$  – число сортировок (перегрузок) на маршруте, определяется числом назначений контейнеропотока в маршруте.

Затраты переработки поезда на сортировочной станции ( $E_{\text{сорт}}$ ) в основном определяются эксплуатационными расходами выполнения маневровых работ и зависят от времени выполнения маневров ( $T_{\text{м}}$ ) и расходной ставки, приходящейся на один локомотиво-час ( $e_{\text{м}}$ ) [81]:

$$E_{\text{сорт}} = e_{\text{м}} \times T_{\text{м}}, \quad (4.2)$$

Для оценки времени переработки поезда при традиционной технологии сборных грузовых поездов обратимся к исследованиям [82–87].

Согласно [85] простой вагонов на станциях переработки вагонопотока составляет 45% от общего времени доставки. Анализ показал, что время выполнения технологических операций переработки, а также непроизводительные простои вагонов в ожидании технологических операций представляют собой непрерывные случайные величины, подчиняющиеся нормальному закону распределения. На основе исследований автора и представленной в [85,87] статистической информации получены следующие параметры распределения случайной величины выполнения технологических операций, связанных с работой маневрового локомотива: математическое ожидание – 11,95 ч.; среднеквадратическое отклонение – 1,44 ч.

Расходную ставку одного маневрового локомотиво-часа ( $e_{\text{м}}$ ) примем на основе [88], проиндексировав значения на 2022 год с помощью данных [53]:  $e_{\text{м}} = 3940,5$  р. /локомотиво-час.

На основе этих параметров можем сформировать выражение для расчета затрат переработки вагонов на одной сортировочной станции маршрута,

как случайной величины:  $E_{\text{сорт}} = 3940,5 \times (11,95 + R \times 1,44)$ , где  $R$  – случайное равномерно распределенное число на интервале от  $-3$  до  $3$ .

В случае технологии сборного маршрутного контейнерного поезда вместо затрат на сортировку вагонов в пути возникают дополнительные эксплуатационные затраты, связанные с перегрузкой контейнеров на промежуточных терминалах, которые зависят от удельной часовой ставки работы контейнерного погрузчика ( $e_k$ ) и времени выполнения работ по перегрузке ( $T_{ГР}$ ):

$$E_{\text{пер}} = e_k \times T_{ГР}. \quad (4.3)$$

Время выполнения комплекса перегрузочных работ в свою очередь складывается из продолжительности выполнения непосредственно перестановки контейнеров, и времени пробега погрузчика вдоль поезда от одного контейнероместа, подлежащего переработке к другому. Выражение для расчета данного параметра, как случайной величины (в минутах), получено в настоящей работе ранее (см. п.п. 2.3):

$$T_{ГРj} = q_j \cdot 5,5 + \sum_0^{(q_j-1)} 0,025 \cdot r.$$

Удельную часовую ставку работы контейнерного погрузчика ( $e_k$ ) примем на основе [89], проиндексировав значение на 2022 год в размере 2094,7 р.

При равенстве числа сортировок и перегрузок ( $N_1 = N_2$ ), но разных объемах перегрузки на промежуточных терминалах, экономический эффект СМПК можно выразить:

$$\Delta E = \sum_j^N (e_m T_m - e_k T_{ГР}). \quad (4.4)$$

в относительных единицах:

$$\Delta E (\%) = \mathcal{E}_{\text{СМПК}} / Ne_m T_m, \quad (4.5)$$

На основе сформированных выражений смоделируем величину отклонения времени и затрат при замене операций переформирования поезда на операции перегрузки контейнеров.

Результаты численных экспериментов приведены на рис. 4.4 – 4.5.

