



Ю. И. Палагин

ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

И МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Технологии, оптимизация, управление



Ю. И. Палагин

ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА И МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Технологии, оптимизация, управление

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области авиационного приборостроения в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Аэронавигация» и «Эксплуатация аэропортов и обеспечение полетов воздушных судов» и специальностям высшего профессионального образования «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения», «Летная эксплуатация воздушных судов» и «Авиационное обслуживание и использование воздушного пространства»



**ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО**
Санкт-Петербург 2017

УДК 658.78; 658.56

ББК 65.40

П14

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям
в рамках Федеральной целевой программы
«Культура России (2012–2018 годы)»

Рецензенты: *В. А. Бородавкин* — д-р техн. наук, первый проректор Балтийского государственного технологического университета «Военмех»; *В. С. Лукинский* — д-р техн. наук, профессор департамента логистики и управления цепями поставок Санкт-Петербургского филиала ФГАУ ВПО «Национальный исследовательский университет „Высшая школа экономики“»; *А. Л. Степанов* — д-р техн. наук, профессор, советник по инновациям, портам и логистике Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; *Е. В. Конилова* — зав. кафедрой «Аэропорты и авиаперевозки» Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации.

Палагин, Ю. И.

П14 Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление: учеб. пособие. — СПб.: Политехника, 2017. — 266 с.: ил.

ISBN 978-5-7325-1113-0

Рассмотрены задачи и технологии управления перевозками в транспортно-терминальных сетях операторов мультимодальных перевозок, приведены математическое описание процессов функционирования, представление их характеристик, расчет и оптимизация грузопотоков, описаны программные продукты, показана реализация разработанных моделей и алгоритмов, рассмотрены вопросы договорного оформления взаимоотношения участников мультимодальной перевозки.

Книга предназначена для бакалавров и магистров, обучающихся по различным направлениям в области транспорта и логистики, инженеров и менеджеров, работающих в логистических подразделениях промышленных, торговых, складских, транспортных и транспортно-логистических компаний, а также специалистов по информационным технологиям, занимающихся вопросами автоматизации и управления материальными потоками.

УДК 658.78; 658.56

ББК 65.40

© Издательство «Политехника», 2017

ISBN 978-5-7325-1113-0

© Ю. И. Палагин, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Мультимодальные перевозки сборных грузов	15
1.1. Интермодальные перевозки, их виды, определения	15
1.2. Операторы мультимодальных перевозок сборных грузов (общие сведения)	24
1.3. Транспортные продукты операторов сборных грузов.	37
1.4. Интернет-торговля, ее роль в экспресс-доставке и развитии перевозок сборных грузов	49
Глава 2. Транспортно-терминальные системы мультимодальных грузовых операторов, их моделирование	54
2.1. Транспортно-терминальные системы операторов сборных грузов с авиаплечом	54
2.2. Моделирование мультимодальных транспортно-терминальных сетей.	57
2.3. Представление тарифов и расписаний межтерминальных перевозок.	67
Глава 3. Оптимизация маршрутов перевозок в транспортно-терминальных сетях мультимодальных операторов	70
3.1. Сетевые модели перевозок. Кратчайший маршрут на сети. . .	70
3.2. Пример нахождения оптимального маршрута на сети	77
3.3. Семейство L -оптимальных по тарифам и расстоянию маршрутов на сети	79
3.4. Численный пример расчета L -оптимальных маршрутов . . .	84
3.5. Семейство L -оптимальных по времени доставки маршрутов на сети	93
Глава 4. Расчет грузопотоков в мультимодальной транспортно-терминальной сети	97
4.1. Моделирование входных грузопотоков	97
4.2. Расчет межтерминальных сетевых грузопотоков	100
4.3. Расчет терминальных грузопотоков	102
4.4. Расчет внутритерминальных грузопотоков	104
Глава 5. Информационно-логистическая система MultiTransGlobal	107
5.1. Базовый вариант транспортно-терминальной сети. Главное меню, оперативная база	107
5.2. Методика расчета маршрутов эконом-доставки в ИЛС	110
5.3. Методика расчета маршрутов экспресс-доставки в ИЛС . . .	114
5.4. Методика расчета грузопотоков в информационно-логистической системе MultiTransGlobal	119
5.5. Имитационное моделирование мультимодальных ТТС. Интерфейс поддержки клиентского заказа	126

Глава 6. Технологические операции на терминалах транспортно-терминальных сетей мультимодальных операторов	133
6.1. Начальные операции. Приемка заказов на перевозку, доставка на терминал отправления	133
6.2. Технологические операции на терминалах отправления, транзита и назначения	140
6.3. Автоматическая сортировка грузов в грузовых хабах	146
6.4. Числовые характеристики грузопотока на сортирующей линии	159
Глава 7. Оптимальное планирование перевозок в логистических системах. Задачи завоза-вывоза грузов на терминалы, их маршрутизация	162
7.1. Однорейсовые маршруты. Задача о коммивояжере. Оптимальное планирование кольцевых маршрутов	162
7.2. Оптимальное планирование кольцевых маршрутов с ограничениями на время движения транспортных средств. Многорейсовые маршруты	177
7.3. Планирование многорейсовых маршрутов доставки с учетом тоннажа отправок. Совместное решение задач маршрутизации рейсов и распределения транспортных средств по рейсам	191
7.4. Оптимальное планирование задач завоза и вывоза грузов из нескольких распределительных центров	206
7.5. Разнесение логистических издержек при интермодальных перевозках грузов. Разнесение затрат на перевозку между отдельными клиентами при планировании многоадресных рейсов	214
Глава 8. Управление информационными и материальными потоками на складе логистической компании	226
8.1. Элементы складского процесса. Справочники, топология, зоны, области, ячейки	226
8.2. Описание ячеек, их информационное содержание и параметры состояния	235
8.3. Основные складские операции, прием поставки и размещение товаров	239
8.4. Основные складские операции. Планирование и технология работ по сборке и отгрузке заказов на складе логистической компании	245
Глава 9. Договорные взаимоотношения между участниками мультимодальных перевозок	252
9.1. Определения договоров, относящихся к области логистики	252
9.2. Договор оператора мультимодальной перевозки с субконтрактором — магистральным перевозчиком	257
9.3. Договор оператора мультимодальной перевозки с местным агентом	260
Список литературы	264

ПРЕДИСЛОВИЕ

Логистика – это сфера человеческой деятельности, объектом которой являются материальные и информационные потоки, возникающие в процессе перемещения сырья, материалов, комплектующих узлов, готовой продукции с мест их производства до конечного потребителя. В сферу логистики входят: производство сырья, материалов, полуфабрикатов, их хранение и продажа, транспортировка на предприятие, производящее готовую продукцию, производство и продажа готового продукта на тех или иных условиях поставки, распределение и доставка его конечному потребителю.

Логистика распределения включает всю распределительную сеть промышленной фирмы — от склада готовой продукции до конечного потребителя.

Логистика производства охватывает весь производственно-технологический цикл промышленного предприятия — от складов материально-технического снабжения до склада готовой продукции.

Логистика снабжения включает все внешние входящие материальные потоки (МП), обеспечивающие производство, — от поставщиков сырья, вспомогательных материалов, комплектующих изделий до складов материально-технического снабжения.

К сфере *транспортной логистики* относится все, что непосредственно связано с физическим перемещением любых материальных потоков (товаров, тары, транспортных средств), а именно: собственно перевозки, погрузочно-разгрузочные работы, перевалки грузов на терминалах разных видов транспорта и в мультимодальных транспортно-логистических центрах, складирование и управление складскими операциями, упаковка и подготовка товара (груза) к перевозке, управление запасами. Транспортная логистика охватывает все области человеческой жизни — производство, торговлю, научные исследования, строительство, включая и спортивных объектов, организацию празднично-рекламных и зрелищных мероприятий, перевозки пассажиров, багажа и др. Для торговых или промышленных компаний транспортная

логистика определяет эффективность распределительной товаропроводящей сети и качество транспортировки между ее элементами.

В области транспортной логистики работает большое количество транспортных и логистических фирм, осуществляющих перевозки грузов и пассажиров (воздушные, автомобильные, водные, железнодорожные, интермодальные), терминальное обслуживание (в аэропортах, морских и речных портах, на железной дороге), посредническую (агентскую) деятельность по организации и продаже перевозок. Расширяется множество фирм, осуществляющих *интермодальные перевозки*, т. е. перевозки с участием, в отличие от *унимодальных*, двух или более видов транспорта.

В гражданской авиации РФ, начиная с 1990-х годов, появились и стали развиваться новые участники перевозочной деятельности — *транспортно-экспедиционные компании (ТЭК)*, обслуживающие и расширяющие в интересах грузовой авиационной клиентуры предлагаемые авиакомпаниями услуги. Помимо агентской деятельности по продаже и оформлению авиаперевозок, экспедирования завоза и вывоза грузов в аэропорт большое количество ТЭК, обслуживающих авиаперевозки, предлагают услуги по организации автомобильных, железнодорожных перевозок, таможенному оформлению, складской обработке грузов, взаимным расчетам и т. д. Одновременно интенсивно развивался рынок экспедиторских услуг РФ на морском, железнодорожном, автомобильном и речном видах транспорта.

Крупные транспортно-экспедиционные компании, выдающие клиенту собственный (а не агентский) перевозочный документ, являются *операторами мультимодальных перевозок*. Такого типа транспортно-логистические компании создают собственные распределительные центры в аэропортах, организуют собственную терминальную и маршрутную сеть автодорожных, авиационных, железнодорожных и морских перевозок. Работая с первоначальным грузоотправителем и конечным получателем, компании предлагают им варианты унимодальных и интермодальных перевозок с авиационным плечом, включая и доставку «от двери до двери», и складскую логистику. Тем самым интермодальные перевозки рас-

ширяют грузовую и клиентскую базу гражданской авиации, а также и других магистральных видов транспорта — автомобильного, железнодорожного, морского и речного.

Операторами МП выступают транспортные компании (судоходные, авиакомпания, железнодорожные, автомобильные), портовые операторы, транспортно-складские комплексы, крупные экспедиционные фирмы. Международный оператор МП имеет головную контору в своей стране, сеть заграничных представительств и региональные отделения по направлениям перевозок, агентскую сеть в транспортных узлах и грузообразующих центрах, дочерние компании, выполняющие элементы транспортного процесса.

Крупные транспортные компании, владеющие собственной терминальной сетью, стремясь к расширению своего бизнеса и охвата клиентов, используют потенциал своих терминалов для создания в интересах клиентов собственных специальных логистических проектов. Часть бизнеса клиентов помимо чисто перевозок принимается на аутсорсинг. Имеющиеся свободные складские площади отдаются под складирование, управление запасами и поставками товаров (например, запчастей в сетях гарантийного обслуживания) своих клиентов. Тем самым качественно повышается уровень логистического обслуживания.

С развитием рынка транспортных услуг повышаются требования к стоимости, скорости и надежности доставки товаров, гибкости транспортных схем и маршрутов перевозок, широте и полноте территориального охвата, адаптируемости к изменяющимся экономическим и политическим условиям. Особая роль среди многообразия услуг отводится доставке от «двери до двери», или «Д-Д-сервису».

Основной технологической базой, обеспечивающей мультимодальные перевозки, являются транспортно-терминальные системы (ТТС). Понятие транспортно-терминальной системы оператора МП включает сеть терминалов и связывающих их регулярных маршрутов, по которым компания выполняет перевозки. Развивая собственные ТТС, операторы мультимодальных перевозок стремятся обеспечить максимально широкое покрытие территорий, наибольшую густоту и разветвленность своих терминалов. *Конкурентоспособ-*

ность операторов определяется их возможностями в предоставлении требуемого клиентурой максимально широкого спектра услуг, полнотой учета разнообразных требований заказчиков. Это касается в первую очередь требований к стоимости и времени доставки при разнообразии вариантов унимодальных и интермодальных перевозок. Работая с клиентом, транспортная компания должна предлагать различные варианты маршрутов, с тем чтобы клиент мог выбирать между относительно дешевыми по тарифам маршрутами, но, возможно, имеющими слишком большое транзитное время, и другими конкурирующими маршрутами с меньшим временем доставки, но более дорогими по тарифам.

Структуры мультимодальных транспортно-терминальных систем, их география, математическое описание, технологии работы, оптимизация маршрутов, расчеты грузопотоков, информационное обеспечение являются основным содержанием данной книги.

В области транспортной логистики и интермодальных перевозок за последние годы написано большое количество самой разнообразной литературы — учебников, учебных пособий, монографий. Множество статей опубликовано и публикуется в специализированных журналах. Труды отечественных специалистов, работающих в этой области, приведены в списке литературы.

Основные отличия предлагаемой книги от известных работ заключаются в следующем.

1. Содержание книги концентрируется главным образом на транспортно-терминальных системах операторов мультимодальных перевозок как важном, а в перспективе, возможно, и основном технологическом способе их реализации. ТТС являются относительно автономными мультимодальными транспортными системами, которые организуются отдельными компаниями или группами компаний. Перевозки в ТТС организуются головными дистрибьюционными центрами (ГДЦ), работающими с заказчиками, планирующими и согласовывающими с ними всю перевозку от «двери до двери». Передачу на магистральные виды транспорта (воздушный, водный, железнодорожный) осуществляют дистрибьюционные центры подхода (ДЦП). Совместно с го-

ловным дистрибьюционным центром (ДЦ) они образуют региональный мультимодальный кластер — региональный центр транспортной логистики. Их совместное функционирование с другими региональными центрами, осуществляемое в единой транспортно-терминальной системе мультимодальных операторов, является предметом рассмотрения книги. При описании ТТС используется их представление в виде сети. Понятия транспортно-терминальной системы и сети отождествляются, что дает возможность использовать одну и ту же общую аббревиатуру ТТС.

В книге изложены технологии функционирования ТТС, оптимизация маршрутов перевозок на различных этапах «Д-Д-перевозки» (завоз на ДЦ, межтерминальные перевозки, доставка до двери клиента). В известных работах эти вопросы либо не отражались совсем, либо отражены не полностью.

2. Разработка лекционного материала и написание книги потребовали значительной научной, в том числе математической, алгоритмической и программной, проработки. Многие вопросы являются новыми, они нашли свое решение в оригинальных работах автора и его коллег. К этим вопросам относятся оптимизация доставки грузов парком транспортных средств различной грузоподъемности, алгоритмы поиска L -кратчайших маршрутов в ТТС, оптимальных по различным критериям, имитационное моделирование ТТС и др.

3. При изложении содержания каждой главы, посвященной описанию и функционированию логистических транспортно-терминальных систем, автор стремился в максимальной степени использовать точные формулировки, близкие по степени формализации к языку имитационных математических моделей. Все алгоритмы прошли отработку в программных комплексах, созданных на их основе и внедренных в учебный процесс СПбГУГА (информационно-логистическая система MultiTransGlobal, программный комплекс Route Master и их модификации).

Книга состоит из девяти глав.

Первая глава содержит краткий набор определений, относящихся к транспортной логистике, интермодальным и мультимодальным перевозкам.

Приводятся сведения об операторах мультимодальных перевозок, работающих на российском рынке транспортировки сборных грузов, включая эконом- и экспресс-доставку, а также доставку товаров через интернет-торговлю.

Транспортно-терминальные системы и сети являются основной технологической базой мультимодальных грузовых операторов. Вторая глава посвящена их описанию в виде сетевых моделей, представлению их характеристик и моделированию.

Оптимизация планирования маршрутов и использования парка транспортных средств имеет существенное значение для повышения эффективности логистических систем предприятий. Оптимизация планирования обеспечивает наиболее рациональное использование технических ресурсов, снижение себестоимости перевозок, повышение прибыльности, позволяет предприятию гибко и в минимальные сроки реагировать на постоянно изменяющийся спрос на перевозки.

В третьей главе рассматриваются задачи, методы и алгоритмы оптимизации маршрутов межтерминальных перевозок в транспортно-терминальных сетях мультимодальных операторов. Приводятся алгоритмы нахождения кратчайших маршрутов на сети. Вводится понятие семейства L -оптимальных маршрутов на сети при различных значениях параметра $L = 1, 2, \dots$ и различных критериях: тариф, автопробег (по сети) и время доставки. Это понятие повышает возможности транспортно-логистической компании по удовлетворению запросов клиентов на быструю и экономичную доставку. Оптимальные в обычном использовании этого термина маршруты соответствуют значению параметра $L = 1$, при $L = 2$ рассчитывается второй по значению (рангу) целевой функции маршрут и т. д.

Четвертая глава содержит методику, математические модели и алгоритмы расчета грузопотоков в мультимодальных транспортно-терминальных сетях. Рассматриваются входные грузопотоки, межтерминальные, терминальные и внутритерминальные грузопотоки.

Модели, методы описания и алгоритмы, приведенные в главах 2–4, реализованы в виде информационно-логистической системы (ИЛС) MultiTransGlobal.

В пятой главе приведены базовый вариант транспортно-терминальной системы, главное меню, оперативная база ИЛС и методики ее применения для расчетов маршрутов эконом- и экспресс-доставки, грузопотоков и имитационного моделирования мультимодальных транспортно-терминальных сетей в ИЛС. Приводится интерфейс поддержки клиентского заказа.

В шестой главе подробно описаны технологии планирования и управления грузопотоками на терминалах ТТС мультимодальных операторов. Рассматриваются начальные операции, включая приемку заказов на перевозку, доставку на терминал отправления, технологические операции на терминалах отправления, транзита и назначения. Отдельно выделены технологические процессы в крупных мультимодальных грузосортирующих центрах — грузовых хабах.