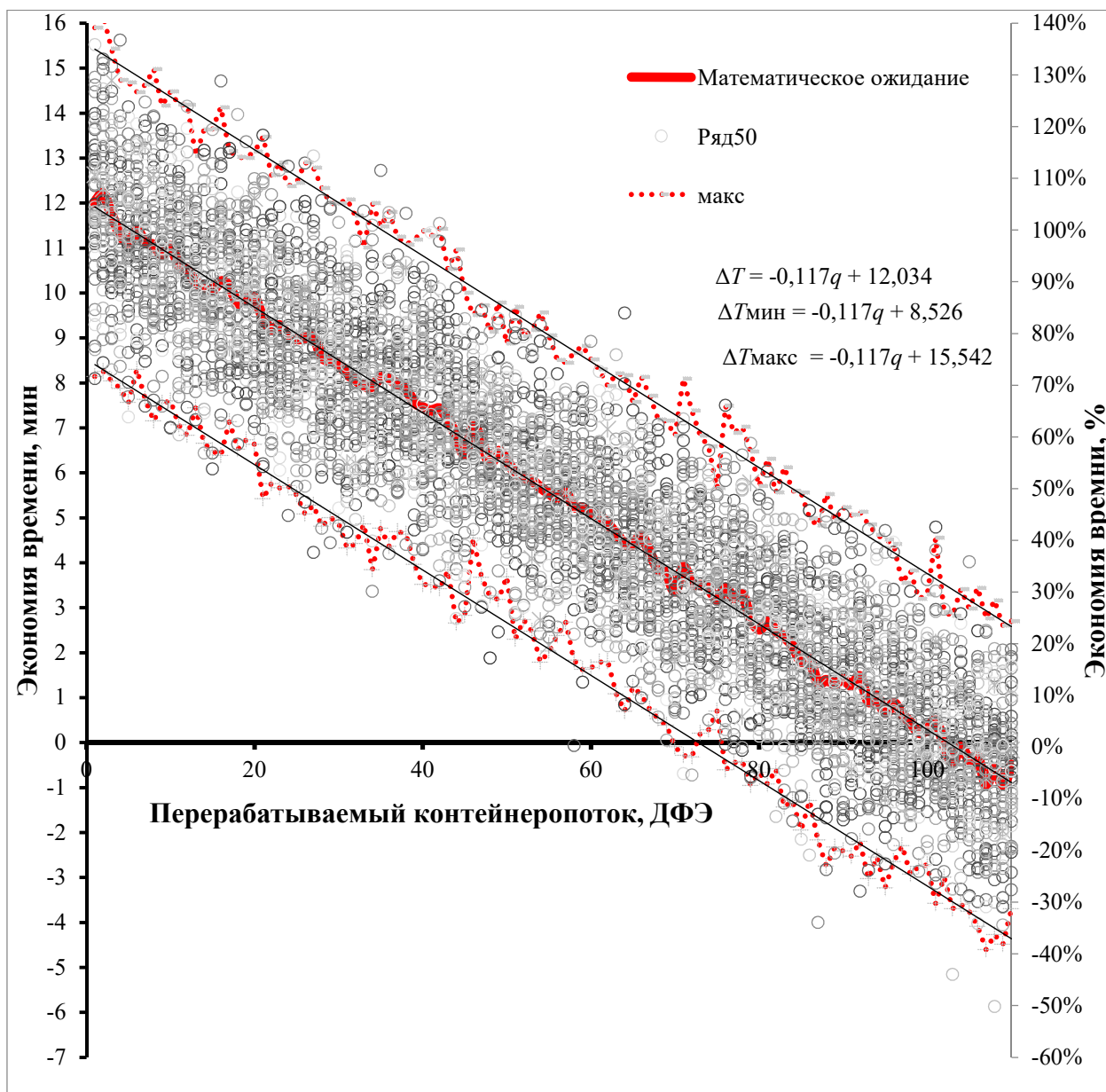


Рисунок 4.4 – Оценка экономии времени одной переработки поезда

$$(\Delta T = T_{\text{м}} - T_{\text{гр}})$$



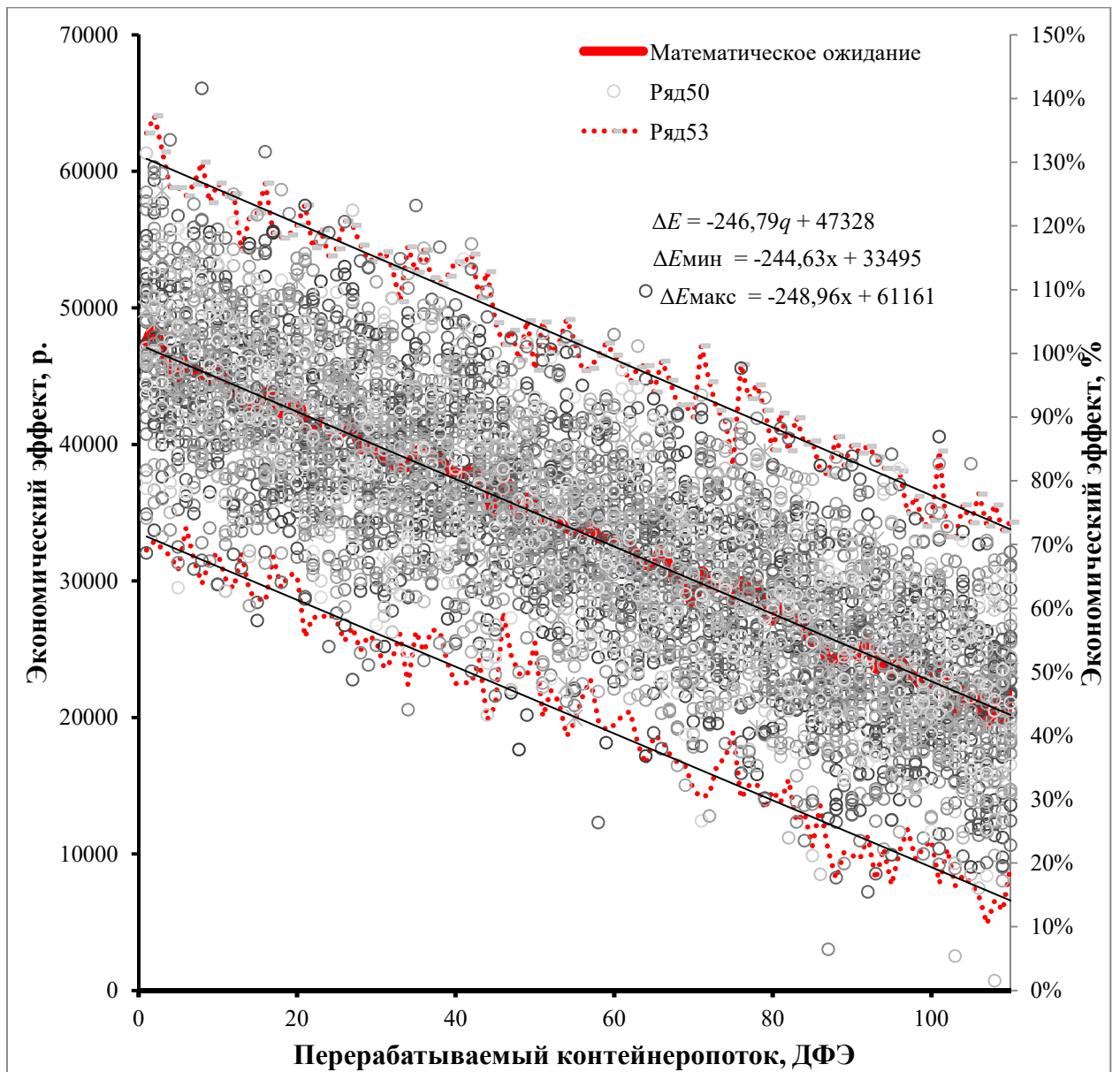


Рисунок 4.5 – Оценка экономического эффекта СМКП по сравнению со сборным грузовым поездом ( $\Delta E = e_m T_m - e_k T_{гр}$ )

Таким образом, величина экономического эффекта технологии СМКП по сравнению с обычными сборными поездами обратно зависит от объема перерабатываемого контейнеропотока на промежуточных терминалах: чем меньше объем перегрузки контейнеров, тем выше величина эффекта. Методом наименьших квадратов была установлена линейная зависимость величины экономического эффекта от объемов переработки контейнеропотока:  $\Delta E = -246,79q + 47328$  рублей в расчете на одну переработку.

При этом на основе моделирования установлено, экономия времени переработки поезда при использовании СМКП достигается в случае объема переработки не более 102 ДФЭ. А экономия эксплуатационных затрат присутствует при любых объемах перегрузки (в пределах нормативной длины состава) за счет более низкой ставки затрат использования контейнерного перегружателя по сравнению с маневровым локомотивом.

Применим полученные зависимости, чтобы обосновать экономический эффект для сформированных в настоящей работе маршрутов СМКП (табл. 4.12 – 4.14).