В седьмой главе рассматривается оптимальное планирование завоза-вывоза грузов на терминалы — от начального до конечного этапа доставки («от двери до двери») мелких партий грузов и их консолидации на терминалах, осуществляемых, как правило, курьерскими службами. Приводятся типовые модели и алгоритмы, позволяющие находить оптимальные и близкие к оптимальным многорейсовые маршруты. Алгоритмы построены на многошаговых процедурах оптимизации, к числу которых относятся динамическое программирование и его развитие в виде метода *L*-кратчайших маршрутов, исследованные в работах автора и коллег. Дается совместное решение задач маршрутизации рейсов и распределения транспортных средств по рейсам, описан разработанный программный комплекс, реализующий предложенные алгоритмы. Рассматривается разнесение логистических издержек при интермодальных перевозках грузов, включая затраты на перевозку между отдельными клиентами при планировании сборных рейсов. Предложенные модели и алгоритмы реализованы в программном комплексе *Route Master*, описание которого дается в главе.

Восьмая глава посвящена управлению информационными и материальными потоками на складе логистической компании. Рассматриваются элементы складского процесса: топология, зоны, области, ячейки. Описаны ячейки как

базовый элемент складского пространства: их информационное содержание и параметры состояния, основные складские операции по приему поставок, размещение товаров, планирование и технологии работ по сборке и отгрузке заказов на складе логистической компании.

Девятая глава содержит краткие определения договорных взаимоотношений между участниками мультимодальных перевозок, оператором и его субконтракторами, магистральными перевозчиками, его агентами и агентами перевозчиков, привлекаемых оператором к мультимодальной перевозке.

В основу книги положены материалы лекций автора по дисциплинам логистического направления, которые им читались в стенах Санкт-Петербургского государственного университета (академии) гражданской авиации (ГУГА) для студентов общетранспортной специальности «Организация перевозок и управление на транспорте» (ОПУТ) и других близких специальностей и специализаций.

Общетранспортная специальность ОПУТ была открыта в 1992 г. в ГУГА на основании приказа министра транспорта РФ № 56 от 24.07.92 как естественное развитие в рыночных условиях отраслевых специальностей по видам транспорта. Подготовка специалистов по этой специальности была возложена на кафедру интермодальных перевозок и логистики ГУГА. Открытию специальности ОПУТ предшествовали большая работа Академии транспорта РФ, положительные решения совещаний ректоров Санкт-Петербургских транспортных вузов, Министерства транспорта РФ, заседаний президиума Академии транспорта, поддержка ведущих ученых-транспортников Москвы и Санкт-Петербурга (профессоров В. В. Шашкина, Г. А. Крыжановского, П. А. Кравченко и др.). Департамент воздушного транспорта поддержал эту инициативу как чрезвычайно полезную для развития транспортного комплекса страны.

Транспортная логистика и мультимодальные перевозки охватываются специализацией «Интермодальные перевозки» специальности 190701 (240100.04) «Организация перевозок и управление на транспорте (воздушный транспорт)» по направлению 6534000 «Организация перевозок и управление на транспорте» Федерального государственного стандарта (ФГОС)

2-го поколения (ФГОС-2). Рассматриваемые вопросы включены в профили «Организация перевозок и управление в единой транспортной системе» (ОПУЕТС) и «Транспортная логистика» бакалавриата «Технология транспортных процессов» (ФГОС 3-го поколения), «Организация аэропортовой деятельности» (ОрАД) направления 25.03.04 (162700) «Эксплуатация аэропортов и обеспечение полетов воздушных судов».

В сфере высшего образования многие вузы страны выпускают специалистов (инженеров и менеджеров) по специальности «Организация перевозок и управление на транспорте» и близким к ней специальностям и специализациям. С введением ФГОС-3 и его дальнейшим развитием подготовка в сфере ВПО переориентируется на бакалавров и магистров. Только в Санкт-Петербурге в этой области работают государственные университеты гражданской авиации, архитектурно-строительный, экономики и финансов, путей сообщения, водных коммуникаций и др. По данному направлению осуществляют подготовку десятки вузов Москвы, Самары, Волгограда, Красноярска, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону, Омска и других городов РФ.

Книга предназначена для студентов бакалавров, магистров, специалистов, обучающихся по данному направлению, может быть полезна преподавателям, аспирантам и научным сотрудникам, инженерам, программистам, специалистам по информационным технологиям, занимающимся вопросами автоматизации и управления материальными потоками.

Книга не могла быть опубликована без поддержки руководства Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации и лично ректора — д-ра техн. наук, профессора М. Ю. Смурова, которому автор выражает особую благодарность. При подготовке лекций и материалов книги автор использовал опыт западных компаний, работающих в области логистики. Теоретическое и практическое изучение западного опыта проведено автором в рамках организованного ЕС и Министерством транспорта РФ международного проекта по изучению преподавателями транспортных вузов страны работы западных транспортных фирм в рыночных условиях.

Автор благодарит рецензентов книги — первого проректора БГТУ «Военмех», д-ра техн. наук В. А. Бородавкина, засл. деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, профессора ВШЭ В. С. Лукинского, советника по инновациям, портам и логистике Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, д-ра техн. наук, профессора А. Л. Степанова, зав. кафедрой авиаперевозок и аэропортов СПбГУГА, канд. техн. наук, доцента Е. В. Коникову, а также многих своих коллег, и в первую очередь профессора А. И. Мочалова и инженера А. В. Тимонина, с которыми совместно выполнялась разработка программного комплекса информационно-логистической системы MultiTransGlobal.

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ СБОРНЫХ ГРУЗОВ

1.1. ИНТЕРМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, ИХ ВИДЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Интермодальной перевозкой называется перевозка грузов по крайней мере двумя различными видами транспорта из пункта приема груза (пункта отправления) до пункта передачи (пункта назначения). Термин «интермодальная перевозка» является синонимом терминов «перевозка различными видами транспорта» или «смешанная перевозка». В материалах Международной торговой палаты (МТТ — International Chamber of Commerce), посвященных международным перевозкам (пункты отправления и назначения в разных странах), интермодальная перевозка именуется *combined transport*, указывается также на применимость в разных странах аналогичных терминов *intermodal transport* и *multimodal transport*. В отличие от интермодальной перевозки *унимодальная перевозка* осуществляется только одним видом транспорта.

Интермодальные перевозки организуют экспедитор согласно договору транспортной экспедиции (ДТЭ) и оператор мультимодальной перевозки. По договору транспортной экспедиции в зависимости от конкретных условий перевозки и требований клиента могут быть предусмотрены разные режимы ответственности экспедитора.

Экспедитор является агентом (или представителем) своего клиента — лица, с которым у него заключен ДТЭ, именуемого также *грузовладельцем*. Экспедитор представляет груз своего клиента во взаимоотношениях с другими участниками перевозки. Договоры на отдельные перевозки (а равно как и любые другие действия) — субперевозки — экспедитор заключает от имени своего клиента, указывая (номинируя) его как грузоотправителя, а себя только как агента. Предусмотренная законом и договором перевозки ответственность грузоотправителя перед перевозчиком

(например, за неполные или недостоверные сведения о грузе) или ответственность перевозчика перед грузоотправителем (например, за утерю или несохранность груза) возникает только у его клиента (либо по отношению к его клиенту), поскольку все действия экспедитора, осуществляемые им в рамках ДТЭ, считаются действиями его клиента.

Экспедитор может действовать как *оператор мультимодальной перевозки (МП)*. Осуществляя перевозку, организуя ее или выполняя какие-либо действия, связанные с перевозкой, он выступает по отношению к клиенту как самостоятельное лицо. Оператор мультимодальной перевозки (ОМП) может консолидировать отправки, загружая их в крупнотоннажный контейнер, покупать на свое усмотрение перевозки других перевозчиков. Участия клиента в пунктах перевалки не требуется. Вся ответственность перед клиентом за собственные действия оператора и за действия других участников перевозок, нанятых им или другими перевозчиками, услугами которых он в конечном итоге пользуется, возлагается на оператора.

Операторами МП выступают транспортные компании (судоходные, авиа-, железнодорожные, автомобильные), портовые операторы, транспортно-складские комплексы, крупные экспедиционные фирмы. Международный оператор МП имеет головную контору в своей стране, сеть заграничных представительств и региональные отделения по направлениям перевозок, агентскую сеть в транспортных узлах и грузообразующих центрах, дочерние компании по выполнению элементов транспортного процесса. Крупные операторы владеют собственными терминалами и парком транспортных средств, с помощью которых они организуют регулярные (т. е. по расписанию) рейсы. Терминалы компании и собственная сеть межтерминальных рейсов образуют транспортно-терминальную сеть ОМП.

В общих случаях по договору транспортной экспедиции с клиентом экспедитор может действовать как оператор или перевозчик на одном участке перевозки и как экспедитор (агент клиента) — на другом. Экспедиторы и операторы кроме транспортных операций принимают на себя часть

функций отправителя — подготовку товаросопроводительной документации, упаковку, маркировку, хранение, таможенные формальности, страхование грузов и др.

Работа с операторами МП имеет ряд преимуществ для грузовладельцев. Клиент освобождается от необходимости заключать договоры перевозки с каждым участвующим перевозчиком, вести с ними финансовые расчеты, предъявлять им иски и претензии, обеспечивать передачу груза от одного перевозчика другому. Продавцы, заключив договор МП, имеют возможность более быстрого получения денег за товар, а покупатели — более быстрого распоряжения товаром (задолго до погрузки его на судно). Такую возможность ускорения оборота денег и товаров предоставляют мультимодальный коносамент (МК) и документарный аккредитив. В международной практике продавец, отгрузив товар со своего склада (на автомобиль, в железнодорожный вагон или на судно) и передав его оператору МП, получает в обмен мультимодальный коносамент. Большинство банков мира принимает МК как товарораспределительный документ. Продавец, получив МК, может, предъявив его банку, раскрыть аккредитив и получить причитающуюся ему по контракту цену товара. Покупатель, получив МК, может распоряжаться товаром (перепродавать, отдавать под залог) задолго до его прибытия на склад. Крупные операторы МП контролируют большие грузопотоки и поэтому могут иметь скидки от субперевозчиков, более эффективно распоряжаться загрузкой транспортных средств. В силу этого их тарифы оказываются более выгодными для грузовладельцев.

Интермодальные перевозки разделяются по различным признакам.

Мультимодальная перевозка — разновидность интермодальной перевозки, при которой клиент (или грузоотправитель) заключает с оператором (мультимодальной перевозки) единый договор на всю перевозку. Договор оформляется единым документом мультимодальной перевозки, с единым режимом ответственности оператора — принципала, со сквозной единой ставкой фрахта. В мультимодальной перевозке оператор может быть фактическим перевозчиком

на отдельных участках перевозки или быть агентом других перевозчиков на других участках, представлять свои транспортные средства или нанимать их либо быть только организатором (*arranger*), т. е. лицом, только организующим предоставление транспортных средств. Однако в отношениях с клиентом он является принципалом, полностью отвечающим за надлежащее исполнение перевозки на любом отрезке. В отношениях с другими субперевозчиками, которых оператор нанимает для перевозки и на которых оформляет принятый на данном виде транспорта перевозочный документ, он может именовать себя (свой филиал в пункте перевалки) или своего агента, услугами которого пользуется, грузоотправителем или грузополучателем.

Документ на мультимодальную перевозку (ДМП) представляет собой перевозочный документ, выдаваемый поименованным на лицевой стороне оператором мультимодальной перевозки, который путем выдачи ДМП заключает мультимодальный контракт с грузоотправителем на перевозку указанного в документе груза из указанного пункта отправления до пункта назначения. Выдавая документ, оператор тем самым принимает на себя ответственность за осуществление контракта на перевозку. Примерами ДМП являются домашняя накладная, мультимодальный коносамент ФИАТА.

ДМП является доказательством заключения договора мультимодальной перевозки. Оператор, выдавший ДМП, несет на определенных условиях ответственность за утрату или повреждение груза и просрочку в его доставке. ДМП может быть выдан оператором в оборотной (товарораспределительной — *negotiable*) или необоротной (нетоварораспределительной — *nonnegotiable*) формах. Оборотная форма передает право собственности на товар лицу, предъявившему оборотный ДМП. Документ мультимодальной перевозки может быть выдан в виде комплекта, содержащего несколько оригиналов. В этом случае получить груз имеет право лицо, предъявившее первым один из оригиналов. Оборотный ДМП может быть передан (индоссирован) третьей стороне. Необоротная форма документа содержит наименование грузополучателя (или же уполномоченного

им лица), которому оператор мультимодальной перевозки (ОМП) обязан передать груз. Поскольку ОМП ответствен перед клиентом за ущерб в результате утраты или повреждения груза, а также за задержку в доставке, он страхует свою ответственность в страховых компаниях. По просьбе клиента ОМП организуют страхование груза (в пользу отправителя или получателя) через собственные отделы страхования по соглашениям, заключенным со страховщиками.

Комбинированная перевозка — разновидность интермодальной перевозки, выполняемая без непосредственной перегрузки груза на всем пути следования. К комбинированным перевозкам относят контейнерные перевозки, перевозки в съемных кузовах, полуприцепах, трейлерах, т. е. перевозки, осуществляемые в средствах комбинированной перевозки (СКП). Груз в месте приемки у отправителя (или на пунктах консолидации) размещают в грузовом пространстве СКП и далее доставляют в пункт назначения (пункт расконсолидации) в том же самом СКП. При этом само СКП в процессе перевозки может транспортироваться другими транспортными средствами (контейнерными шасси, тягачами, железнодорожной платформой, морскими или речными судами) либо двигаться само (трейлеры). Комбинированные перевозки, в отличие от мультимодальных, выделяются в отдельную группу по технологическому признаку, а не по признаку единой ответственности.

Контейнерные перевозки — наиболее распространенный вид комбинированных перевозок. *Грузовой контейнер* — многооборотная (т. е. рассчитанная на многократное применение) единица транспортного оборудования, предназначенная для перевозки и временного хранения грузов объемом не менее 1 м³. По признаку грузоместимости выделяют три группы контейнеров: крупнотоннажные (с максимальной массой брутто более 10 т), среднетоннажные (от 3 до 10 т) и малотоннажные (менее 3 т). Погрузочно-разгрузочные операции с контейнерами осуществляются вертикально с захватом за верхние угловые фитинги. При перегрузках в портах, на контейнерных терминалах, железнодорожных станциях используются контейнерные автопогрузчики,

автоконтэйнеровозы, краны-штабелеры, контэйнерные перегружатели и др. [7, 43, 50–53].

При перевозках используется полная контэйнерная отправка (FCL — Full Container Load), загружаемая (затаренная) у одного отправителя в адрес одного получателя. Контэйнер обычно загружается, а после загрузки пломбируется отправителем, экспедитором, агентом перевозчиков (морских линий, железнодорожных компаний) или ОМП. Аренду контэйнеров под перевозку, бронирование перевозки, подачу порожних контэйнеров и завоз на контэйнерный терминал, а также аналогичные операции на другом плече (грузополучателя) перевозки организуют и осуществляют операторы, экспедиторы, агенты. FCL-перевозки выполняются по схемам: «от двери до двери (или до контэйнерного терминала)», «от контэйнерного терминала до контэйнерного терминала (двери)». В этих схемах под дверью понимается склад, а также любой другой пункт передачи или приема груза, указанные грузоотправителем.

В один и тот же контэйнер может быть погружено несколько отправок разных грузоотправителей. В таких случаях используется перевозка вида «менее чем контэйнерная отправка» (LCL — Less Container Load). LCL-перевозка означает перевозку мелких партий груза в объеме (по каждой партии), недостаточном для полной загрузки контэйнера. Перевозчик, выполняющий LCL-перевозку, имеет право загружать этот же контэйнер и другими грузами. Отправитель может также представлять груз, предназначенный для перевозки в контэйнере, в любом количестве. Однако ответственность за затарку-растарку контэйнера в этом случае лежит на перевозчике. Принимая грузы к LCL-перевозке, оператор выдает отправителю отдельный документ на каждую партию. Сборные контэйнеры для LCL-отправок затаривает и пломбирует агент перевозчика либо оператор на терминалах отправления. Их растарка производится на терминале назначения.

Может оказаться, что в контэйнер погружают несколько партий грузов одного грузоотправителя для разных получателей, расположенных в одном регионе. Такого типа

перевозка обозначается FCL/LCL. Перевозка вида LCL/FCL означает консолидацию в одном контейнере грузовых партий от нескольких грузоотправителей в адрес одного получателя.

При затаривании контейнера лицо, осуществляющее эту операцию, должно подготовить, подписать и вложить в легкодоступное место один экземпляр спецификации на погруженный груз с указанием количества мест, перечнем предметов с их стоимостью.

Перевозки в сменных кузовах (swar body) являются разновидностью комбинированных перевозок. *Сменный (или сьемный) кузов (СК)* представляет собой облегченный (часто тентованный) автомобильный кузов — контейнер, который перевозится по дорогам с помощью специальных автошасси. В отличие от обычных контейнеров сменный кузов оборудован складывающимися опорами-ногами, на которые он опирается при загрузке товарами, разгрузке, хранении порожними или груженными на терминале. Сменные кузова перевозятся по железной дороге на контейнерных платформах. Перегрузка СК на железнодорожную платформу осуществляется автопогрузчиками, оснащенными специальными грузозахватами. В отличие от контейнеров СК нельзя штабелировать и поднимать за верхний пояс. При перегрузке СК захватывается погрузчиком за прочный нижний пояс. Ширина сменного контейнера 2,5 м, высота — 2,6 м, длина — от 6,25 до 12,92 м. Относительно дешевые, легкие, обладающие большой грузоместимостью сменные кузова удобны для организации перевозок крупных партий грузов по схеме «от двери до двери».

Перевозки седельных полуприцепов (без тягачей) железной дорогой или морем — вид комбинированных перевозок. Из-за габаритных ограничений полуприцепы перевозятся по железной дороге на специальных платформах с низко расположенным полом. В полу платформ устроен специальный карман для размещения колес. Во многих случаях высота полуприцепа ограничена. Загрузка на железнодорожную платформу осуществляется, подобно сменным кузовам, автопогрузчиками, захватывающими полуприцеп

снизу с помощью специального грузозахватного устройства. Существует технология перевозки полуприцепов по железной дороге с помощью специальных тележек, обеспечивающих сцепку для формирования поезда. Эта технология использует горизонтальный способ загрузки накатом. Такого типа полуприцепы называются *комбитрейлерами*. Данная технология не требует дорогостоящих платформ, дает выигрыш по высоте порядка 40 см и требует минимальных затрат на строительство терминалов. На установку полуприцепа требуется порядка 5 минут.

Перевозки грузовиков и автопоездов (с грузом и без) относятся также к комбинированным перевозкам. Технология с горизонтальным способом загрузки называется перевозкой по схеме «катящаяся дорога» (rolling highway). Грузовики с прицепом заезжают накатом на плоскую низкопольную железнодорожную платформу через специальную аппарель. Водители грузовиков едут в отдельном купейном вагоне и не отвечают за сохранность груза в пути следования по железной дороге. Движение поездов организуется ночью, а железнодорожный участок маршрута признается законодательно временем отдыха водителя. По прибытии (утром) на железнодорожный терминал назначения водитель принимает груз под свою ответственность и следует далее по назначению. Эта технология используется с успехом на некоторых направлениях в Европе, в частности при доставке грузов из германских портов по трансальпийскому направлению, например, в Италию, Грецию. Движение грузовиков через Альпы ограничено по экологическим соображениям. Технология не требует дорогостоящих терминалов и перегрузочного оборудования.

Перевозка сменных кузовов, седельных полуприцепов, грузовиков по железной дороге называется *контрейлерной перевозкой*.

Новым направлением в развитии терминалов является их переход от пунктов перевалки, связывающих два (или три) вида транспорта, к единому универсальному грузовому распределительному центру. Такого типа грузовые центры — мультимодальные транспортно-логистические цент-

ры — владеют собственным парком транспортных средств, разнообразным погрузочно-разгрузочным оборудованием, выполняют функции оператора мультимодальных перевозок, агентские и экспедиционные услуги.

Унимодальные перевозки осуществляются подвижным составом только одного вида транспорта. Примерами унимодальных перевозок на воздушном транспорте являются простая (обычная) перевозка, трансферная перевозка и интерлайн-перевозка.

Обычные перевозки осуществляются авиакомпаниями на своих рейсах по одному маршруту от аэропорта (грузового терминала) отправления (АПО) до аэропорта (грузового терминала) назначения (АПН). Обычная перевозка оформляется авиагрузовой накладной авиакомпании-перевозчика (АГН — АWB — airway bill).

Трансферная перевозка означает перевозку груза одной авиакомпанией по двум (или более) разным собственным маршрутам с перегрузкой груза в стыковочном аэропорту. На трансферную перевозку оформляется одна грузовая накладная на весь маршрут следования «АПО — стыковочный АП — АПН». Если же перевозка оформляется двумя АГН, одна из которых покрывает маршрут «АПО — стыковочный АП», а другая — маршрут «стыковочный АП — АПН», то такая перевозка считается простой, состоящей из двух участков.

Интерлайн-перевозка означает перевозку груза рейсами нескольких участвующих авиакомпаний по двум (или более) разным маршрутам. На интерлайн-перевозку оформляется единая накладная, выданная одним из перевозчиков — оформляющим перевозчиком. Все перевозчики, участвующие в перевозке, принимают АГН, выданную оформляющим перевозчиком, как собственную и соглашаются перевезти указанный в ней груз на своих авиарейсах и выполнить другие услуги, связанные с такой перевозкой. Взаимное признание перевозочных документов, взаимная ответственность за сохранность груза и распределение тарифа устанавливаются двусторонними и многосторонними интерлайн-договорами.

Примерами унимодальных перевозок на морском транспорте являются обычные перевозки от порта отправления до порта назначения (без перевалки груза в промежуточных портах), оформляемые по одному коносаменту, перевозки, осуществляемые фидерными судами и океанскими перевозчиками по единому сквозному коносаменту, а также с помощью нескольких коносаментов, каждый из которых покрывает свой участок до пункта перевалки. С определенными оговорками можно считать унимодальной перевозку, в которой участвуют морские и речные перевозчики. Например, перевозки грузов по реке на баржах и речных судах-контейнеровозах до устьевых портов, где далее грузы перегружаются на морские суда (с возможной дальнейшей перевалкой на океанские морские линии или на суда речных перевозчиков).

Унимодальные перевозки, осуществляемые автомобильным транспортом, включают как обычные перевозки от «двери до двери» без перевалки груза, так и схемы с консолидацией и расконсолидацией грузовых партий, осуществляемых, например, через сортирующие центры. Для завоза грузов на сортирующие центры (как правило, внутри региона) используется автотранспорт среднего или малого тоннажа, для автоперевозок между терминалами применяется крупнотоннажный транспорт.

1.2. ОПЕРАТОРЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК СБОРНЫХ ГРУЗОВ (ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ)

Сборный груз (сборная партия, сборные перевозки) — грузовая партия рейса, состоящая из мелкогабаритных грузов различных заказчиков и перевозимая в одном направлении на одном транспортном средстве. Ключевые звенья в цепочке перевозки сборных грузов — накопление мелких грузовых партий многих отправителей, их временное хранение, сортировка по направлениям дальнейшего движения и консолидация на определенном рейсе. Рейс выполняется собственным или нанимаемым транспортом, не только

автомобильным, но и авиационным, морским либо железнодорожным. Эти операции производятся на специальных грузовых терминалах (в распределительных центрах, на консолидационных складах). Перевозки осуществляются транспортно-экспедиционными компаниями, грузовыми перевозчиками — операторами мультимодальных перевозок.

Экономический эффект консолидации заключается в более эффективном использовании грузового пространства транспортного средства. Добиваясь полной загрузки, экспедиторы могут обеспечить, используя даже относительно дорогой рейс, приемлемые тарифы для своих клиентов. Тарифы для сборных грузов устанавливаются, как правило, в рублях на 1 кг платного веса груза.

Компании-консолидаторы могут выполнять перевозки по одному направлению (например, Санкт-Петербург — Москва, Санкт-Петербург — Хельсинки) или по многим направлениям. Во втором случае перевозки осуществляются по транспортно-терминальной сети. Терминалы связываются сетью регулярных, т. е. выполняемых по расписанию, маршрутов. Компании-перевозчики сборных грузов предлагают своим клиентам различные виды перевозок по относительно недорогим, экономичным тарифам или по более дорогим, но с минимальным временем доставки (экспресс-доставку).

Под *экспресс-доставкой* грузов понимается доставка «от двери до двери» отправок с ограниченными массогабаритными характеристиками (например, массой до 31,5 кг, длиной не более 150 см) в минимальные сроки. Помимо габаритных ограничений главным отличием экспресс-доставок от других видов транспортно-экспедиционных услуг является максимально краткий (от 12 до 72 ч) срок доставки, а от почтовых услуг более широкий ассортимент доставляемых товаров.

Раньше корреспонденция была единственным видом груза, доставляемого по экспресс-доставке. Сегодня существенную долю в общем объеме экспресс-отправлений занимают рекламная продукция, образцы товаров, автозапчасти и комплектующие к компьютерам и бытовой технике, телекоммуникационное оборудование, сувениры, пресса, оргтех-

ника и потребительские товары (одежда, обувь). Нередки заказы на экспресс-транспортировку результатов медицинских исследований, проб и анализов, срок «жизни» которых крайне мал и при доставке которых важна не только оперативность, но и сохранность, соблюдение условий транспортировки (стерильности, температуры и т. п.).

Потребителями услуг экспресс-перевозчиков в основном являются производители и поставщики телекоммуникационного оборудования, страховые компании, банки, медицинские центры, издательские дома и торговые предприятия. Доля частных экспресс-отправлений в общем объеме незначительна.

Экспресс-доставка — один из наиболее динамично развивающихся сегментов транспортно-логистического рынка в России. Сегодня рынок продолжает сохранять высокие, по мировым стандартам, темпы роста, что привлекает все новых и новых игроков. На рынке экспресс-доставки, перевозок сборных партий работает множество транспортных компаний. Приведем данные по нескольким крупнейшим операторам, полученные из их сайтов.

Компания DHL. DHL — мировой лидер экспресс-доставки и логистики. В компании работают около 300 тыс. сотрудников, которые предоставляют быстрый и надежный сервис, учитывающий потребности клиентов. DHL вышла на российский рынок в 1984 г. Сегодня компания обслуживает более 500 населенных пунктов России. Терминальная сеть компании на территории РФ представлена на рис. 1.1.

Подразделение DHL Express — лидер на международном рынке экспресс-доставки. Компания предоставляет услуги по экспресс-доставке грузов более чем 8 млн клиентов в 220 странах. Для экспресс-авиаперевозки грузов компания создала систему маршрутов, связывающих более 500 аэропортов, которые обслуживают как собственные самолеты подразделения DHL Global Forwarding, так и самолеты партнеров и подрядчиков DHL. Общее количество узлов транспортной сети DHL Express превышает 35 000. Транспортный парк DHL Express включает более 62 000 автомобилей.

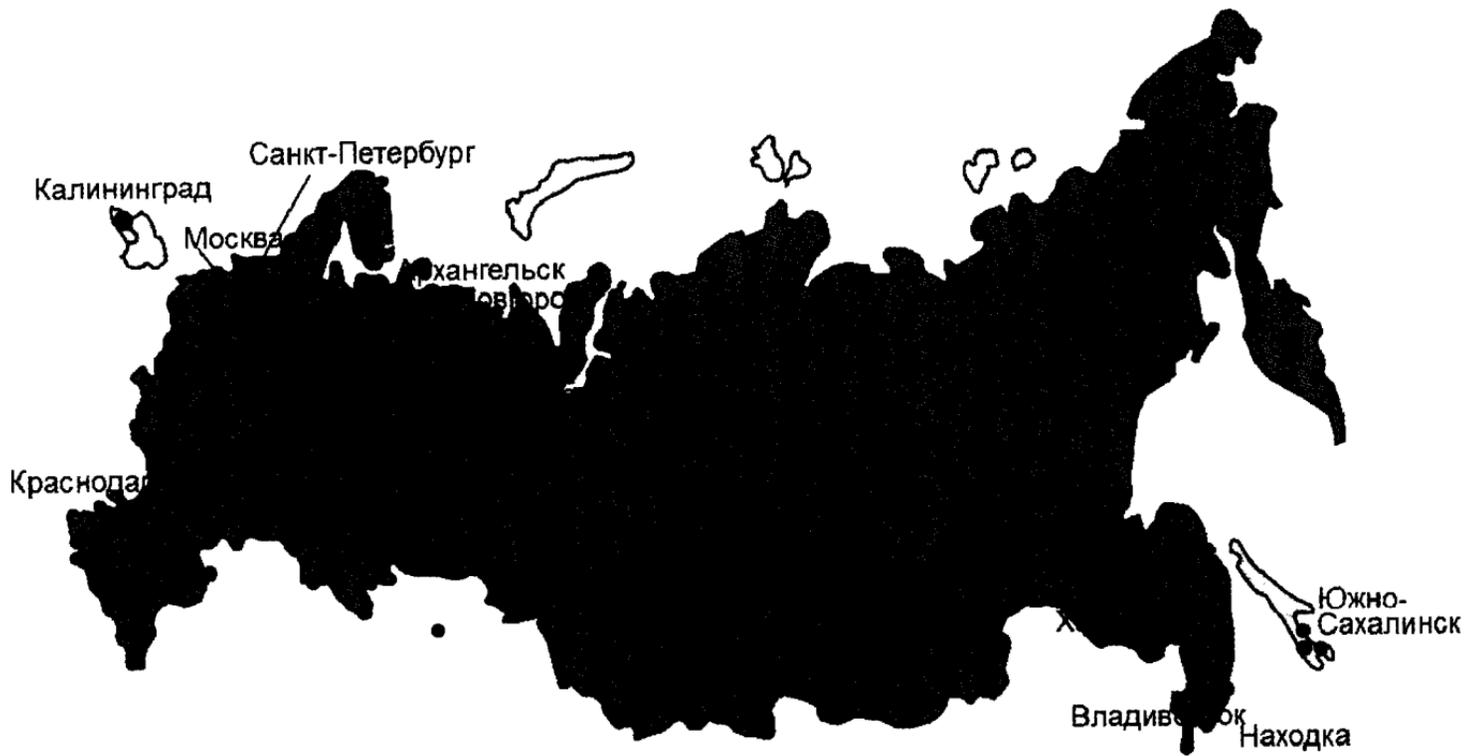


Рис. 1.1. Терминальная сеть компании DHL на территории России

Подразделение DHL Global Forwarding предоставляет услуги в области транспортировки тяжелых грузов воздушным или морским путем, а также наземным транспортом на территории европейских стран. На долю подразделения приходится 12 % мирового рынка авиаперевозок (более 4 млн т грузов в год). Транспортировка морским транспортом включает также доставку сборных грузов — LCL (грузы в составе сборного контейнера), контейнерные перевозки — FCL и др.

DHL Freight — одна из крупнейших транспортно-экспедиционных компаний в Европе, предоставляющая услуги по доставке грузов наземным транспортом. Компания предлагает организацию перевозки груза автомобильным или железнодорожным транспортом, а также комбинированную перевозку.

Подразделение Supply Chain, Corporate Information Solutions оказывает услуги по складированию и организации цепочек поставок для клиентов, работающих в различных отраслях, таких как автомобильная, текстильная, информационные технологии, розничная торговля и др.

Подразделение DHL Global Mail предоставляет услуги по почтовой рассылке адресатам в более чем 220 странах мира. Компания владеет четырьмя авиалиниями:

- компания European Air Transport, расположенная в Брюсселе (Бельгия), предоставляет услуги по перевозке грузов на европейском направлении, а также осуществляет перевозки на Ближний Восток и в Африку на самолетах Boeing 757 SF/PF и Airbus A300B4;

- компания DHL Air UK, расположенная в аэропорту East Midlands (Великобритания), является самой новой авиалинией DHL; компания предоставляет услуги по перевозкам грузов в пределах Европы на самолетах Boeing 757SF;

- компании DHL, расположенные в аэропорту Бахрейна, предоставляют услуги по перевозке грузов в ближневосточные страны, включая Афганистан и Ирак, используя парк местных самолетов;

- компании DHL, расположенные в Панаме, предоставляют услуги по перевозке грузов в страны Центральной и Южной Америки на самолетах Boeing 727.

Компания TNT Express. Одна из крупнейших компаний на рынке международной экспресс-доставки документов, посылок и корпоративных грузов со штаб-квартирой в Нидерландах. Ежедневно TNT Express доставляет около 1 млн документов, посылок и палетизированных грузов в свыше чем 200 стран мира. Располагает собственными воздушными и автодорожными сетями доставки «от двери до двери» в Европе, Юго-Восточной Азии, Америке, Африке и на Ближнем Востоке. Всемирная сеть TNT включает свыше 2300 собственных складских и сортировочных центров в более чем 200 странах, обеспечивает перевозку более 2 млн посылок в день по интегрированной международной сети. Оперативные центры компании объединены в мировую компьютерную сеть TNT — Global Link. Парк собственных транспортных средств организации насчитывает 26 000 грузовых и легковых автомобилей и 47 грузовых ВС.

В России компания работает с 1989 г., имеет два оперативных центра в Москве и Санкт-Петербурге. Уже к 2003 г. региональная сеть доставки охватывала 5500 городов и населенных пунктов России. В 2005 г. были открыты офисы в Самаре, Новосибирске, Нижнем Новгороде, Иркутске, а в 2008 г. — в Ростове-на-Дону и Краснодаре. К настоящему времени сеть компании включает головной офис и 21 пункт приема срочной корреспонденции в Москве, 12 региональных центров и 48 пунктов приема в регионах. Оперативные центры, обеспечивающие координацию и управление транспортными операциями, расположены в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде, Самаре и Новосибирске.

TNT Express в России располагает развитой сетью с самым широким охватом территории в индустрии экспресс-доставки. Фрагмент маршрутной сети компании приведен на рис. 1.2. Перевозки грузов из Санкт-Петербурга и Ленинградской области осуществляются автомобильным транспортом по регулярным маршрутам на московские терминалы компании, где грузы консолидируются и передаются на авиационный транспорт для доставки в крупнейшие центры России. В целях обеспечения качественного обслуживания



Рис. 1.2. Сеть маршрутов доставки компанией TNT Express на территории России

клиентов в более чем 5500 населенных пунктах России компания TNT Express заключила ряд агентских соглашений с местными транспортными организациями и курьерскими службами, занимающими лидирующие позиции на региональных рынках страны.

Компания «Байкал-Сервис». Транспортная компания «Байкал-Сервис» работает на логистическом рынке более 17 лет. Услугами компании пользуются предприятия среднего и малого бизнеса, а также крупные торговые, промышленные, государственные организации. По всей России работает более 56 филиалов компании, самые крупные из них — в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Ростове-на-Дону — стали распределительными логистическими центрами с развитой производственной и сервисной инфраструктурой.