Таблица 4.12 – Расчет экономического эффекта для сборного маршрутного контейнерного поезда: Приморский край – Смоленская область

Маршрут: Приморский край – Смоленская об- ласть	Регион переработки				Итого эконо- миче- ский эф- фект СМКП, р.
	Свердлов- ская обл.	Татарстан	Нижего- родская обл.	Москва	
Объем перегрузки, ДФЭ	33	7	10	76	
Средняя экономия эксплуатационных затрат, р	39 183,93	45 600,47	44 860,1	28 571,96	<b>158 216,46</b>
Доверительный интервал для сред- него (95 %)	(25422,21; 52945,32)	(31782,59; 59418,28)	(31048,7; 58671,4)	(14903,12; 42240,04)	<b>(103 156,62; 213 275,04)</b>

Таблица 4.13 – Расчет экономического эффекта для сборного маршрутного контейнерного поезда: Приморский край – Санкт-Петербург

Маршрут: Приморский край – Санкт- Петербург	Регион переработки				Итого эконо- миче- ский эф- фект СМКП, р.
	Иркутская обл.	Краснояр- ский край	Свердлов- ская обл.	Пермский край	
Объем перегруз- ки, ДФЭ	23	36	70	14	
Средняя эконо- мия эксплуатаци- онных затрат, р	41651,83	38443,56	30052,7	43872,94	<b>154 021,03</b>
Доверительный интервал для среднего (95 %)	(27868,51; 55434,92)	(24688,32; 52198,44)	(16370,9; 43733,8)	(30070,18; 57675,56)	<b>(98 997,91; 209 042,72)</b>

Таблица 4.14 – Расчет экономического эффекта для сборного маршрутного контейнерного поезда: Забайкальский край – Смоленская область

Маршрут: Забайкальский край – Смоленская область	Регион переработки	<b>Итого экономический эффект СМКП, р.</b>
	Москва	
Объем перегрузки, ДФЭ	43	
Средняя экономия эксплуатационных затрат, р	36716,03	<b>36 716</b>
Доверительный интервал для среднего (95 %)	(22975,91; 50455,72)	<b>(22 975,9; 50 455,7)</b>

Итак, технология сборного маршрутного контейнерного поезда позволяет получить экономический эффект в связи с сокращением эксплуатационных затрат переработки поезда в пути следования.

Кроме того, по сравнению с обычными сборными поездами рассматриваемая технология позволит повысить оборачиваемость контейнерного парка и вагонов за счет ускорения доставки контейнеров [90–94].

Ускорение доставки и повышение надежности транспортного сервиса в свою очередь позволит повысить конкурентоспособность железнодорожных контейнерных перевозок и обеспечит привлекательность транзитных перевозок Китай-Европа-Китай по сети ОАО «РЖД».

#### **4.4 Перспективы практической реализации сборных маршрутных контейнерных поездов на основе цифровизации и обмена данными**

Успешная реализация технологии сборных маршрутных контейнерных поездов возможна при наличии оперативной достоверной информации о спросе на контейнерные перевозки в каждом регионе и/или транспортном узле, включаемом в сеть СМКП, о пропускной способности инфраструктуры,

наличии порожних контейнеров, вместимости и загруженности контейнерных площадок и терминалов в каждый момент времени.

В настоящее время на рынке железнодорожных контейнерных перевозок функционирует множество конкурирующих транспортных компаний, в том числе ПАО «ТрансКонтейнер», «РЖД Логистика», «ТрансКонтейнер», «ОТЛК», «Белинтертранс», «ТрансРэйл-БЧ», «ИнтерРейл Холдинг», «ДБ Шенкер», «Транс-Евразия Лоджистикс» и другие.

Каждая компания самостоятельно выстраивает отношения с клиентами-грузовладельцами, преследуя собственные экономические интересы, и разрабатывает конкурентные транспортные услуги. В этих условиях невозможно получить полную оперативную информацию о транспортном спросе в каждом узле транспортной сети и планировать маршруты и расписания контейнерных поездов по предложенной технологии. Грузовладельцы в свою очередь также не располагают информацией о возможных альтернативных способах отправки грузов и не имеют возможности оперативно спланировать доставку.

В связи с этим возникает необходимость формирования единой цифровой платформы для контейнерных перевозок, которая бы абсорбировала всю имеющуюся информацию о транспортном спросе и предложении и формировала конкурентоспособные и экономически привлекательные варианты организации сборных маршрутных контейнерных поездов.

Мировая практика демонстрирует положительный опыт применения цифровых технологий обмена данными на транспортном рынке [95–96]. Среди наиболее успешных проектов в этой сфере стоит отметить платформы:

- eFreight (система сопровождения грузовых воздушных перевозок в Европейском союзе) [97],
- LOGINK(информационная система, позволяющая интегрировать информационные потоки всех железнодорожных станций, аэропортов и портов КНР) [98],

– SP-IDC (интегрированная информационная система судоходства и портовой логистики Кореи) [99],

– COLINS (система информационного взаимодействия и мониторинга товарно-транспортных потоков на морском и железнодорожном транспорте Японии) [100].

Схематично функционирование цифровой платформы для контейнерного бизнеса представлено на рис. 4.5.