Компания начала свою работу в 1994 г., когда был отправлен первый почтово-багажный вагон с грузом по направлению Москва—Иркутск. С 2002 г. осуществляются перевозки из Москвы в Санкт-Петербург автомобильным транспортом. Далее осваивается европейская часть России, затем Южный федеральный округ России, начинаются регулярные отправки из Москвы, и, наконец, в 2008 г. вводится расписание движения автотранспорта как основного документа, отражающего и определяющего четкую организацию грузоперевозок.

Железнодорожные филиалы компании «Байкал-Сервис» расположены преимущественно в регионах Сибири и Дальнего Востока. В собственности компании находится подвижной состав, состоящий из почтово-багажных и грузовых вагонов.

Компания DPD. Ведущая международная служба экспресс-доставки посылок с многолетним опытом работы: 2 млн посылок в день, более 24 000 сотрудников, 800 терминалов в 40 странах, свыше 300 000 клиентов.

В России DPD объединяет две компании: ЗАО «Армадилло» и ЗАО «Армадилло Бизнес Посылка». Компания «Армадилло» начала свою деятельность на рынке транспортно-экспедиторских услуг в 1991 г. с организации перевозок нефтеоборудования в отдаленные регионы Западной Сибири для североамериканских компаний из штата Техас.

Символом Техаса является броненосец (armadillo), отсюда и название компании. С 1991 по 2003 г. компания «Армадилло» осваивала международные и внутренние авиаперевозки, заключая агентские соглашения с крупнейшими международными и российскими авиакомпаниями.

На сегодняшний день основной вид деятельности компании в России — это доставка посылок и грузов. Объем посылок превысил 6 млн. Компания имеет 60 терминалов и филиалов, автопарк имеет более 500 автомобилей.

В 1999 г. при участии шведского партнера и компании ЗАО «Армадилло» было учреждено ЗАО «Армадилло Бизнес Посылка» — компания, которая предложила российскому рынку услугу экспресс-доставки посылок и грузов. Были открыты офисы компании в Москве и Санкт-Петербурге. Логистический оператор «Армадилло Бизнес Посылка» оказывает клиентам полный комплекс транспортно-логистических услуг по разработанной технологии экспресс-экспедирования, осуществляя доставку в 4000 городов и населенных пунктов России через 42 терминала, 6 городских центров по приему и обработке грузов и множество филиалов и обрабатывая свыше 4,5 млн посылок в год. На базе терминальной сети с учетом фактора транспортной географии разработана система тарифных зон, которая является основой для калькуляции ставки за транспортно-логистическое обслуживание. Компания располагает собственным автопарком различной грузоподъемности из 420 транспортных средств и имеет агентские соглашения с крупнейшими международными и российскими авиакомпаниями.

Компания United Parcel Service (UPS). Под наименованием United Parcel Service компания начала работать в 1919 г. Основные направления деятельности: малотоннажные перевозки по всей континентальной территории США и миру; логистика и распределение; средства передвижения и фрахт (воздух, море, рельс); отправление грузов в 195 стран; международное торговое управление; таможенное маклерство; логистика запчастей; проектирование и планирование цепей поставок. Операционная сеть компании включает 2000 терминалов в разных странах. Операционные центры компании находятся в городах США, Кёльне (Германия),

Шанхае, Гонконге, Майами, Гамильтоне (провинция Онтарио, Канада).

Компания «Деловые линии». Выполняет грузоперевозки автомобильным, авиационным и железнодорожным транспортом, включая контейнерные перевозки. Основная специализация компании — транспортно-экспедиторские услуги по перевозке сборных грузов от 1 кг до 20 т и посылок по территории России. Собственный автопарк осуществляет доставку грузов в границах города малотоннажным транспортом, а между городами — с помощью магистральных грузовиков. Движение автотранспорта между филиалами компании происходит по расписанию.

Компания имеет холдинговую структуру с базовым центром в Санкт-Петербурге и 40 филиалами в крупных городах России. Грузовые терминалы (рис. 1.3) предоставляют клиентам полный комплекс услуг по приему, обработке, складированию, хранению и отправке грузов, а также по экспедированию и страхованию автоперевозок на всей территории России. Структура компании позволяет обслуживать клиентов в 1000 населенных пунктов на территории России, обрабатывать ежедневно 15 000 заявок.

Перевозки грузов авиатранспортом осуществляются из Владивостока, Екатеринбурга, Москвы, Иркутска, Краснодара, Красноярска, Новосибирска, Самары, Санкт-Петербурга, Хабаровска, Улан-Удэ. Подразделения компании в этих городах являются основными распределительными центрами авиаперевозок. Грузы из других городов, в которых функционируют терминалы «Деловых линий», отправляются транзитом через эти города.

Компания «СПСР-Экспресс». Работает на российском рынке с 2001 г. Крупный всероссийский экспресс-оператор, который предлагает комплекс услуг по доставке документов и грузов в любую точку России и за границу. Имеет собственную филиальную сеть, состоящую из 119 филиалов и 90 представительств во всех регионах России, а также в странах Ближнего Зарубежья. В зону обслуживания входят около 4000 населенных пунктов. Деятельность СПСР осуществляется на основании почтовой лицензии. Располагает автоматизированным сортировочным центром

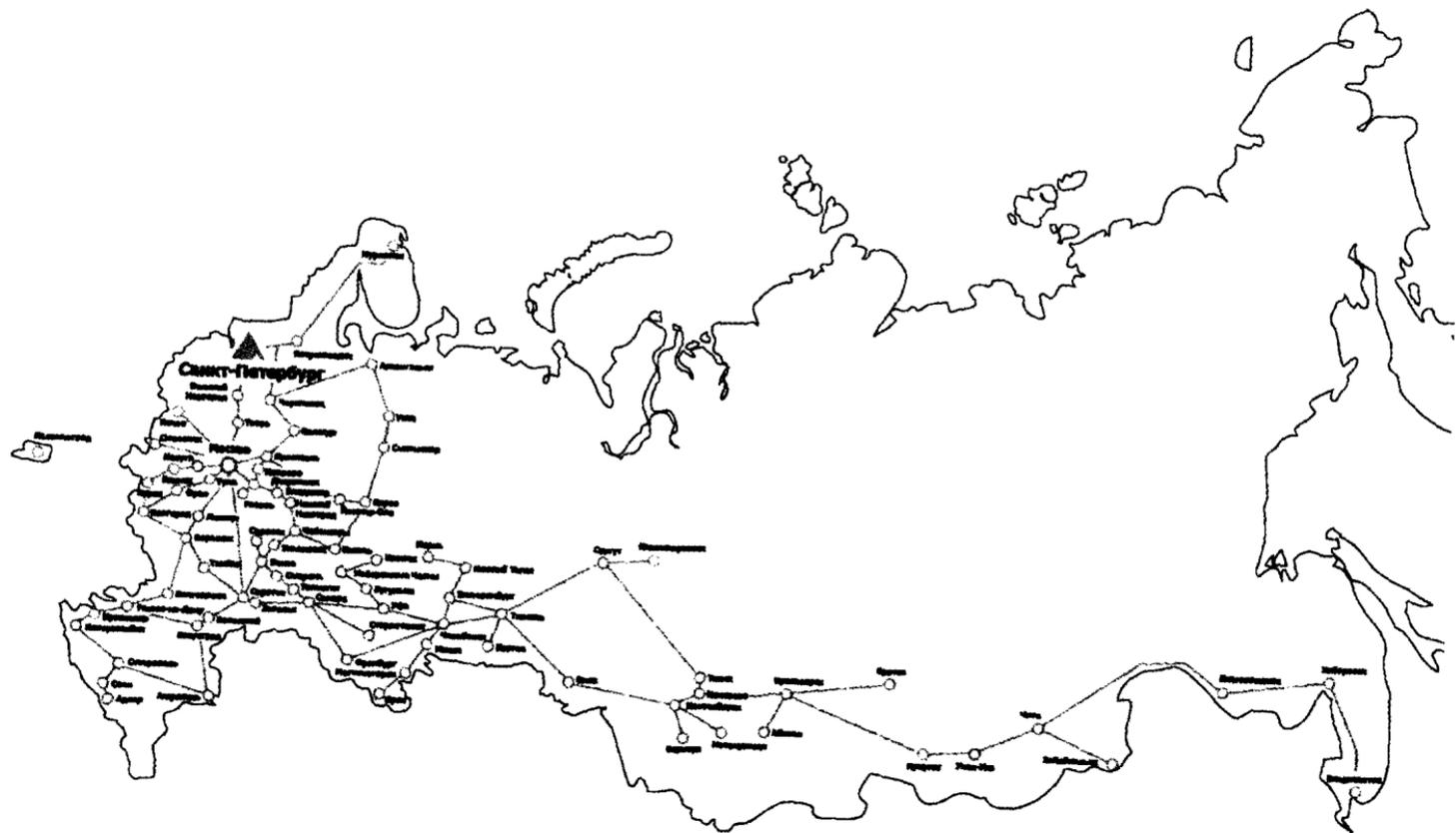


Рис. 1.3. Транспортно-терминальная сеть компании «Деловые линии»

площадью 10 000 м², в котором обрабатывается до 12 тыс. отправлений в день.

Компания «Пони-Экспресс». На сегодняшний день «Пони-Экспресс» — ведущий грузовой оператор на рынке экспресс-доставки. Крупный 3PL-оператор с развитой производственной инфраструктурой в городах России и других стран СНГ, включающий 59 филиалов, 141 представительство в России, а также подразделения в Казахстане, Украине и Армении. Компания обслуживает более 9000 направлений по России, другим странам СНГ, 218 странам мира и предлагает своим клиентам сервис, соответствующий международному уровню, а также комплекс услуг по доставке почтовых и грузовых отправлений по принципу от «двери до двери».

Логистический оператор «Пони-Экспресс» входит в состав одной из крупнейших в России промышленных групп «Базовый элемент». Клиенты «Пони-Экспресс» — российские и международные компании, работающие в самых различных областях: автомобильной и табачной промышленности, производстве компьютерной и бытовой техники, информационных технологий, масс-медиа, дистанционной торговле и многих других.

Историческая справка. В начале 1860-х гг. для доставки почты между городами Сент-Джозеф (штат Миссури) и Сакраменто (штат Калифорния) использовали перекладных мустангов и индейских пони. Работа конной почты шла под девизом «Почта должна быть доставлена при любых обстоятельствах». Всадники-курьеры, несмотря ни на какие обстоятельства, должны были доставить почту на расстояние более чем 3000 км в течение 8–10 дней. Почтовые курьеры ежеминутно подвергались опасности нападения. Бывало, что лошади без курьера доставляли на ближайшую станцию только сумку с почтой, а судьба всадника оставалась неизвестной.

В течение двух месяцев были куплены 150 едва объезженных мустангов — самых быстрых полудиких лошадей. Их распределили на всем пути в 2000 миль (3220 км). Набрали восемь десятков умелых всадников. Вдоль трассы построили своеобразные ямщицкие станции. Почтовые курьеры, прибыв на станцию, оставляли станционному смотрителю мучилву — переметную сумку — с почтой, деньгами и другими ценностями и на свежей, уже оседланной лошади мчались дальше. В сутки они преодолевали расстояние от 75 до 100 миль; передоверив груз напарнику, они отправлялись на отдых. Курьеры и станционные смотрители выполняли свою работу в пустынной местности, часто мимо них проносились индейцы в боевой раскраске, а за ними карательные отряды солдат и бандиты.

Компания FedEx Express. Американская грузовая авиакомпания, базирующаяся в городе Мемфис (штат Теннесси). Это первая в мире авиакомпания по объему перевезенных грузов и вторая по размеру флота (более чем 400 средне- и дальнемагистральных и 300 ближнемагистральных воздушных судов FedEx Feeder).

Компания начала коммерческие перевозки 17 апреля 1973 г. Тогда лишь 14 самолетов выполняли полеты между 25 городами США. Сегодня FedEx Express — это более чем 139 000 сотрудников, 45 000 отделений, более 700 самолетов, свыше 40 000 автомобилей, объединенных в единую глобальную сеть экспресс-доставки. Компания FedEx Express работает в Азиатско-Тихоокеанском, Карибском регионах, Канаде, Европе и на Среднем Востоке, в США, Латинской Америке.

В начале 1970-х гг. американские грузоперевозчики загружали посылки клиентов в грузовые отсеки пассажирских самолетов. Расписание было сформировано под потребности авиапассажиров с вечерним, как правило, прибытием воздушных судов в аэропорт назначения. У авиаперевозчиков не было наземной курьерской службы. В результате грузы доставлялись адресатам к ночи, что было неудобно клиентам. Основатель компании Фред Смит разработал новую в сфере грузоперевозок систему транспортировки грузов — систему воздушных маршрутов Hub and Spoke. Это название имеет различные переводы на русский язык — «ступица (колеса) и спица», «центр и лучи». Идея заключалась в следующем. В течение дня все посылки собирают в специальных грузосортирующих центрах в различных городах Америки. Посылки в местных центрах сортируют и объединяют согласно месту назначения. Ночными авиарейсами их доставляют в национальный центр (Hub — хаб). Самолеты, доставив посылки в центр, возвращаются в свой «домашний» городской аэропорт рано утром уже с новыми посылками. Маршруты — хаб — город — это лучи. Вначале в системе было только два хаба, связанных между собой регулярными грузовыми авиарейсами, выполняемыми одним самолетом. С ростом бизнеса появилась возможность пустить самолеты по другим «лучам» в другой центр, бо-

лее приближенный к обслуживаемому рынку. В результате создалась и развивается транспортно-терминальная сеть, связывающая любую точку с любой другой.

Компания «EMS Гарантпост». Усилиями почтовых администраций, составляющих Всемирный почтовый союз, была создана Всемирная сеть EMS (Express Mail Service), предоставляющая услуги по международной доставке экспресс-почты массой до 31,5 кг. С конца 1990 г. услуги EMS в России предоставляло российско-французское совместное предприятие ООО «EMS Гарантпост», созданное по решению Минсвязи СССР и до 2004 г. занимавшее половину всего рынка экспресс-доставки в России. Одним из акционеров компании «EMS Гарантпост» является с российской стороны авиакомпания Аэрофлот.

Компания «Карго-Экспресс». Основные базы — грузовые терминалы в Москве, Санкт-Петербурге и Хельсинки. Компания имеет офисы в международных аэропортах Шереметьево, Домодедово, Внуково, Пулково, агентскую сеть в более чем 50 аэропортах России и за рубежом, заключила прямые агентские соглашения со всеми крупными авиакомпаниями, такими как: Аэрофлот, Lufthansa, Emirates, Delta Airlines, British Airways, Air France, Swissair, Austrian Airlines, KLM, ГТК Россия. Является общероссийским таможенным брокером, уполномоченным оформлять грузовые таможенные декларации на авиационных таможенных постах в Москве и Санкт-Петербурге.

1.3. ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОДУКТЫ ОПЕРАТОРОВ СБОРНЫХ ГРУЗОВ

Транспортный продукт. Транспортные компании предоставляют своим клиентам услуги по доставке грузов (посылок) по территории России и вне ее через собственные транспортно-терминальные сети.

Компании разрабатывают собственные классификаторы транспортного сервиса. Приведем примеры транспортных продуктов, типовых для большинства компаний, работающих на этом рынке.

Посылки, принимаемые к перевозке, делятся на ряд категорий.

Обычные посылки (ПОС) представляют собой отправку, состоящую из одного или нескольких мест с габаритными размерами каждого места не более 160×100×160 см и массой не более 35 кг. Каждое отдельное место в отправляемой партии также называется посылкой. Прием груза у отправителя и его передачу получателю осуществляет водитель компании.

Тяжелые посылки (ТПС) имеют те же габаритные размеры и массу мест, что и обычные, но по крайней мере одно место имеет массу в пределах от 35 до 50 кг. Погрузка в грузовик и выгрузка из грузовика компании осуществляют грузоотправитель и грузополучатель.

Палета (ПАЛ) представляет собой отправку, скомплектованную на поддоне, общая масса которой превышает 50 кг. Погрузка и выгрузка осуществляются тележками или погрузчиками грузоотправителей и грузополучателей.

Негабаритная посылка представляет собой отправку, содержащую место, один размер которого превышает 160 см.

При приеме имеются определенные ограничения по максимальным габаритным размерам и виду груза. К отправлению не принимаются опасные грузы, наливные, сыпучие, скоропортящиеся и некоторые другие.

Виды обслуживания. Каждый из видов сервиса определяется набором параметров, характеризующих доставку. По времени доставки сервис разделяется на виды:

- «утренняя доставка» — доставка клиенту до 9 часов утра;
- «дневная доставка» — доставка клиенту до 12 часов дня;
- «в рабочий день» — доставка клиенту до 17 часов;
- «в течение суток» — доставка до 24 часов.

Эти виды сервиса характеризуют два вида перевозок: «от двери (офиса или склада клиента) до двери» («Д-Д-сервис») и перевозку «от терминала компании до двери клиента» («Т-Д-сервис»). Во втором случае отправитель сам доставляет груз на терминал компании, где и осуществляет его передачу. Клиенту предлагаются также перевозки «от двери (отправителя) до согласованного терминала компании

(ближайшего к получателю)» («Д-Т-сервис») и перевозки «от терминала до терминала» («Т-Т-сервис»). В обоих случаях получатель осуществляет самовывоз груза с терминала компании.

Клиент может выбрать два вида дополнительного сервиса:

- «доставку с подтверждением» — клиенту высылается по факсу копия накладной с подписью получателя;
- «доставку с наложенным платежом» — при вручении отправки получателю с него взимается стоимость товара, указанная в накладной, с тем чтобы перевести ее на счет клиента.

Перевозки подразделяются также на междугородные, в которых участвуют как минимум два терминала, расположенных в разных городах России, и внутригородские (или местные) перевозки с участием одного терминала (а для Москвы и Санкт-Петербурга возможны два и более).

Далее представлены наименование и описание транспортных продуктов ряда крупных компаний, данные взяты с официальных сайтов компаний.

Транспортные продукты компании TNT Express. Продукты 9:00 Express, 10:00 Express, 12:00 Express характеризуются временем доставки груза получателю — не позднее указанного времени следующего рабочего дня. Вызов курьера — до 15:30 текущего дня. Габаритные размеры грузового места — не более 240×120×180 см. Масса одной отправки — не более 210 кг. Продукты Economy Express, Domestic Economy характеризуются большой массой отправки (до 7 т) и большими, но оговоренными, сроками доставки в зависимости от направлений перевозки.

Помимо организации перевозки основных транспортных продуктов TNT Express оказывает широкий спектр услуг специального сервиса, к которым относятся:

- **Dedicated Express** — автомобильная доставка отдельной партии груза на выделенном транспортном средстве по схеме «от двери до двери» напрямую, минуя транспортно-терминальную сеть компании;
- **«Авиа фрахт»** — доставка по логистическим схемам «от двери до двери» и «от двери до терминала» с использованием авиаплеча;

- складская логистика и дистрибуция — организация хранения готовой продукции и комплектующих на складах сети TNT, управление логистическими цепями товаропроизводителей, распределение грузопотоков со специализированных дистрибуционных центров; сервис включает послепродажное обслуживание: забор грузов от потребителей по требованию и доставку материалов в сервисные центры клиентов;

- доставка опасных грузов, биологических образцов, скоропортящихся грузов с контролируемым температурным режимом и хрупких отправок в специализированном подвижном составе с учетом транспортной характеристики грузов.

Транспортные продукты компании DPD. Основные продукты компании приведены в табл. 1.1.

Услуги компании DPD. Услуга международной доставки «DPD Классик» предлагается для доставки документов и посылок с географией обслуживания, насчитывающей 220 стран и территорий мира, DPD 10:00, 13:00 и 18:00 — для срочной экспресс-доставки посылок и грузов по России к 10:00, 13:00 или 18:00 определенного дня, «DPD Экспресс» — для авиадоставки посылок и сборных грузов в крупнейшие российские города; срок доставки по большинству направлений составляет один рабочий день.

Приведем некоторые виды специальных услуг:

- DPD Full Truck — доставка «от двери до двери» комплектных партий грузов и посылок по территории России автомобилями различной грузоподъемности за пломбой отправителя;

- DPD Same Day — доставка посылок «от двери до двери» в тот же день по Москве и Московской области, Санкт-Петербургу и Ленинградской области, Ростову-на-Дону и Ростовской области, Екатеринбург;

- DPD Logistic Solutions — складское хранение, кросс-докинг, упаковка и переупаковка широкой номенклатуры промышленной продукции, комплектация заказов, доставка по 7000 направлений в России;

- DPD On-board courier — доставка посылок в сопровождении персонального курьера «от двери до двери» без прохождения обработки на терминале;

Характеристики транспортных продуктов компании DPD

Транспортный продукт	Расписание вызова курьера	Срок доставки	Масса, кг; габаритные размеры, см, грузового места, не более
DPD 10:00	9:30–12:00 текущего дня; 9:30–19:00 накануне	Не позднее 10:00 определенного дня; 11–14 дней (по маршруту Санкт-Петербург — Владивосток)	1000; 350×160×180
DPD 13:00	9:30–12:00 текущего дня; 9:30–19:00 накануне	Не позднее 13:00 определенного дня; 12–15 дней (по маршруту Санкт-Петербург — Владивосток)	1000; 350×160×180
«DPD Авиа- Экспресс»	9:30–12:00 текущего дня; 9:30–19:00 накануне	1 рабочий день для большинства направлений	50, одной отправки 250; 120×80×80
«DPD Бизпак»	9:30–12:00 текущего дня; 9:30–19:00 накануне	Не позднее 13:00 определенного дня; 12–15 дней (по маршруту Санкт-Петербург — Владивосток)	1000; 350×160×180
«DPD Классик»	9:30–12:00 текущего дня; 9:30–19:00 накануне	4 дня (по маршруту Санкт-Петербург — Владивосток)	80, одной отправки 400; 120×80×80
«DPD Эконом»	9:30–12:00 текущего дня; 9:30–19:00 накануне	20 дней (по маршруту Санкт-Петербург — Владивосток)	1000; 350×160×180

• «DPD Классик» — международная доставка документов и посылок массой до 31,5 кг «от двери до двери»;

DPD Customs Clearance — таможенное оформление грузов, доставляемых авиатранспортом в (из) международный аэропорт «Шереметьево».

Благодаря развитой транспортной сети период ожидания курьера с момента приема заявки не превышает 2 ч, сроки доставки между любыми российскими городами областного значения составляют 1–3 суток, между другими населенными пунктами — 3–5 суток. Широкий спектр on-line сервисов на сайте компании позволяет клиенту рассчитывать стоимость доставки, используя интерактивный калькулятор, управлять заказами, печатать накладные, проводить мониторинг отправок, контролировать транспортно-логистический бюджет компании и получать статистику по заказам.

Услуги компании «Армадилло Бизнес Посылка». Компания диверсифицирует свою деятельность, развивая такие виды логистического сервиса, как:

- «ЖД Контейнер» — доставка грузов железнодорожным транспортом в универсальных контейнерах различной грузоподъемности (3,5–24 т) по территории России;

- «прямая машина» — доставка «от двери до двери» комплектных партий грузов и посылок по спланированным маршрутам по территории России за пломбой отправителя автомобилями различной грузоподъемности (2,5–20 т) с объемом грузового помещения 15–82 м³;

- логистика третьей стороны — разработка для клиентов решений по терминальной обработке и дистрибуции товаров, включая услуги ответственного хранения, упаковку широкой номенклатуры продукции, комплектацию заказов, кросс-докинг (прием, комплектация и отправка груза без размещения его в зоне хранения склада).

Услуги компании «Деловые линии». Компания предоставляет следующие услуги: доставка автомобильным транспортом (между терминалами, «от двери до двери», между населенными пунктами — «прямая машина», по городу — почасовая аренда автомобиля, доставка грузов фурами), железнодорожная транспортировка, доставка груза авиатранспортом, контейнерные перевозки, дополнительные сервисы [информационная поддержка 24 ч, личный кабинет, ответственное хранение, погрузочно-разгрузочные работы, возврат (доставка) документов, страхование грузов, упаковка].

Услуги компаний — операторов сборных грузов по упаковке. В табл. 1.2 на примере компании «Байкал-сервис»

Виды услуг по упаковке

Упаковка	Стоимость упаковки	Грузы, подлежащие упаковке
Упаковка в полипропиленовый мешок под пломбу	Большой мешок (100×150 см) — 60 руб., малый (55×100 см) — 40 руб.	Радиотелефоны, мобильные телефоны и аксессуары к ним (flash-карты, hands-free и т. д.), SIM-карты, карты оплаты, фото- и видеоаппаратура, цифровая техника, портативная компьютерная техника и комплектующие, радиодетали, дорогая косметика (парфюмерия), наручные часы и другие высоколиквидные грузы, а также грузы размерами менее 25×25×25 см
Палетирование груза (укладка груза на европоддон с закреплением скотчем и стрейч-пленкой)	200 руб./м ³	Канистры, грузы в пластиковой и жестяной таре в большом количестве с размерами места менее 25×25×25 см или другие грузы по желанию клиента
Палетирование груза (укладка груза на европоддон с закреплением скотчем и стрейч-пленкой) под пломбу	200 руб./м ³ + 20 руб. за пломбу	Партия груза с совокупным количеством более 100 мест в адрес одного получателя [исключением может являться груз, общий объем которого превышает 10 м ³ на 100 мест (при большом количестве мест больших объемов)], большое количество ценного груза, большое количество мест с доступом к грузу
Обрешетка (изготовление деревянной упаковки индивидуально по размеру груза)	680 руб./м ³	Изделия из стекла, керамики, гипса, сантехнического фаянса, мебель со стеклянными элементами, оборудование с хрупкими или стеклянными элементами, кузовные автозапчасти, холодильное оборудование, солярии, ванны, душевые кабины, оборудование и металлоконструкции, имеющие неправильную геометрическую форму, жидкие и текучие грузы в любой упаковке
Упаковка в пузырчатую полиэтиленовую пленку	50 руб. за 1 погонный метр	Мягкая мебель, мебель с полированными поверхностями и другие товары по желанию клиента

представлены услуги по упаковке грузов, принимаемых к отправлению транспортными компаниями.

Услуги компании «Пони-Экспресс». Компания обслуживает более 7000 городов и населенных пунктов России и более 2000 городов Украины, Белоруссии, Казахстана, Молдавии. Доставка в другие страны СНГ осуществляется в рамках услуг международной доставки. Почтовые отправления массой до 20 кг (включительно) доставляются в режимах «Экспресс» (срочная доставка, масса одного места — не более 80 кг, габаритные размеры одного места по сумме трех измерений — не более 270 см) и «Эконом» (сочетание низких тарифов и надежности сервиса для несрочной доставки почтовых и грузовых отправлений). Отправления массой до 2 кг доставляются в режиме «Супер-Экспресс» (гарантированная срочная доставка почтовых отправлений массой до 2 кг к определенному времени на следующий рабочий день). Грузовые отправления массой более 20 кг доставляются в режимах «Экспресс» и «Эконом».

Доставка ко времени. Гарантированная доставка почтовых и грузовых отправлений к определенному моменту позволяет точно спланировать время и логистику отправок:

- «Экспресс 10:00» — гарантированная доставка почты массой до 5 кг к началу рабочего дня по 34 направлениям внутри страны в течение 1–2 рабочих дней;

- «Экспресс 13:00» — гарантированная доставка почты массой до 5 кг с 10:00 до 13:00 по 68 направлениям внутри страны за 1–4 рабочих дня;

- «Экспресс 18:00» — гарантированная доставка почтовых и грузовых отправлений с 13:00 до 18:00 определенного дня в 135 крупнейших городах России; сервис доступен для крупных городов России по направлениям «Москва — регион» и «регион — Москва»; доставка производится в пределах города.

Доставка внутри города. Компания «Пони-Экспресс» осуществляет внутригородскую доставку почты в режимах «Экспресс» и «Эконом» и грузов в режиме «Груз-Эконом». Услуга предоставляется в пределах административных границ города, например в Москве — в пределах МКАД и филиалов «Пони-Экспресс».

Международная доставка. «Пони-Экспресс» предлагает срочную доставку почтовых отправлений и грузов по всему миру, гарантированную доставку документов и недокументов в более чем 900 городов СНГ и в 218 стран мира.

Упаковка. Курьерская служба предоставляет бесплатную фирменную упаковку в специально разработанные влагоустойчивый картонный конверт и пластиковый пакет повышенной прочности. Все упаковочные материалы компании имеют уникальный номер. Сотрудники «Пони-Экспресс» проверяют номер на каждом этапе следования отправления, чтобы убедиться в отсутствии несанкционированной перепакровки, а также в сохранности вложений.

«Пони-Экспресс» как Third Party Logistics (3PL)-провайдер. 3PL-технология представляет собой целый комплекс логистических услуг: хранение грузов, адресная доставка их потребителю, контроль над грузами и слежение за их перемещением, управление заказами. Провайдер услуг 3PL-логистики занимается организацией и управлением грузоперевозок, ведением учета запасов и их управлением, сортировкой, упаковкой и подготовкой к отправке заказов, их комплектацией, включая поштучный пересчет каждой единицы наименований и составление упаковочного листа, подготовку и оформление фрахтовой и экспортно-импортной документации. При реализации услуги 3PL груз (товар) от производителя поступает на склад компании и со склада к потребителю (клиенту). Сотрудники компании планируют весь объем работы от доставки груза до его реализации.

Страхование грузов. Компания «Пони-Экспресс» предлагает страховую защиту финансовых интересов клиента и возмещает убытки, которые клиент несет от утери или повреждения отправления при любых видах перевозки. Ответственность компании за отправления ограничена и не превышает 1500 руб. за почтовые отправления и 15 000 руб. за грузовые отправления, доставляемые по одной накладной, если отправителем не объявлена более высокая ценность отправления.

Специальная доставка. К специальным видам доставки относятся опасные грузы и биологические образцы. К опас-

ным грузам относятся вещества и предметы, которые при перевозке, загрузке, выгрузке и хранении могут явиться причиной взрыва, пожара, повреждения или порчи других отправок, оборудования, зданий, сооружений, а также увечья, отравления, ожогов или облучения людей. Доставка биообразцов возможна при следующих температурных режимах: в сухом льду ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), охлажденные (в охлаждающем геле $+2...+8\text{ }^{\circ}\text{C}$), при комнатной температуре. Для доставки специальных видов грузов компания-перевозчик должна иметь необходимую разрешительную документацию и аттестованных специалистов по таможенному оформлению.

В своих отчетах компания сообщает о существенном росте выручки, объема перевозок, расширении терминальной сети, появлении новых крупных клиентов. Отмечаются резкий рост и расширение географии доставки товаров интернет-магазинов, в том числе наложенным платежом. Стратегическим направлением развития компании является расширение филиальной сети, стремление к тому, чтобы сервисы «Пони-Экспресс» были доступны в любых, даже в самых отдаленных, уголках страны, а в перспективе и во всех сопредельных государствах. Главным трендом является развитие доставки товаров, приобретенных в интернет-магазинах: отечественных и зарубежных. Сфера e-commerce наряду с расширением географического покрытия остается в числе приоритетов компании на будущее.

Услуги компании FedEx. Компания предлагает своим клиентам услуги доставки грузов по системе door-to-airport, airport-to-airport, door-door, услуги таможенного оформления, разработки логистических решений и отслеживания транспортировки грузов по маршруту. Приоритетным направлением деятельности FedEx является курьерская экспресс-доставка документов, пакетов и посылок. В частности, в настоящее время компания занимает 70 % рынка курьерских услуг США и Канады, а также значительную часть европейского рынка. FedEx работает в России с 1991 г.

Услуги компании «Карго-Экспресс». Компания выполняет перевозки внутри России и других стран СНГ: доставку груза «от двери» отправителя воздухом через все аэропорты

Москвы и Пулково (Санкт-Петербург) ближайшими рейсами, доставку автотранспортом по территории России методом частичной погрузки, железнодорожную доставку грузо-багажом, сборным вагоном или контейнером, перевозки между Санкт-Петербургом и Москвой. Ежедневно в 19:00 от терминала компании в Санкт-Петербурге (Москве) уходит несколько грузовиков с консолидированным грузом, собранным от клиентов за день. Утром следующего дня эти грузы доставляются клиентам в Москве (Санкт-Петербурге). Импортные и экспортные перевозки выполняются сборными авторейсами из Европы в Москву, Санкт-Петербург и регионы. На грузовом терминале в Хельсинки ежедневно формируется несколько грузовиков с консолидированным грузом в Москву, Санкт-Петербург, на уральское направление, юг России и др. Это могут быть грузы из Финляндии, прибывшие в аэропорт Vantaa или доставленные компанией Cargo Express либо ее партнерами экономичным способом из стран Скандинавии и Западной Европы. Также осуществляются регулярные прямые рейсы со сборным грузом из Западной Европы в Москву, Санкт-Петербург и далее.

Транзитные таможенные перевозки. Используя договор поручительства с таможеней либо под другое обеспечение, компания осуществляет доставку таможенных грузов, прибывающих в Санкт-Петербург и Москву, воздухом или автотранспортом по внутреннему таможенному транзиту в регионы России.

Наиболее популярные и отработанные услуги по импорту:

- экспедирование воздухом из Америки, Европы и других стран на условиях, например, EXW, FCA, FOB, до российских аэропортов (в случае отсутствия прямых рейсов — оформление транзита в «Пулково» или «Шереметьево» и переотправка воздухом на внутренних авиалиниях);

- экспедирование воздухом до Хельсинки, затем в составе автомобильного группажа до конечного склада временного хранения СВХ в России;

- экспедирование небольших партий груза из европейских стран автомобильным транспортом от «двери отправителя» до конечного СВХ в России в составе сборного груза,

**Сравнение тарифов крупных перевозчиков
на экспресс-доставку груза массой 2 кг из Москвы во Владивосток**

Компания	Цена с учетом НДС (без топливных надбавок), руб.	Сроки доставки, дни
«EMS Почта России»	700	2-3
СПСР	880	2-3
«Пони-Экспресс»	897	3-4
«Гарантпост»	899	2-3
City-Express	1048	2-5
«Армадилло»	1050	3-4
EMEX (FedEx)	1107	3-4
TNT	1286	2-3
UPS	1497	3-4
DHL	1834	2-3

прямыми грузовиками или с перегрузкой на терминале компании в Хельсинки.

Очень часто для импортных авиагрузов клиенты используют возможности быстрой и экономичной доставки из Финляндии автотранспортом: груз прибывает воздухом в аэропорт Хельсинки, затем финский офис погружает его на ближайший сборный грузовик, и груз прибывает на указанный клиентом СВХ в европейской части России. Авиаперевозку заказывают для быстрой доставки груза в самые отдаленные и труднодоступные районы мира с гарантией его сохранности. Несмотря на то что тарифы авиаперевозок значительно выше, чем на других видах транспорта, посредством авиаперевозки выгодно перевозить ценные и срочные грузы, такие как высокотехнологичное оборудование, ювелирные изделия, скоропортящиеся продукты, живые цветы.

В табл. 1.3 представлены тарифы и сроки доставки ряда крупных операторов.