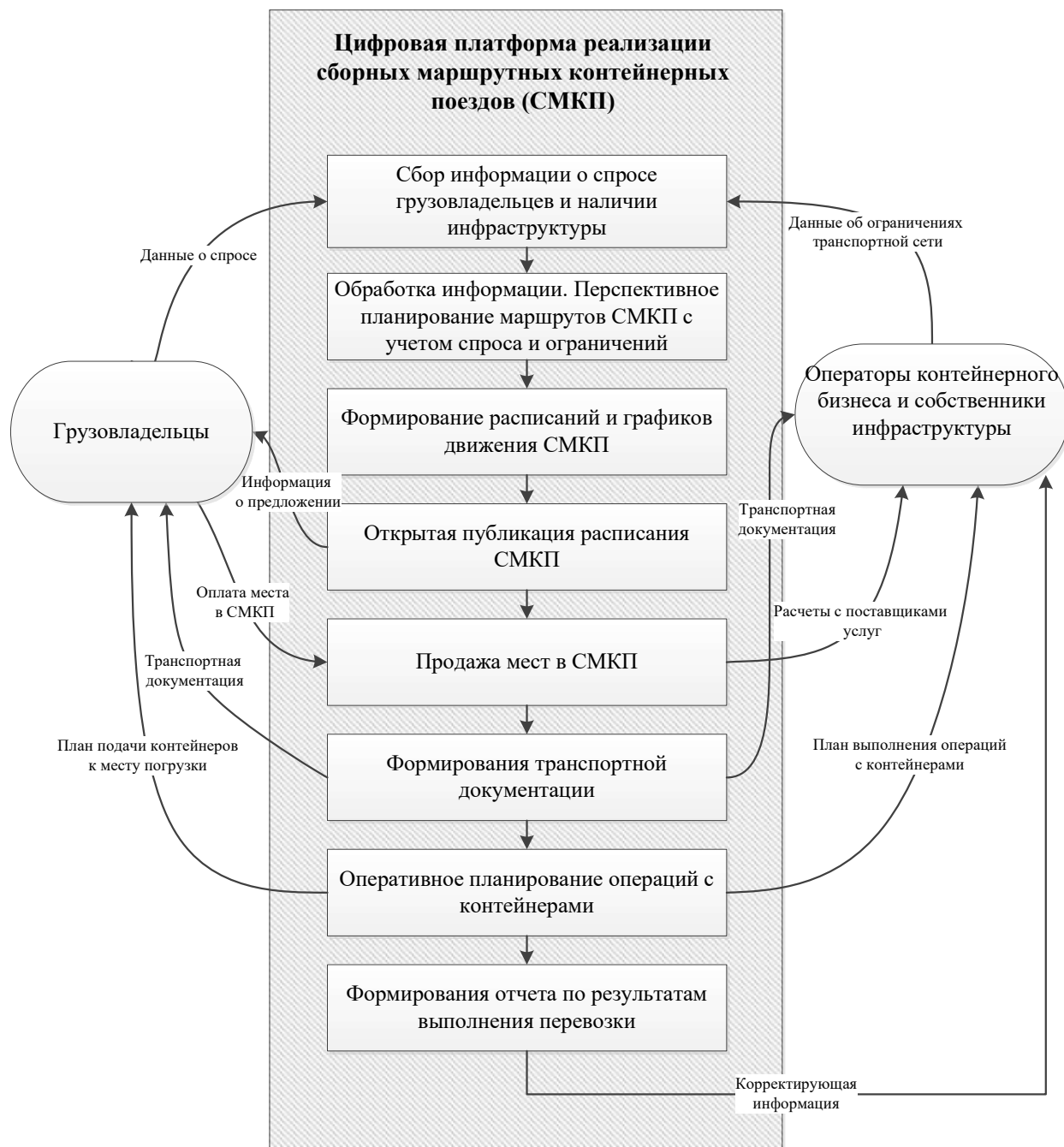


Рисунок 4.5 – Функционал цифровой платформы для СМКП

Предлагаемая цифровая платформа создается для реализации следующих целей:

- сбор информации и открытый обмен данными всех заинтересованных лиц;
- планирования маршрутов, расписаний и операций с контейнерами с помощью автоматизированных алгоритмов;
- централизованное взаимодействие грузовладельцев и операторов контейнерной перевозки, в том числе продажа мест в поезде, формирование транспортной документации, передача оперативной информации об операциях с контейнерами.

Взаимодействие с грузовладельцем в рамках предлагаемой технологии предполагается по принципу «одного окна». Через интернет-сайт или мобильное приложение клиент получает информацию о существующих маршрутах и расписаниях СМКП и покупает необходимое количество мест в контейнерном поезде. В ответ система в автоматическом режиме выдает сообщение о времени и пункте подачи контейнера и его месте в поезде, а также формирует необходимые транспортные документы, в том числе электронную транспортную накладную. Таким образом, взаимодействие с грузовладельцем происходит аналогично покупке билета пассажиром.

На наш взгляд, такой способ организации контейнерных перевозок позволит не только обеспечить очевидные экономические выгоды, но и позволит повысить прозрачность транспортного сервиса для клиентов, что сделает железнодорожные перевозки грузов в контейнерах более конкурентоспособными.

#### **Выводы к главе 4.**

1. Проведена апробация модели поиска оптимального маршрута сборного маршрутного контейнерного поезда и алгоритма планирования набора

СМКП на заданной транспортной сети и установленном уровне спроса. Апробация проведена для транспортной сети доставки грузов в контейнерах от восточных до западных границ России и для реальных среднестатистических данных о контейнерном спросе пунктов входящих в заданную сеть. Алгоритм позволил сформировать 9 регулярных маршрутов движения СМКП, которые обеспечивают доставку транзитного контейнеропотока из Китая через территорию РФ в интеграции с экспортно-импортными и внутренними потоками.

2. Проведена апробация методики оптимального размещения контейнеров в СМКП на примере сформированного ранее маршрута поезда из Приморского края к западной границе РФ с остановками в промежуточных пунктах в регионах для грузовых операций. При заданных условиях оптимизация размещения контейнеров в поезде позволяет сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах в 4,8 раза. Это позволит повысить скорость грузовых операций при перестановке контейнеров и сократить эксплуатационные затраты использования погрузочных механизмов контейнерного терминала.

3. Проведена оценка экономического эффекта использования технологии сборных маршрутных контейнерных поездов с точки зрения сокращения эксплуатационных расходов, вызванных переработкой состава. Проведено моделирование времени и эксплуатационных затрат переработки поезда при двух вариантах технологии: в случае переработки состава на сортировочной станции и в случае перегрузки контейнеров на промежуточном терминале маршрута. На основе экспериментов установлено, что величина экономического эффекта зависит от объема перерабатываемого контейнеропотока и числа переработок. Так, например, для сформированного СМКП Приморский край – Смоленская область с четырьмя остановками и перегрузкой 126 ДФЭ на промежуточных терминалах получена величина эффекта 158 216 руб.; для СМКП Приморский край – Санкт-Петербург с четырьмя остановками и перегрузкой 143ДФЭ на промежуточных терминалах – 154 021 руб.; для

СМКП Забайкальский край – Смоленская область с одной остановкой и перегрузкой 43 ДФЭ – 36 716 руб.

4. Даны рекомендации по практической реализации технологии сборных маршрутных контейнерных поездов на основе современных цифровых технологий обмена данными. Предложено формирование единой цифровой платформы, которая бы абсорбировала всю имеющуюся информацию о транспортном спросе и предложении и формировала конкурентоспособные и экономически привлекательные варианты организации сборных маршрутных контейнерных поездов, а также обеспечивала взаимодействие с грузовладельцами по принципу «одного окна». Это позволит повысить прозрачность транспортного сервиса для клиентов, что сделает железнодорожные перевозки грузов в контейнерах более конкурентоспособными.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы поставленные цели достигнуты, задачи решены. Основными результатами работы являются следующие положения:

1. Обоснована практическая и научная актуальность задачи формирования эффективной системы железнодорожных контейнерных перевозок и поиска новых технологий организации контейнерных поездов.