1.4. ИНТЕРНЕТ-ТОРГОВЛЯ, ЕЕ РОЛЬ В ЭКСПРЕСС-ДОСТАВКЕ И РАЗВИТИИ ПЕРЕВОЗОК СВОРНЫХ ГРУЗОВ

Интернет-торговля (электронная коммерция, e-commerce) — термин, используемый для обозначения продаж товаров и услуг в Интернете. Обеспечивает продажу, проведение маркетинговых мероприятий путем использования компьютерных сетей. Экспресс-доставка стала основным средством транспортировки товаров для интернет-магазинов, поскольку в максимальной степени соответствует требованиям, выдвигаемым электронной торговлей, основными из которых являются:

- минимальная и предсказуемая цена;
- высокая надежность, обеспечиваемая использованием воздушного транспорта в качестве основного, полным контролем всех этапов перевозки, достигаемым их консолидацией в рамках одной транспортной компании, а также применением электронной информационной системы организации и отслеживания перевозок;
- высокая скорость доставки по всей территории деятельности интернет-магазина; покупатели товаров через интернет, как правило, рассчитывают получить их в течение 2 дней, при этом экспресс-перевозка является единственным способом доставки 90 % товаров в любую точку земного шара в течение 24–48 ч;
- обеспечение максимально возможного территориального покрытия: крупнейшие мировые экспресс-перевозчики обслуживают территории более 220 стран;
- доставка «от двери до двери» при минимальном участии продавца в процессе ее организации; экспресс-перевозчик берет на себя обязательство не только по физическому перемещению товаров от отправителя непосредственно к получателю, но и по расчету оптимального маршрута, подготовке всех необходимых для перевозки документов и т. д.

Основным фактором, снижающим качество международной экспресс-доставки при импорте интернет-товаров в России, является сложность процедур таможенного оформления. Таможенное оформление помимо повышения стоимости товара оказывает негативное влияние на сроки

доставки товаров российским потребителям. Нередко посылки с интернет-заказом доставляются от 2 недель до 2 месяцев. Известен случай, когда в московском аэропорту «Шереметьево» скопилось около 150 т посылок, которые должны были пройти таможенный контроль. За сутки почта и таможня могут обрабатывать порядка 25 т посылок. Для того чтобы освободиться от скопившихся посылок и пакетов, в аэропорту было введено ограничение на прием почтовых отправок из Западной Европы и Юго-Восточной Азии.

Проблемы таможенного оформления вызывают справедливые претензии торговых, почтовых и транспортных компаний, работающих на этом рынке.

Виртуальный магазин — это торговая площадка в интернете, интернет-представительство торговой компании, осуществляемое путем создания web-сервера, для продажи товаров и связанных с ними услуг другим пользователям интернета.

Предварительный этап — выбор товара на сайте. Покупатель товара — пользователь интернета — входит через свой компьютер на сервер виртуального магазина и изучает информацию о товаре. Выбрав нужный товар, покупатель переходит (по указанной ссылке) на другую страницу сервера и делает заявку — заказ на товар. Для оформления заказа используется интернет-меню, представленное на сайте магазина. Заказ на товар производится через электронную почту в форме отправки директору или продавцу виртуального магазина цифрового запроса на утверждение заявки и дальнейшее оформление. К запросу можно присоединить web-страницу с описанием выбранного товара.

Информация, размещенная на сайте интернет-магазина, расценивается как *публичная оферта* товара. На основании подобной оферты покупателем может быть заявлен *акцепт*, т. е. согласие заключить договор купли-продажи на предъявленных условиях. Действия покупателя по составлению заказа и его пересылка продавцу признаются акцептом, принятием условий договора купли-продажи.

Утвердив заказ, директор магазина (сам или через продавца) может направить его по электронной почте в отдел сбыта. Продавец вносит заказ в базу данных, проверяет

кредитоспособность заказчика и наличие товара на складе, резервирует товар для доставки. Та же программа затем способна передать в электронной форме заказ на перевозку на соответствующий склад и выписать счет на оплату.

Покупатель, получив счет, оплачивает его любой формой электронных платежей, после чего товар доставляется покупателю на дом. Покупатель, заключив договор с обслуживающим его банком, открывает расчетный электронный счет и переводит на него определенную сумму. Далее покупатель со своего компьютера дает поручение банку перевести требуемую сумму платежа на расчетный счет продавца. Перевод (транзакция) осуществляется банком электронным образом с использованием банковских сетей.

Способы доставки покупок из интернет-магазинов. *Курьерская доставка.* В крупных городах это наиболее востребованный способ доставки. Как правило, интернет-магазины имеют собственную курьерскую службу, которая осуществляет доставку в пределах региона со склада магазина покупателю. Стоимость товара и доставки часто оплачивается при передаче товара непосредственно курьеру. Данный способ отличается высокой скоростью доставки. Кроме того, покупатель перед оплатой может проверить состояние товара.

Самовывоз товара из интернет-магазина. При самовывозе покупателю не придется платить за доставку заказа. Кроме того, курьеры зачастую приезжают в неоговоренное время, что создает неудобства для покупателя. Недостаток самовывоза заключается в большем в сравнении с курьерской доставкой проценте невыкупленных заказов. Магазин после подтверждения заказа вынужден напоминать покупателям о невыкупленном товаре и снимать товар с резервирования, если в оговоренные сроки товар не будет выкуплен.

Почтовая доставка в интернет-магазине. Продавец (склад отгрузки), упаковав товар, передает его в местное отделение Почты России. Эта операция регламентируется договором между интернет-магазином (складом отгрузки) и местным отделением почты. Почта, используя возможности своей почтовой сети, доставляет заказ в ближайшее к покупателю местное почтовое отделение. В нем, как правило,

и происходят передача товара покупателю и расчет с ним. Полученные за товар деньги местная почта переводит на счет продавца.

Доставка наложенным платежом с использованием Почты России имеет преимущества ввиду самого большого охвата территории. Сроки доставки можно узнать на сайте Почты России. Случаи недоставки товара Почтой России до конечного пункта редки. Однако могут быть нарушения контрольных сроков и внешнего вида упаковок. В том случае, если покупатель не забирает доставленный товар, магазину придется оплачивать доставку туда и обратно. Для возврата товара на склад отгрузки потребуются порядка 50 дней (20 дней на доставку туда и обратно плюс 30 дней на ожидание выкупа товара покупателем).

Доставка транспортными компаниями. Главные преимущества такой доставки — большая скорость и надежность. Срок экспресс-доставки гарантируется перевозчиком. Транспортные компании имеют бесспорные преимущества перед почтовыми при доставке грузов больших размеров. Однако эта доставка существенно дороже.

На сайте транспортной компании вам могут предоставить помощь в автоматическом расчете стоимости доставки по различным направлениям.

Данные по стоимости доставки автоматически отображаются для покупателя со служебной страницы перевозчика на сайте интернет-магазина. Покупатель видит предварительную стоимость заказа, которая включает цену товара, стоимость доставки, все таможенные платежи в стране отправления. Окончательная сумма стоимости международной доставки и всех таможенных пошлин и сборов рассчитывается перед оплатой покупки.

Пример. Торговая компания S, осуществляющая продажу в России со своего сайта и отгрузку со склада в Финляндии, имеет контракт с транспортной компанией T-Express на доставку товара по линии «склад отгрузки (Финляндия) — территория России». По заключенному договору перевозки перевозчик принимает товар на складе компании и доставляет в адрес клиента, используя собственную транспортно-терминальную сеть в России.

По согласованной сторонами технологии перевозчик доставляет подготовленный к отправке продавцом груз на свой консолидационный склад

в Финляндии. Здесь заказы клиентов компании S консолидируются для доставки по двум направлениям: «склад Т-Ехресс (Финляндия) — терминал Т-Ехресс (Санкт-Петербург)» и «склад Т-Ехресс (Финляндия) — терминал Т-Ехресс (Москва)». Перевозчик выполняет регулярные автомобильные маршруты по этим двум направлениям. Финское отделение TNT производит экспортную очистку, консолидацию и доставку на склады компании (в Санкт-Петербурге, Москве). Московское отделение перевозчика осуществляет импортную очистку, сортировку грузов и авиационную доставку конечным получателям по своей сети через московские аэропорты. Доставка «до двери» получателя и расчеты с заказчиком товара осуществляют местные отделения в регионах. Санкт-Петербургское отделение перевозчика после импортной очистки и сортировки грузов развозит их конечным получателям в пределах города и области.

ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАТОРОВ, ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ

2.1. ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТОРОВ СБОРНЫХ ГРУЗОВ С АВИАПЛЕЧОМ

Отличительной чертой крупнейших операторов на рынке транспортных услуг является наличие собственной развитой терминальной сети. Международные и внутрироссийские транспортно-терминальные системы (ТТС) таких операторов образуются сетью грузовых терминалов — дистрибьюционных центров, выполняющих сортировочные функции, и транспортными связями — авиа-, автомобильными, железнодорожными и морскими линиями. ТТС крупных грузовых операторов охватывают широкие территории в разных регионах мира и имеют терминалы в крупных грузообразующих центрах, аэропортах, морских и речных портах, на железнодорожных станциях. Широкий территориальный охват обеспечивает доставку грузов в любую точку на планете. Дополнением к собственным глобальным ТТС являются региональные сети. Они включают местные филиалы и пункты приема и выдачи грузов, а также сети местных агентов, доставляющих грузы «до двери». Заключая договоры о перевозках с другими операторами, владеющими собственными ТТС, грузовые операторы существенно расширяют сеть обслуживания.

Развитая сеть терминалов — важный показатель престижности компании, ее высоких сервисных возможностей и конкурентоспособности. Терминальная система является основным активом транспортно-логистической компании.

Компании по международной экспресс-доставке с помощью собственной сети и сетей своих партнеров осуществляют международные мультимодальные перевозки с авиаплечом во взаимодействии с другими видами транспорта. Международная транспортная сеть такой компании имеет

многоуровневую структуру. Примеры дистрибьюционных центров (ДЦ), представленных на рис. 2.1, имеют общепринятые в гражданской авиации (ИАТА) обозначения. Транспортно-терминальная система охватывает семь регионов:

- 1 — Европа и Африка;
- 2 — Северная Америка;
- 3 — Латинская Америка;
- 4 — Ближний Восток;
- 5 — Юго-Восточная Азия;
- 6 — Дальний Восток;
- 7 — Австралия.

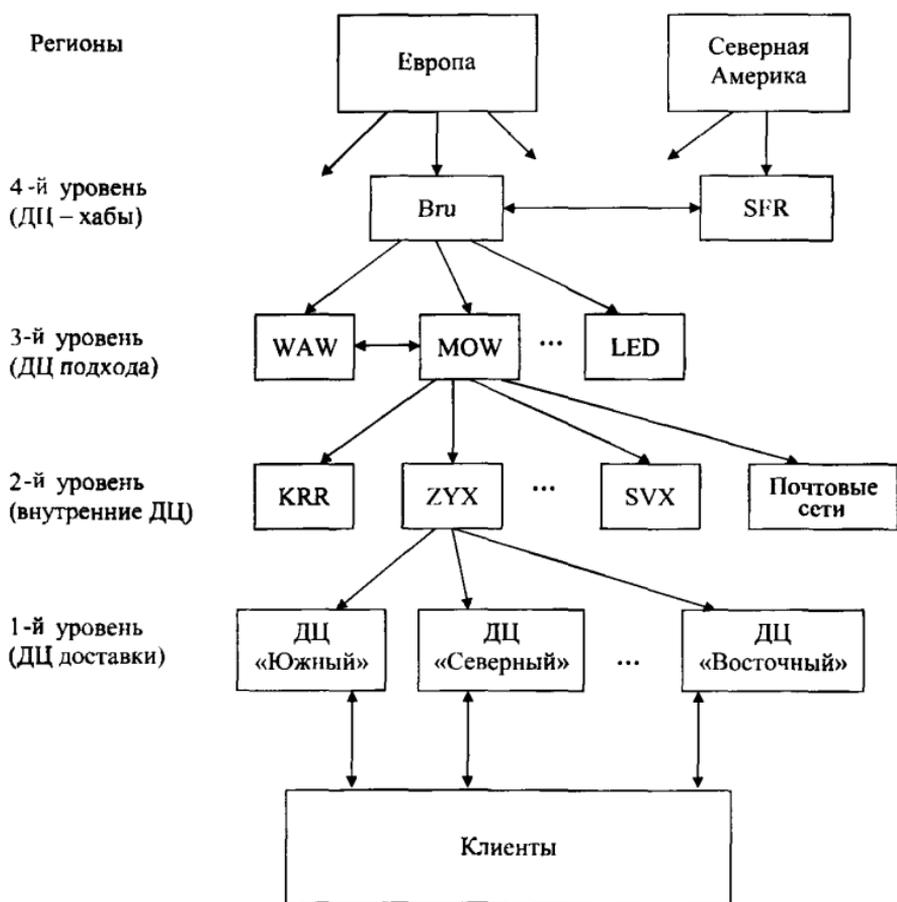


Рис. 2.1. Многоуровневая структура транспортной сети авиакомпании — оператора мультимодальной перевозки

В каждом регионе расположены главные узловые ДЦ (хабы — hubs). Их порядка трех десятков, они расположены по всему миру. В регионе Европы и Африки их около десяти (Брюссель, Амстердам, Лондон, Париж, Франкфурт-на-Майне и др.), несколько хабов в Северной (Нью-Йорк, Сан-Франциско, Лос-Анджелес и др.) и Латинской Америке, Юго-Восточной Азии (Сингапур), Австралии (Сидней). Хабы, а также ДЦ следующего уровня — «ДЦ подхода» — расположены при крупнейших аэропортах мира. Хабы предназначены для выхода на межконтинентальные авиаперевозки грузов. Транспортировка осуществляется на грузовых воздушных судах собственными авиарейсами компании и авиарейсами других авиакомпаний.

Дистрибьюционные центры подхода (ДЦП — Gateways) расположены при столичных и основных аэропортах практически всех государств мира. Они образуют третий уровень сети. Через ДЦ третьего уровня переключаются линии международных перевозок на транспортную сеть компании внутри государства (например, на внутренние авиалинии). Помимо обычных сортировочных распределительных функций в ДЦ подхода осуществляют таможенное оформление грузов на экспорт и импорт. На рис. 2.2 приведен фрагмент сети компании ООО «ТНТ Уорлдуайд» с выходом на главный хаб в г. Льеж (Бельгия).

Доставка грузов между ДЦП, между ДЦП и хабами осуществляется преимущественно авиатранспортом, грузовыми автомобилями и железнодорожным транспортом.

Каждый из ДЦП третьего уровня формирует собственную региональную сеть внутренних ДЦ второго уровня (рис. 2.1 и 2.2). Функции внутренних терминалов: сбор и накопление грузопотока для международных перевозок через головной ДЦП и, наоборот, распыление потока, прибывающего в ДЦП, по внутренней сети. Дистрибьюционные центры второго уровня располагаются при аэропортах крупных городов внутри страны, грузы завозятся в ДЦП и вывозятся из него внутренними авиарейсами.

Внутри сети возможны перевозки между ДЦ одного уровня, например между Москвой и Варшавой. Возможны

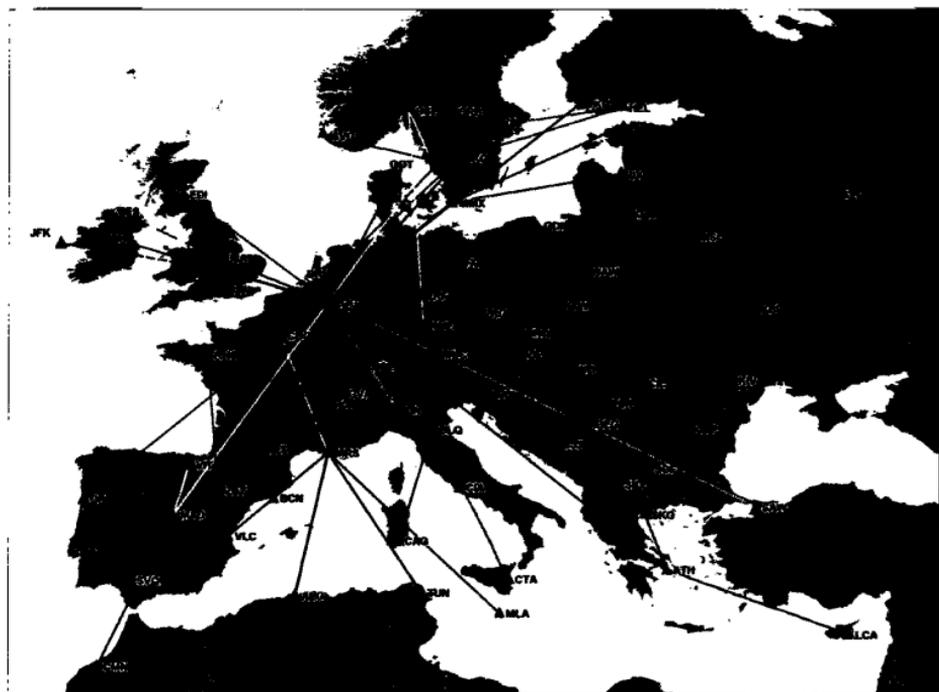


Рис. 2.2. Европейская воздушная сеть компании ООО «ТНТ Уорлдуайд»

входы (и выходы) в транспортные сети других операторов рынка (например, почтовые сети Deutsche Post AG).

Внутренние ДЦ формируют собственную сеть, состоящую из небольших ДЦ — отделов доставки. Каждый ДЦ данного (на рис. 2.1 первого) уровня имеет собственную курьерскую службу, через которую груз доставляется клиенту. Например, внутри Москвы насчитывается до десятка ДЦ такого типа. Каждый из ДЦ первого уровня связан регулярными челночными автомобильными рейсами со своим внутренним ДЦ. Расписание грузового автотранспорта согласовано с расписанием авиарейсов по линии «внутренний ДЦ — ДЦ подхода».

2.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Структура сети. Транспортно-терминальная сеть (ТТС) компании представляет собой множество узлов и дуг, их соединяющих. Узлами сети являются ее терминалы, дугами —

маршруты перевозок, связывающие два терминала. Узлы представляют собой дистрибьюционные центры (ДЦ), на которых осуществляются перевалка и сортировка грузов по направлениям перевозки.

Выделяют два вида ДЦ: головные дистрибьюционные центры (ГДЦ) и ДЦ или терминалы подхода (ДЦП или ТП). ГДЦ работают непосредственно с клиентами (грузоотправителями и грузополучателями), осуществляют между собой автомобильные сборные перевозки по регулярным маршрутам, забирают груз у отправителей (начальный этап перевозки) и доставляют конечным получателям (конечный этап). ДЦП предназначены для передачи и приема грузов от магистральных перевозчиков авиационного (ТПав), железнодорожного (ТПжд) и водного (морского — ТПмт) видов транспорта. Они располагаются при аэропортах, железнодорожных станциях, морских и речных портах. Маршруты авиационных, железнодорожных, морских или речных перевозок связывают между собой только ДЦП соответствующих видов. Перевозки между головными ДЦ и ДЦП осуществляются автомобильным транспортом.

Базовая транспортно-терминальная сеть, рассматриваемая в примерах настоящего раздела и реализованная в программном комплексе (см. главу 5), состоит из трех взаимосвязанных частей — центральной, восточной и западной. Она включает перевозки четырьмя видами транспорта, т. е. является четырехмодальной. Охватываемая территория и расположение терминалов приведены на рис. 2.3–2.7.

Центральная часть ТТС охватывает европейскую часть России, состоит из 17 головных ДЦ, связывающих их сети регулярных автомобильных маршрутов (рис. 2.3 и 2.4), 8 ДЦП собственной авиасети и авиационных маршрутов, связывающих терминалы подхода к авиасети (рис. 2.4). Обозначения терминалов, указанных на рис. 2.3 и 2.4, соответствуют принятым в гражданской (ИАТА) обозначениям городов, в которых они расположены, — Санкт-Петербург, Москва (северный и южный терминалы), Воронеж, Ростов-на-Дону, Краснодар, Нижний Новгород, Казань, Ярославль, Самара, Екатеринбург. Узлы авиасети связаны сетью (дугами) авиамаршрутов.

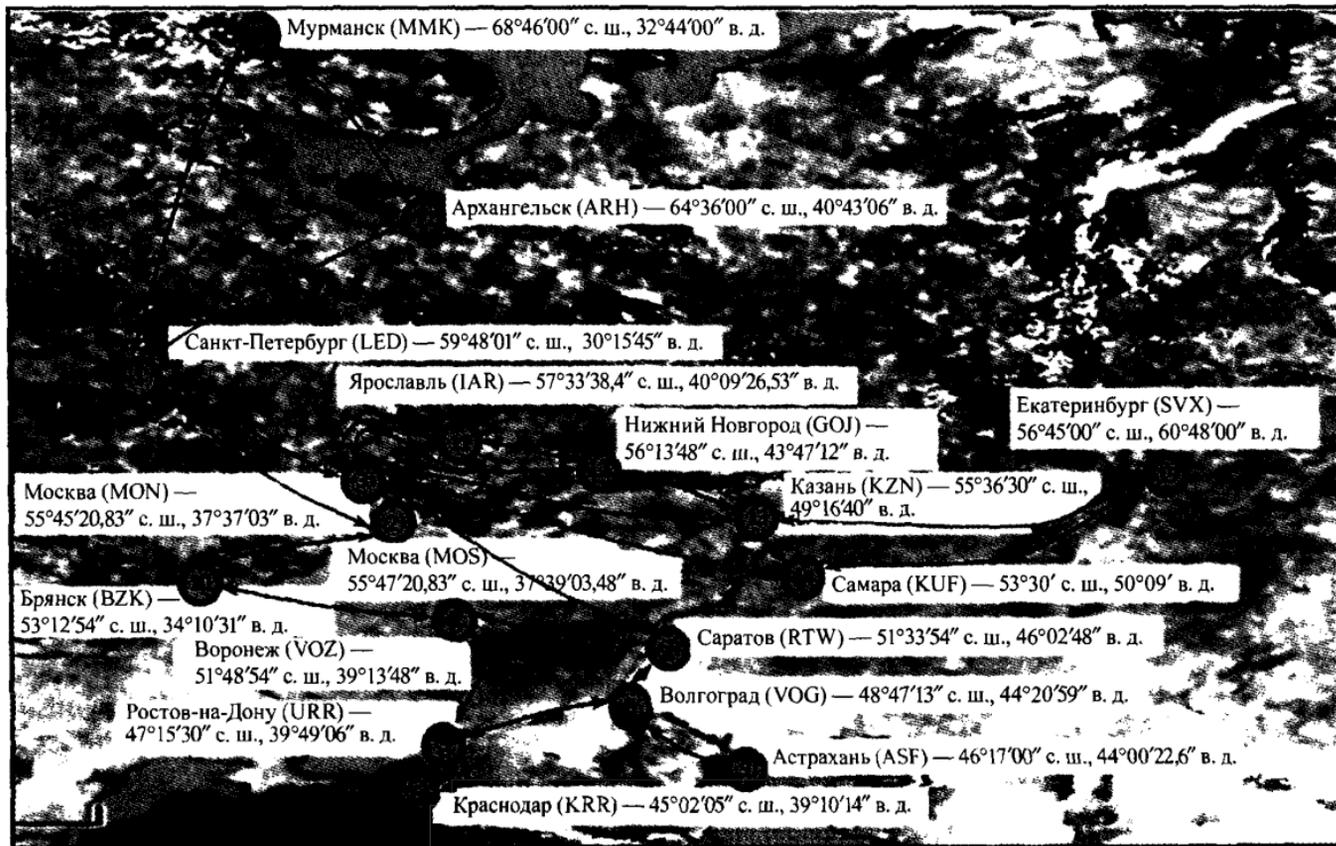


Рис. 2.3. Базовый вариант автомобильной маршрутной сети на европейской части России

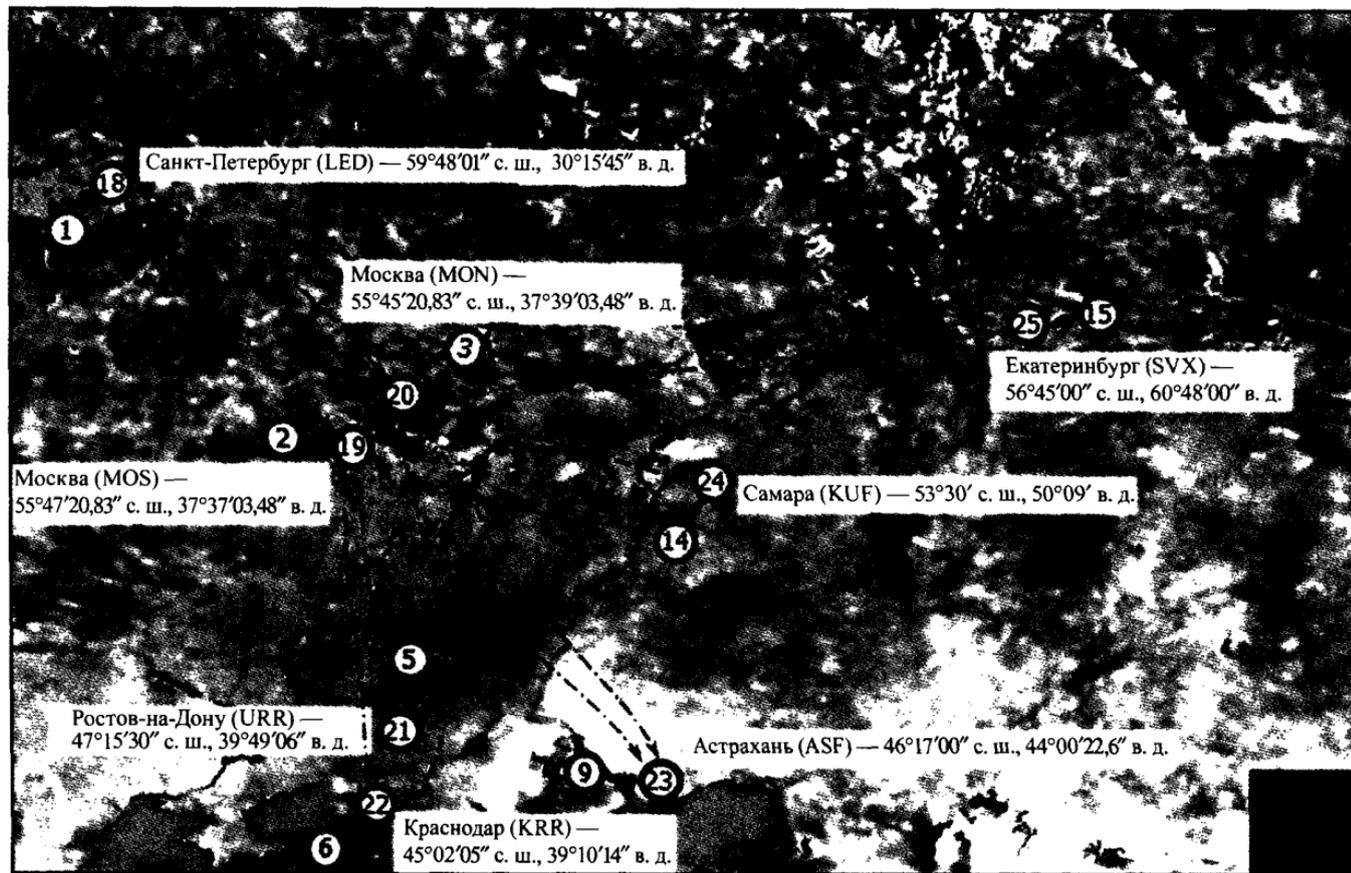


Рис. 2.4. Базовый вариант авиационной маршрутной сети на европейской части России

Восточная часть ТТС (рис. 2.5) состоит из семи головных ДЦ в крупных городах Сибири и Дальнего Востока, семи ДЦ подхода к авиасети (при местных аэропортах), семи терминалов подхода к железнодорожной сети (при местных железнодорожных станциях) и сети маршрутов, их связывающих.

Автомобильная сеть подключается к центральной части ТТС через ГДЦ Екатеринбурга и Омска, а далее по направлению Транссибирской магистрали из ГДЦ Омска на головные ДЦ Новосибирска, Красноярска и т. д. вплоть до Владивостока. Автомобильные перевозки между ГДЦ осуществляются только перевалкой через промежуточные головные терминалы. Сеть железнодорожных маршрутов связывает железнодорожные ДЦП Санкт-Петербурга, Москвы, Екатеринбурга, относящиеся к центральной части ТТС, с соответствующими ДЦП Сибири и Дальнего Востока.

Железнодорожные маршруты связывают московский и Санкт-Петербургский ДЦП со всеми региональными терминалами подхода по направлению на Восток. Каждый железнодорожный ДЦП подхода восточной части связан с другим ДЦП напрямую железнодорожным маршрутом. Выход через железнодорожную сеть на западную часть ТТС осуществляется через ДЦП «Москва» по железнодорожному маршруту, связывающего его с ДЦП «Берлин».

Маршруты авиасети восточной части связаны с центральной частью ТТС через авиационные ДЦП Санкт-Петербурга, Москвы (два терминала — северный и южный), Краснодара и Екатеринбурга (указаны на рис. 2.4). Авиационные связи внутри восточной части осуществляются через ДЦП Новосибирска и Красноярска.

Западная часть ТТС (рис. 2.6) состоит из семи головных ДЦ в Европе (Хельсинки, Берлин, Франкфурт-на-Майне, Гамбург, Роттердам, Париж, Лондон), шести ДЦ подхода к авиасети (при местных аэропортах, за исключением ГДЦ в Гамбурге и Роттердаме, которые имеют общий ДЦП к авиасети в аэропорту Амстердама), одного терминала подхода к железнодорожной сети (Берлин) и сети маршрутов, их связывающих. Автомобильная сеть подключается к центральной части ТТС через ГДЦ Санкт-Петербурга и два московских терминала (автомобильные маршруты на Хельсинки и Берлин).

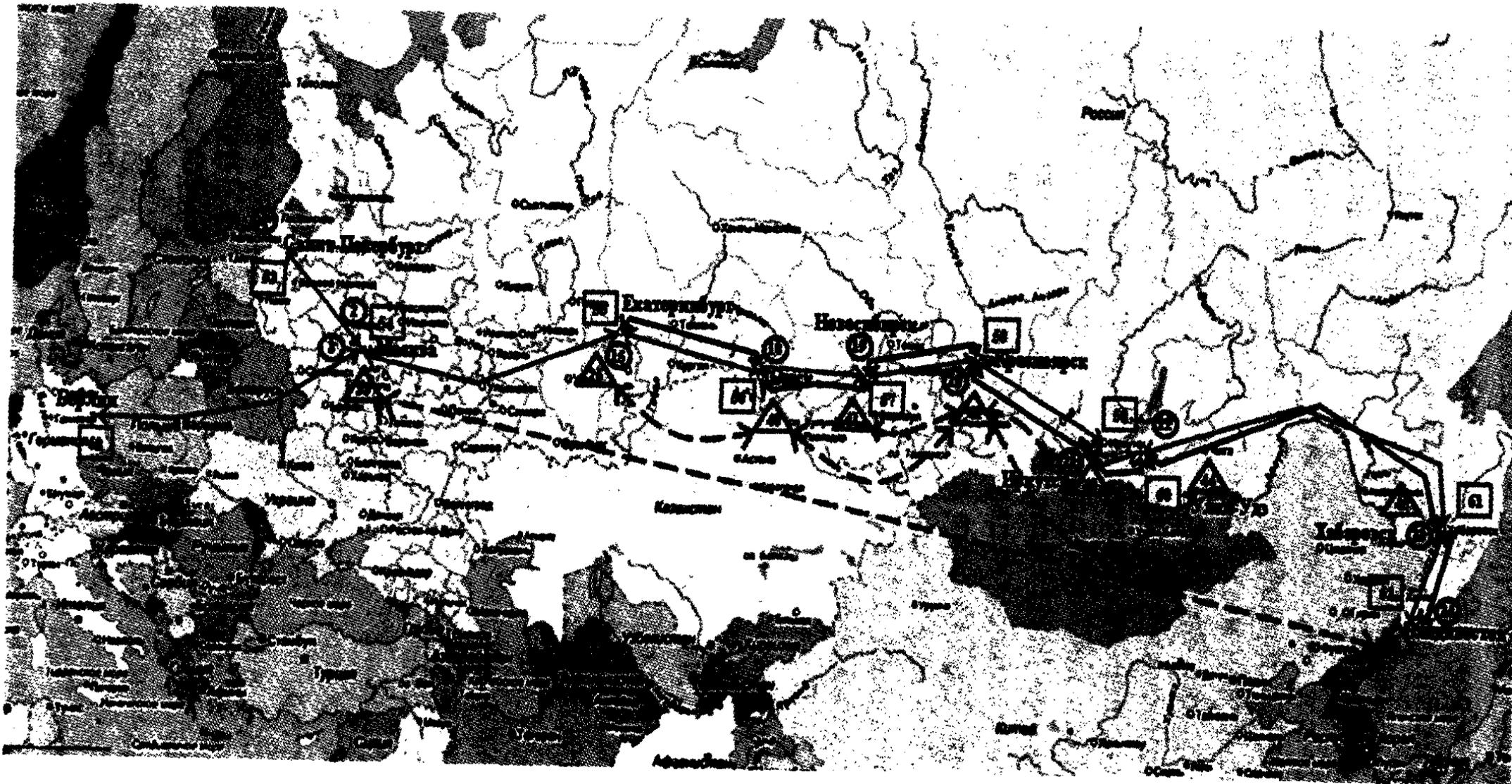


Рис. 2.5. Базовый вариант. Восточная часть ТТС



Рис. 2.6. Базовый вариант. Западноевропейская часть ТТС

Маршруты авиасети западной части связаны с центральной частью ТТС через авиационные ДЦП Санкт-Петербурга и Москвы (два терминала — северный и южный, рис. 2.2). Авиамаршруты связывают эти терминалы с каждым из шести ДЦП западной части ТТС. Авиационные связи внутри западной части ТТС осуществляются через ДЦП аэропортов Хельсинки и Амстердама.

Морская мода, мультимодальные транспортно-логистические кластеры. Морская часть ТТС включает шесть терминалов подхода (ТПмт) в крупных морских портах России и Западной Европы: Санкт-Петербург, Котка, Гамбург, Роттердам, Гавр, Лондон. Эти терминалы связываются между собой с помощью регулярных морских маршрутов судоходных компаний. Морские маршруты приведены на рис. 2.7, там же указаны кодировки морских терминалов подхода внутри ТТС.

Мультимодальный транспортно-логистический кластер представляет собой региональную ТТС, ядром которой является местный головной ДЦ. Структура кластера представлена на примере местной Санкт-петербургской сети (рис. 2.8).