2. Предложена технология сборного маршрутного контейнерного поезда (СМКП), то есть контейнерного поезда с установленным маршрутом движения и расписанием, следующего от начальной до конечной станции маршрута без реформирования состава, но с выполнением грузовых операций по погрузке/выгрузке контейнеров на промежуточных остановках маршрута. Реализация данной технологии позволит сократить время доставки контейнеров за счет исключения сортировочных и маневровых операций в пути следования, упростить процедуру отправки грузов в контейнерах для грузо-владельцев. При этом исключается необходимость накопления на терминале партии контейнеров на полный маршрут и соблюдается условие нормативной длины поезда.

3. Сформированы требования к инфраструктуре и технико-технологические условия реализации сборных маршрутных контейнерных поездов. Установлено, что реализация предлагаемого подхода не требует масштабного развития контейнерной инфраструктуры и существенного расширения контейнерных площадок, так как в рамках технологии СМКП не предусмотрено длительное накопление контейнеропотока на терминалах, а подача контейнеров точно ко времени загрузки поезда. Кроме того, это позволит формировать увязанное со временем прибытия поезда расписание подвоза/вывоза контейнеров и осуществлять погрузку снятого с автомобиля контейнера сразу на фитинговую платформу и наоборот.

4. Проведено моделирование времени выполнения грузовых операций на промежуточных станциях маршрута движения СМКП на основе метода статистических испытаний Монте-Карло. Результаты моделирования показали, что до 23 % времени на погрузку/выгрузку контейнеров приходится на непроизводительный пробег погрузчика вдоль поезда от одного контейнероместа, подлежащего смене к другому. Учитывая случайность этой величины, размах вариации времени может составлять до 27 минут. Такая вариация затрудняет четкое планирование операций и создает риски для надежной отправки состава по расписанию. Это обуславливает необходимость разработки методики обоснованной расстановки контейнеров в СМКП с целью минимизации времени непроизводительного пробега погрузчика и снижения неопределенности.

5. Разработан авторский алгоритм оптимизации размещения контейнеров в сборном маршрутном контейнерном поезде на основе методов частичного перебора. Алгоритм позволяет сократить излишний пробег погрузчика в промежуточных пунктах движения СМКП, что обеспечивает ускорение грузовых операций при перестановке контейнеров и сокращение эксплуатационных затрат использования погрузочных механизмов контейнерного терминала. Предложенный алгоритм позволяет существенно сократить число итераций поиска решения по сравнению с методом полного перебора и имеет возможность программной реализации.

6. Разработана графоаналитическая модель формирования альтернативных маршрутов движения сборных маршрутных контейнерных поездов (СМКП), сформированы основные требования к модели и формализованы ее параметры.

7. Разработана экономико-математическая модель поиска оптимального маршрута движения сборного маршрутного контейнерного поезда (СМКП) по критерию времени доставки с учетом ограничений спроса на контейнерные перевозки и обеспечения заданной загрузки контейнерного поезда на каждом участке его движения.

8. Предложен пошаговый алгоритм планирования контейнерных поездов на заданной транспортной сети. Алгоритм работает таким образом, что на каждом шаге назначается прямой маршрутный или сборный маршрутный контейнерный поезд, при этом часть контейнеропотока, распределенная в маршрут, исключается из матрицы спроса. Результатом работы алгоритма является перечень прямых и сборных маршрутных контейнерных поездов, отправляемых ежедневно и с установленным интервалом при накоплении, а также остаточный контейнеропоток, не включаемый в маршруты для отправки в составе обычных сборных контейнерных поездов.

9. Для решения оптимизационной задачи поиска маршрутов движения СМКП разработана модель в среде MS Excel, которая позволяет с помощью алгоритма обобщенного приведенного алгоритма находить наилучший с точки зрения времени доставки маршрут, удовлетворяющий всем ограничениям задачи. Апробация алгоритма на гипотетической транспортной сети и при заданном спросе показала принципиальную работоспособность и модели и возможность ее использования на практике.

10. Проведена апробация разработанных моделей и алгоритмов. Апробация проведена для транспортной сети доставки грузов в контейнерах от восточных до западных границ России и для реальных среднестатистических данных о контейнерном спросе пунктов входящих в заданную сеть. Алгоритм позволил сформировать 9 регулярных маршрутов движения СМКП, которые обеспечивают доставку транзитного контейнеропотока из Китая через территорию РФ в интеграции с экспортно-импортными и внутренними потоками. Методика оптимального размещения контейнеров в поезде позволила найти такой план загрузки СМКП в каждом пункте его движения, который позволяет сократить излишний пробег погрузчика: при заданных условиях алгоритм обеспечил сокращения непроизводительного пробега погрузчика в 4,8 раза.

11. Проведена оценка экономического эффекта использования технологии сборных маршрутных контейнерных поездов с позиции сокращения

эксплуатационных расходов, вызванных переработкой состава. На основе моделирования установлено, что величина экономического эффекта зависит от объема перерабатываемого контейнеропотока и числа переработок. Для сформированного СМКП Приморский край – Смоленская область с четырьмя остановками и перегрузкой 126 ДФЭ на промежуточных терминалах получена величина эффекта 158 216 руб.; для СМКП Приморский край – Санкт-Петербург с четырьмя остановками и перегрузкой 143 ДФЭ на промежуточных терминалах – 154 021 руб.; для СМКП Забайкальский край – Смоленская область с одной остановкой и перегрузкой 43 ДФЭ – 36 716 руб.

12. Даны рекомендации по практической реализации технологии сборных маршрутных контейнерных поездов на основе современных цифровых технологий обмена данными. Предложено формирование единой цифровой платформы, которая бы абсорбировала всю имеющуюся информацию о транспортном спросе и предложении и формировала конкурентоспособные и экономически привлекательные варианты организации сборных маршрутных контейнерных поездов, а также обеспечивала взаимодействие с грузовладельцами по принципу «одного окна».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, П. Ю. Анализ исторической динамики и основных драйверов роста контейнерных перевозок/ П. Ю. Шевченко //Наука и образование сегодня. – 2018. – № 5 (28). – С. 38–40.
2. Starkov, A. V. Container transportation as a step towards the world globalization / A.V. Starkov //LinguaNet. – 2020. – С. 287–290.
3. Горина, В. В. Эволюция контейнерных перевозок, их проблемы и путь решения в РФ / В.В. Горина, М.Е. Федоров // Современные условия взаимодействия науки и техники. – 2019. – С. 20–22.
4. Reinhardt, F. L. Maersk Line and the Future of Container Shipping / F. L. Reinhardt, R. Casadesus-Masanell, F. Nellesmann //Harvard Business School Case Study. – 2012. – С. 9–712.
5. Никода, К. В. Текущее состояние и прогноз рынка контейнерных перевозок в России/ К.В. Никода //Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2013. – №. 5 (48). – С. 46–51.
6. Антонович, К. А. Анализ контейнерных перевозок морским транспортом в международных цепях поставок: статистика и прогнозы / К.А. Антонович //Таможенные чтения-2020. Стратегия развития 2030. Вызовы времени. Наука и инновации. – 2020. – С. 15–19.
7. Ценина, Е. В. Прогноз развития рынка контейнерных перевозок Китая / Е.В. Ценина //Логистика: современные тенденции развития. – 2020. – С. 143–147.
8. Manova, V. A., Factors determining the formation of innovative logistics complexes / V. A. Manova, A. S. Lebedeva //Transportation Systems and Technology. – 2020. – Т. 6. – №. 2. – С. 129–144.
9. Панишко, Е. П. Анализ особенностей и динамики развития контейнерных перевозок грузов / Е. П. Панишко //Ученые записки Санкт-Петербургского имени ВБ Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2011. – №. 1 (38). – С. 107-121.

10. Besharati, B. The ways to maintain sustainable China-Europe block train operation / B. Besharati et al //Business and Management Studies. – 2017. – Т. 3. – №. 3. – С. 25–33.
11. ПАО «ТрансКонтейнер»: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://trcont.com/>
12. Международные транспортные коридоры на евразийском пространстве. Развитие широтных маршрутов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://index1520.com/analytics/mezhdunarodnye-transportnye-koridoryna-evraziyskom-prostranstve-razvitie-shirotnykh-marshrutov/>
13. Егоров, В. Г. Геополитика транспортных коридоров /В.Г. Егоров//Геоэкономика энергетики. – 2021. – Т. 14. – №. 2. – С. 6–31.
14. Лисицын, А. Л. Перевозки крупнотоннажных контейнеров в два яруса / А. Л. Лисицын, Ю. М. Лазаренко, В. А. Вологин [и др.] //Железнодорожный транспорт. – 2002. – №. 8. – С. 33-35.
15. Oláh, J. Evolution of Freight Villages and Dry Ports from the macro logistics perspective European J. Benchmarking 2020 / J. Oláh //Periodica polytechnica-transportation engineering. – 2021. – С. 1–15.
16. Абитов, К. Международный опыт развития транспортно-логистических центров /К. Абитов, С. Беспалый //Știință, educație, cultură. – 2020. – Т. 1. – С. 62-66.
17. Varese, E. Freight Village as Dry Port: An Ongoing Italian Case Study / E. Varese, D. S Marigo //Handbook of Research on Recent Perspectives on Management, International Trade, and Logistics. – IGI Global, 2021. – С. 20-38.
18. Троилин, В. В. Эффективное взаимодействие сухих и морских портов как фактор конкурентных преимуществ на транспортном рынке / В. В. Троилин, И. А. Арустамов // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 65. – С. 117-130.
19. Zhang, Y. Radiation Range and Carrying Capacity of Logistics Core City: The Case of Xi'an, China / Y. Zhang // LISS2019. – Springer, Singapore, 2020. – С. 901–920.

20. Новиков, А. В. Зарубежный опыт развития транспортно-логистических комплексов / А. В. Новиков, Т. Е. Новикова, С. А. Фоломкина // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 8-7. – С. 102-108.
21. Дикинов, А. Х. Развитие рынка транспортно-логистических услуг в России и США / А. Х. Дикинов, Л. В. Хончукаева // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2015. – № 4(66). – С. 66-72.
22. Головина, Т. Флекситанки и драйлайнеры для развития контейнеризации / Т. Головина // Логистика. – 2010. – № 1. – С. 22-24.
23. Шишляникова, М. А. Флекситанк, как вариант повышения уровня безопасности перевозки наливных грузов / М. А. Шишляникова, Д. В. Топоева // Инновационные технологии - 2019 : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Казань, 26 ноября 2019 года. – Казань, : Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2019. – С. 99-102.
24. Королева, Е. А. Цифровизация системы контейнерных перевозок / Е. А. Королева, А. С. Сурнина, Е. В. Филатова // Транспортное дело России. – 2020. – № 1. – С. 152-155.
25. Эглит, Я. Я. Цифровизация контейнерных перевозок и их влияние на логистику / Я. Я. Эглит, О. Ю. Огальцова, А. В. Андорская, М. А. Шаповалова // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 4(22). – С. 40-46.
26. Москвичев, О. В. Обзор российского и зарубежного опыта методических разработок в области развития контейнерных перевозок / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, Д. В. Васильев // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 1(79). – С. 77-86.
27. Москвичев, О. В. Модели, методы и алгоритмы оптимизации контейнерно-транспортной системы железнодорожного транспорта на основе кластерного подхода / О. В. Москвичев // Транспорт Урала. – 2017. – № 2. – С. 18-27.

28. Сай, В. М. Моделирование оценки потребности региона в контейнерных перевозках / В.М. Сай, Д.И. Кочнева // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – №. 4. – С. 160-178.

29. Сай, В. М. Модель оценки взаимодействия контейнерной организационной сети и региона / В. М. Сай, Д. И. Кочнева // Регион: системы, экономика, управление. – 2018. – № 1(40). – С. 183-191.

30. Чан, Х. Модель планирования маршрутных контейнерных поездов с грузовыми операциями в пути следования / Х. Чан, Д.И. Кочнева // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – №. 4. – С. 46-55.

31. Вакуленко, С. П. Экономические параметры перевозок поездами "Холодный экспресс" на примере маршрута Владивосток-Москва-Санкт-Петербург / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, М. И. Мехедов [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79. – № 6. – С. 319-326.

32. Локша, А. В. Методические аспекты расчета эффективности логистических процессов доставки грузов из владивостока в западные регионы страны/ А.В. Локша // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2020. – Т. 9. – №. 1 (30). – С. 206-210.

33. Деружинский, Г. В. Использование ускоренных контейнерных поездов как способ оптимизации экспорта каучука / Г. В. Деружинский, Э. К. Аблязов, А. С. Витвицкий // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2021. – № 2(35). – С. 37-42.

34. Куликова, В. А. Проблемы развития транзитного потенциала на Дальнем Востоке и пути их решения / В. А. Куликова // Власть и управление на Востоке России. – 2017. – № 2(79). – С. 198-203.

35. Юдникова, Е. С. Методологические аспекты организации контейнерных железнодорожных перевозок транспортными организациями / Е.С. Юдникова // Известия Байкальского государственного университета. – 2021. – Т. 31. – №. 1. – С. 80-89.



36. Куренков, П.В. Интермодальные и мультимодальные перевозки в транспортных коридорах Европы и Азии / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 73-77.

37. Паршина, Р. Н. Логистика транссибирских контейнерных перевозок / Р. Н. Паршина ; Паршина Р. Н. ; Российская акад. наук, ВИНТИ. – Москва : [ВИНИТИ РАН], 2008. – ISBN 978-5-902928-24-9.

38. Кириллова, А. Г. Методология организации контейнерных и контейнерных перевозок в мультимодальных автомобильно-железнодорожных сообщениях : специальность 05.22.01 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кириллова Алевтина Григорьевна. – Москва, 2010. – 335 с.

39. Ларин, О. Н. Перспективы интеграции транспортных систем Евразийского экономического союза / О.Н. Ларин // Проблемы национальной стратегии. – 2017. – №. 4. – С. 43.

40. Миротин, Л.Б. Перспективы развития российско-китайских трансграничных транспортных коридоров на Дальнем Востоке / Л. Б. Миротин, О. Н. Ларин, А. А. Никулин, Д. Э. Тарасов // Инновационный транспорт. – 2018. – № 1(27). – С. 3-7.

41. Басыров, И. М. Реализация транспортной продукции контейнерного оператора в условиях применения дифференцированных длин блок-поездов / И. М. Басыров // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 4. – С. 27-33.

42. Басыров, И. М. Укороченные контейнерные блок-поезда в мультимодальных перевозках / И. М. Басыров, Г. М. Биленко, М. А. Басыров // Бюллетень транспортной информации. – 2020. – № 1(295). – С. 4-9.

43. Велиева, Е. А. Особенности развития контейнерных перевозок в Дальневосточном регионе / Е. А. Велиева, О. В. Садовская // Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы : Ма-

териалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 3 томах, Хабаровск, 21–22 октября 2015 года / Дальневосточный государственный университет путей сообщения; Под редакцией В.А. Подоба. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2015. – С. 35-39.

44. Болдбаатар, Н. Особенности определения затрат грузовладельцев при перевозках грузов в контейнерах / Н. Болдбаатар // Транспортное дело России. – 2016. – № 6. – С. 109-110.

45. Kochneva, D. Estimation of container system development in a region / D. Kochneva, V. Say, V. Parshina // MATEC Web of Conferences : 10th International Scientific and Technical Conference "Polytransport Systems", PTS 2018, Tomsk, 15–16 ноября 2018 года. – Tomsk: EDP Sciences, 2018. – P. 02022.

46. Мамонтов, И. Ю. Совершенствование организации перевозок грузов в контейнерах с применением опорной сети контейнерных накопительно-распределительных центров : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мамонтов Иван Юрьевич. – Москва, 2013. – 300 с.

47. Кочнева, Д.И. Интегрированное управление контейнерной транспортной системой региона / Д.И. Кочнева, В.М. Сай // Экономика региона, 2021. – Т.17. – № 4. – С. 1270 – 1285.

48. Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&referer=LayerId=5103&id=5932](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&referer=LayerId=5103&id=5932)

49. Konings, R. Major considerations in developing a hub-and-spoke network to improve the cost performance of container barge transport in the hinterland: the case of the port of Rotterdam/ R. Konings, E. Kreutzberger, V Maraš //Journal of Transport Geography. – 2013. – Т. 29. – С. 63-73.

50. Feng, M. Optimization of Drop-and-Pull transport network based on shared freight station and Hub-and-Spoke network / M. Feng, Y Cheng //J. Européen des Systèmes Automatisés. – 2019. – Т. 52. – №. 5. – С. 457-464.

51. Huang D. Multimodal transit network design in a hub-and-spoke network framework //Transportmetrica A: Transport Science. – 2018. – Т. 14. – №. 8. – С. 706-735.

52. Статистический ежегодник Китая [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.stats.gov.cn/>

53. Федеральная служба государственной статистики РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/>

54. Внешняя торговля России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russian-trade.com/>

55. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kremlin.ru/acts/bank/43027>

56. У, Т. Проблемы функционирования механизма сотрудничества Китая с партнерами в рамках проекта "один пояс, один путь" / Т. У // Вопросы национальных и федеративных отношений. – 2020. – Т. 10. – № 4(61). – С. 940-945.

57. Главацкая, Т. В. Актуальность контейнерных перевозок / Т.В. Главацкая//Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – №. 6. – С. 113-116.

58. Чан, Х. Технология сборного маршрутного контейнерного поезда - СМКП / Х. Чан // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 6(37). – С. 143-145.

59. Москвичев, О. В. Организация функционирования контейнерно-транспортной системы на основе клиентоориентированности / О.В. Москвичев// Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические

платформы и решения в глобализованной цифровой экономике. – 2019. – С. 263–267.

60. РЖД готовят передел контейнерного рынка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vgudok.com/>

61. Левин, Д. Ю. Диспетчерское управление организацией вагонопотоков и перевозок / Д. Ю. Левин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2018. – 301 с. – (Научная мысль). – ISBN 978-5-16-013482-6.

62. Единый сетевой технологический процесс железнодорожных грузовых перевозок, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docplayer.com/35225030-Edinyy-setevoy-tehnologicheskiiy-process-zheleznodorozhnyh-gruzovyh-perevozok.html>

63. Чан, Х. Моделирование продолжительности грузовых операций на станциях маршрута движения сборного маршрутного контейнерного поезда / Х. Чан // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4(52). – С. 111-117.

64. Максимов, П. А. Многовершинные графы: поиск оптимального решения транспортных проблем / П. А. Максимов, В. К. Симаков, В. Р. Говоров // Транспортное дело России. – 2020. – № 2. – С. 94-96.

65. Савельев, М. В. О сложности одной задачи комбинаторной оптимизации / М. В. Савельев // Математические машины и системы. – 2016. – № 4. – С. 106-110.

66. Чан, Х. Методика оптимального размещения контейнеров в поездах при наличии грузовых операций в пути следования / Д. И. Кочнева, С. В. Сизый, Х. Чан // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – № 1(92). – С. 174-193.

67. Fischetti, M. An additive approach for the optimal solution of the prizecollecting travelling salesman problem / M. Fischetti P Toth., // Vehicle Routing: Methods and Studies. North-Holland, 1988. – P. 319–343.

68. Семенов, С.С. Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера / С. С. Семенов, А. В. Педан, В. С. Воловиков, И. С. Климов // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 1. – С. 116-131.

69. Резер, С. М. Совершенствование системы тарифов на железнодорожные транзитные контейнерные перевозки / С.М. Резер // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. – № 9. – С. 3–7

70. Музычин, В. В. Решение транспортной задачи применительно к грузовым железнодорожным перевозкам / В. В. Музычин // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. – 2017. – № 1. – С. 38-47.

71. Элементы теории графов / Б. В. Симонов, О. А. Авдеюк, И. Э. Симонова, И. А. Тарасова. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2014. – 80 с.

72. Сай, В. М. Оценка методом линейной сверстки частных критериев вариантов маршрутной сети пассажирских перевозок / В.М. Сай, Д.А. Брусянин // Экономика железных дорог. – 2014. – №. 10. – С. 63-72.

73. Ногин, В. Д. Линейная сверстка критериев в многокритериальной оптимизации / В.Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – №. 4. – С. 73-82.

74. Фридрихсон, О. В. К вопросу о влиянии времени доставки готовой продукции на эффективность функционирования транспортно-логистической системы предприятия / О.В. Фридрихсон // Корпоративная экономика. – 2015. – №. 2. – С. 26-31.

75. Куимова, Е. И. Многокритериальные задачи оптимизации / Е.И. Куимова, Д.А. Рябов // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2019. – Т. 25. – №. 3. – С. 214-216.

76. Симанков, В. С. Генетические алгоритмы и поиск оптимальных решений / В.С. Симанков, В.А. Частикова // Автоматизация и современные технологии. – 2003. – №. 6. – С. 39-45.

77. Кувыкин, В. И. Анализ оптимальных решений в задачах нелинейного программирования / В. И. Кувыкин, Е. В. Кувыкина, М. Ю. Петухов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4-5. – С. 2285-2286.

78. Архангельский, В. В. Алгоритм поиска оптимального решения в задаче целочисленного программирования / В.В. Архангельский // Общество, наука, инновации (НПК-2015). – 2015. – С. 1595-1597.

79. Чан, Х. Модель поиска оптимальных маршрутов сборного маршрутного контейнерного поезда / Х. Чан, Д. И. Кочнева // Инновационный транспорт. – 2021. – № 3(41). – С. 15-21.

80. Электронный журнал «Морские Вести России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.morvesti.ru/news/1678/48897/>

81. Мошкина, А. А. Эффективность отправительской маршрутизации на направлении Новолипецк-Новороссийск / А.А. Мошкина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – №. 4. – С. 60-65.

82. Жарикова, Л. С. Нормирование времени нахождения вагонов на станциях и срок доставки грузов / Л.С. Жарикова // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2016. – №. 1. – С. 9-13.

83. Югина, О. П. Эффективность использования маршрутизации грузовых перевозок при минимизации затрат на перевозку / О. П. Югина, Л. С. Жарикова, Ю. А. Танайно // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2020. – № 1(1). – С. 13-20.

84. Жарикова, Л. С. О проблеме своевременной доставки грузов железнодорожным транспортом / Л.С. Жарикова // Политранспортные системы. – 2019. – С. 160-163.

85. Жарикова, Л. С. Совершенствование системы расчета элементов простоя вагонов на станциях в увязке с определением срока доставки : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Жарикова Лариса Сергеевна. – Новосибирск, 2016. – 22 с.

86. Чечулина, Ю. А. Сокращение срока доставки грузов при организации движения грузовых поездов по расписанию / Ю. А. Чечулина, Л. С. Казанцева // Сборник научных трудов SWorld. – 2013. – Т. 2. – № 4. – С. 27-30.

87. Чечулина, Ю. А. Особенности работы сортировочной станции при организации движения поездов по твердым ниткам графика / Ю. А. Чечулина, О. П. Югрина // Транспорт Урала. – 2014. – № 1(40). – С. 81-84.

88. Методика определения эффективности для ОАО "РЖД" отправительской маршрутизации и ставок договорной платы за формирование прямых отправительских маршрутов на путях общего пользования и порядка организации прямых отправительских маршрутов [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_87960/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_87960/)

89. Маликов, О. Б. Определение себестоимости контейнеро-операции на приграничном терминале / О. Б. Маликов, С. Гомбосэд // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – Т. 3. – № 1. – С. 91-96.

90. Алферова, А. А. Экономическое обоснование эффективности ускорения доставки грузов / А. А. Алферова // Транспортное дело России. – 2016. – № 1. – С. 132-135.

91. Бычков, Д. В. Оценка эффективности ускорения доставки мебели потребителям / Д. В. Бычков // Организатор производства. – 2013. – № 1(56). – С. 56-57.

92. Куренков, П. В. Оценка социально-экономического эффекта развития регулярного контрейлерного сообщения / П.В. Куренков, М.В. Кизириков // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – №. 3. – С. 3-13.

93. Алиякбарқызы, Д. Транспортный и внутранспортный эффекты ускорения доставки грузов / Д. Алиякбарқызы // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2009. – №. 5. – С. 85-89.
94. Корнилов, С. Н., Фридрихсон О. В. Методика ускорения доставки грузов в контейнерах / С. Н. Корнилов, О. В. Фридрихсон // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – №. 2. – С. 85-92.
95. Левин, Б. А. Цифровая логистика и электронный обмен данными в грузовых перевозках / Б. А. Левин, О. В. Ефимова // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 2(69). – С. 142-149.
96. Орлова, Л. В. Развитие транспортных систем в цифровой повестке / Л. В. Орлова, В. Кострикин, А. Ансел // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 8(133). – С. 896-899.
97. Hassall, K. The beginnings of national e-freight portals in Australia, Asia and Europe/ K. Hassall, K. Welsh, M. Qi // International Journal of e-Business Management. – 2011. – Т. 5. – №. 1. – С. 33-47.
98. Li, L. L. Study on dynamic mechanism of LOGINK service innovation based on system dynamics / L. L. Li, S. W. Ji, L. S. Wang // Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2014. – Т. 989. – С. 2782-2786.
99. Lee, P. T. W. New Concepts in the Economies of Flow, Connection, and Fusion Technology in Maritime Logistics / P. T. W. Lee, T. C. Lee // Dynamic shipping and port development in the globalized economy. – Palgrave Macmillan, London, 2016. – P. 198-218.
100. Li, W. The design and implement of China-Japan-South Korea logistics information platform based on information service exchange / W. Li, Y. Yang // 2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS). – IEEE, 2016. – С. 1-5.