Кластер содержит три терминала подхода к аэропорту, морскому порту и железнодорожной станции. На этих терминалах происходят консолидация грузовых партий под определенные регулярные рейсы, оформление грузовых накладных, таможенное оформление и передача отправок унимодальным перевозчикам — морским, железнодорожным и авиaperевозчикам. Перевозки осуществляются, как правило, по схеме «головной ДЦ — терминал подхода», однако при наличии устойчивого потока возникает необходимость прямых перевалок, например, из морского транспорта на железнодорожный, минуя головной терминал. На этот случай на рис. 2.8 введена прямая транспортная связь между ТПмт и ТПжд. Подключение маршрутов унимодальных перевозчиков основывается на транспортных договорах между мультимодальным перевозчиком — владельцем ТТС — и унимодальными. Договоры включают используемые маршруты унимодального перевозчика, грузовые квоты на маршрутах, тарифы, а также условия передачи грузов и др. После заключения договоров маршруты унимодальных пере-

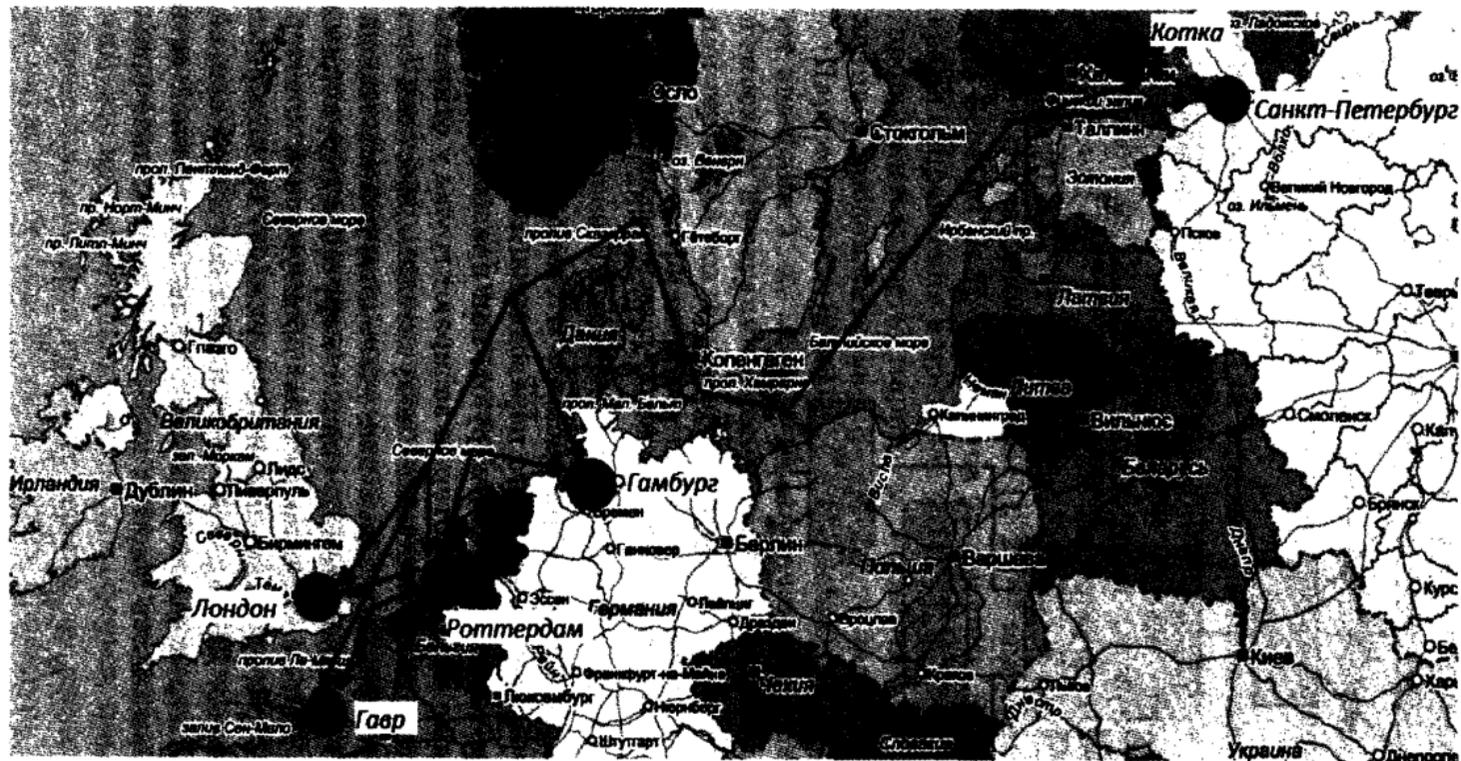


Рис. 2.7. Морская сеть в Западной Европе

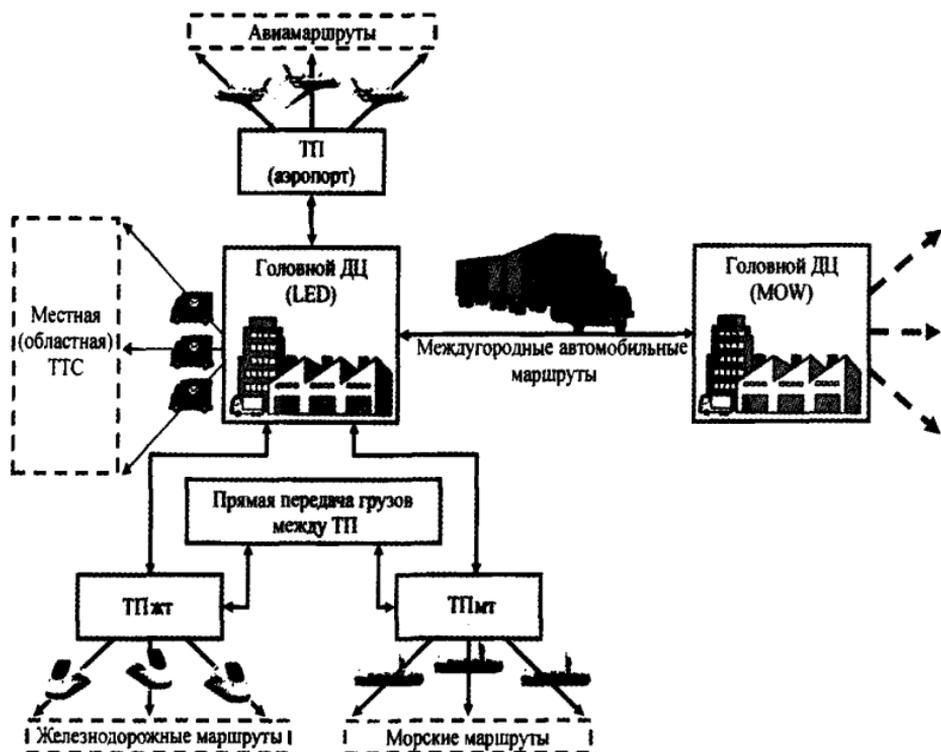


Рис. 2.8. Мультиmodalный транспортно-логистический кластер

возчиков включаются в расписание и становятся частью маршрутов мультиmodalного перевозчика и его ТТС.

Головные терминалы формируют, как правило, местные терминальные пункты, которые забирают грузы у отправителей и доставляют конечным получателям. Местная сеть обслуживает область и отдельные удаленные районы города. На рис. 2.8 показана также связь с корреспондирующими головными ДЦ, каждый из которых образует свой кластер.

Итого, моделируемый базовый вариант ТТС содержит $n = 33$ головных ДЦ, $n_{av} = 21$ терминалов подхода к авиасети, $n_{RS} = 11$ терминалов подхода к железнодорожной сети и $n_{SP} = 6$ терминалов подхода к морской сети. Общее число терминалов

$$N_{\Sigma} = n + n_{av} + n_{RS} + n_{SP} = 71.$$

2.3. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТАРИФОВ И РАСПИСАНИЙ МЕЖТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Параметры маршрутов автомобильных, авиационных, морских и железнодорожных перевозок описываются далее одинаково.

Расписания сети. Для задания расписания сети введем матрицу $ScheDat [i, j]$, содержащую параметры маршрутов, включенных в расписание межтерминальных перевозок ($ScheduleData$). Здесь i — код межтерминального маршрута в расписании — номер строки записи, $j = 1, 2, \dots, 5$ — параметр маршрута. Переменные $ScheDat [i, 1]$ означают код пункта отправления, $ScheDat [i, 2]$ — код пункта назначения, $ScheDat [i, 3]$ — код типа расписания, $ScheDat [i, 4]$ — время отправления в пределах суток, $ScheDat [i, 5]$ — время (продолжительность) маршрута в минутах. Время отправления и продолжительность маршрута заданы в минутах.

Параметры $k = ScheDat [i, 1], ScheDat [i, 2]$ принимают значения $1, 2, \dots, N_{\Sigma} = 71$, означающие код терминала в сквозной нумерации терминала. Тип терминала (головной или терминал подхода к соответствующему виду транспорта) определяется принятым порядком упорядочения в соответствии с границами:

- головные ДЦ имеют коды — $1 \leq k \leq n$;
- терминалы подхода к авиасети — $n + 1 \leq k \leq n + n_{av}$;
- железнодорожные ТП — $n + n_{av} + 1 \leq k \leq n + n_{av} + n_{RS}$;
- морские ТП кодируются в пределах $n + n_{av} + n_{RS} + 1 \leq k \leq N_{\Sigma}$.

Время отправления и продолжительность маршрута между терминалами подхода (например, к авиасети) рассчитываются по расписанию используемого рейса унимодального перевозчика (авиапервозчика). Однако в расписание рейса перевозчика вводятся коррективы. Время отправления рейса необходимо уменьшить на время доставки в аэропорт и минимальное время, установленное аэропортом, в течение которого разрешается прием груза на текущий рейс. Напомним, это время устанавливается для оформления документов перевозки, приемки груза на терминале, входного контроля службой безопасности и других процедур. Аналогично

время прибытия рейса согласно расписанию унимодального перевозчика должно быть увеличено на время приема груза в аэропорту назначения и время доставки до соответствующего терминала подхода.

Расписания привязаны к недельному циклу. Тип расписания, выражаемый значением переменной $ScheDat [i, 3]$, учитывает межтерминальные маршруты с различными днями недели по отправлению. Например, код $ScheDat [i, 3] = 0$ расписания означает ежедневные отправления, код 1 — 6 дней отправления (исключая воскресенье), код 2 — отправления по четным дням, код 3 — по нечетным и т. д. Таким образом, учитываются самые уникальные комбинации дней отправления.

Наличие транспортной связи (хотя бы одного маршрута) между терминалами отражается дугой на графе ТТС. В некоторых случаях между двумя определенными терминалами может быть несколько рейсов в пределах одних и тех же суток, например утренние, дневные и вечерние отправления. Для таких ситуаций форма записи данных в матрицу $ScheDat [i, j]$ не изменяется. Однако возникают дополнительные поисковые операции отыскания нужного межтерминального маршрута при прокладке мультимодального.

Тарифы на сети. Тарифы (руб./кг) ТТС задаются матрицей стоимости

$$C = (C[i, j]),$$

диагональные элементы $C[i, i]$ которой означают тарифы на терминальную обработку в i -м терминале, а недиагональные элементы при $i \neq j$ — тарифы на межтерминальные перевозки внутри ТТС.

Тарифы на перевозки между i -м и j -м терминалами подхода, например к авиасети, включают помимо основного тарифа авиаперевозчика внутренние тарифы на доставку от ТПав до грузового терминала аэропорта отправления и тарифы на вывоз из аэропорта назначения. Если мультимодальный перевозчик покупает для межтерминальных перевозок услуги перевозчика, например полную вместимость

транспортного средства (грузовика или контейнера), то тариф (руб./кг) в измерении пересчитывают. Может быть использовано выражение

$$C[i, j] = (1 + R/100)C_{\text{carrier}}/(K_{\text{гв.м}} G),$$

где R — планируемая рентабельность рейса, %; C_{carrier} — цена магистрального перевозчика, стоимость рейса, руб.; $K_{\text{гв.м}} \notin (0, 1)$ — планируемая загрузка (в долях), принимаемая за базу при расчете тарифа; G — грузоподъемность используемого ТС, кг.

Тарифы на терминальную обработку могут быть оценены по формуле

$$C[i, j] = (1 + R/100)C_{\text{терм}}/G_{\text{терм}},$$

где $C_{\text{терм}}$ — стоимость содержания терминала за определенный период (например, месяц), руб.; $G_{\text{терм}}$ — грузооборот за тот же промежуток времени, кг.

В стоимость содержания должны быть включены все затраты, в том числе на амортизацию, заработная плата персонала и др.

К параметрам сети относится также матрица расстояний (км) между узлами (ГДЦ и ДЦП) сети:

$$R = (\rho_{ij}).$$

Расстояние ρ_{ij} между головными терминалами, связанными автомобильными маршрутами, вводится по дорожной сети, а между терминалами подхода к железнодорожной, морской или авиасети — по длине соответствующих трасс. Если терминалы не связаны прямыми маршрутами, то расстояния, как и соответствующие элементы матрицы стоимости, полагаются равными бесконечности.

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК В ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНЫХ СЕТЯХ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ

3.1. СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ПЕРЕВОЗОК. КРАТЧАЙШИЙ МАРШРУТ НА СЕТИ

Основные определения. Пусть задано множество $X = \{x_0, x_1, \dots\}$, состоящее из элементов $x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$. Число элементов n может быть конечным или бесконечным. Элементы множества X назовем *вершинами графа*, а *графом* — множество вершин, соединенных в каком-либо порядке линиями, называемыми *ребрами графа*. Ребро графа — это линия, соединяющая две его вершины. Ребро обозначается указанием вершин, которые оно соединяет, например: $g(x_0, x_1), g(x_i, x_j)$. Форма линии ребра, как правило, не имеет значения.

Ребро может быть ориентированным или неориентированным. Ориентация на ребре указывается стрелками. На ориентированном ребре $g(x_i, x_j)$ одна из вершин x_i является начальной, а другая вершина x_j — конечной. Ориентированное ребро называется *дугой*.

Граф называется *ориентированным*, если все его ребра являются ориентированными. В ориентированном графе каждая вершина имеет входящие дуги и исходящие. *Петлей* называется ребро, у которого начальные и конечные вершины совпадают.

Маршрут на графе задается начальной вершиной x_0 , конечной вершиной x_k и последовательностью ребер, их соединяющей. *Целью* (для неориентированного графа) называется последовательность ребер:

$$S = (g_1, g_2, \dots, g_{k-1}, g_k, g_{k+1}, \dots, g_n),$$

в которой у каждого промежуточного ребра $g_k, k = 2, \dots, n - 1$, одна из вершин является вершиной предшествующего

ребра g_{k-1} , а другая — вершиной последующего ребра g_{k+1} . Первое ребро g_1 начинается из начальной вершины и не имеет предшествующих ребер. Последнее ребро g_n заканчивается в конечной вершине и не имеет последующих ребер.

Путь — это цепь, построенная для ориентированных графов. Путь состоит из начальной, конечной вершин и последовательности дуг, у которых начальная вершина каждой промежуточной дуги совпадает с конечной вершиной предыдущей дуги.

Цикл — это цепь, у которой начальная и конечная вершины совпадают. Цикл — это замкнутая цепь или замкнутый путь. Сеть, не имеющая циклов, называется *ациклической*.

Две вершины графа называются *связными*, если существует по крайней мере одна цепь, их связывающая. Граф называется *связным*, если любые его две вершины являются связными.

Сетью называется связный ориентированный граф без петель. Вершины сети называются *узлами*. Узлы удобно обозначать (нумеровать) цифрами. Дуга, соединяющая узел i (начальный узел дуги) и узел j (конечный узел дуги), обозначается парой чисел (i, j) . Для каждой дуги (i, j) определена ее мера, называемая *длиной дуги*. Длина дуги обозначается C_{ij} . Отметим, что в настоящей книге узел сети означает терминал компании, дуга — наличие транспортной связи между терминалами, т. е. регулярного маршрута перевозки автомобильным, авиационным, железнодорожным или водным транспортом. Длина дуги — расстояния (км) между узлами, стоимость перевозки из i -го узла в j -й, тариф на перевозку (руб./кг), время движения. Длина дуги также называется *стоимостью дуги*, или *обобщенной стоимостью дуги*.

Матрица сети, ее построение. Пусть задана сеть, содержащая n узлов (рис. 3.1). Первый узел будем считать начальным, а n -й — конечным. На рис. 3.1 число узлов $n = 8$, восьмой узел является конечным. Заданы длины дуг C_{ij} сети. С помощью длин дуг можно ввести квадратную матрицу

$$C = (C_{ij}), \quad i, j = 1, \dots, n,$$

число строк и столбцов в которой равно числу узлов; (i, j) -й элемент матрицы C , расположенный на i -й строке и в j -м столбце, положим равным длине дуги между i -м и j -м узлами, если такая дуга существует, или равным бесконечности, если дуги нет. Матрица C называется *матрицей сети*. Например, матрица сети, представленной на рис. 3.1, имеет вид

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 4 & 1 & 6 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 0 & \infty & 3 & 5 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 3 & 0 & \infty & \infty & 5 & 1 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 0 & 1 & \infty & \infty & 4 \\ \infty & \infty & \infty & 1 & 0 & 1 & \infty & 2 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 1 & 0 & 1 & 4 \\ \infty & \infty & 1 & \infty & \infty & 1 & 0 & 7 \\ \infty & 0 \end{bmatrix}. \quad (3.1)$$

Построение матрицы осуществляется построчно. Для элементов 1-й строки (соответствующих длине дуг, исходящих из 1-го узла) указываются три значения: $C_{12} = 4$, $C_{13} = 1$, $C_{14} = 6$ — по всем трем исходящим дугам; элемент $C_{11} = 0$; остальные элементы полагаются равными бесконечности. Далее процесс повторяется для 2-й и последующих строк.

Система уравнений для длины кратчайших маршрутов. Сеть — связный граф. Для любых двух узлов существует по крайней мере один путь, их связывающий. Следовательно,

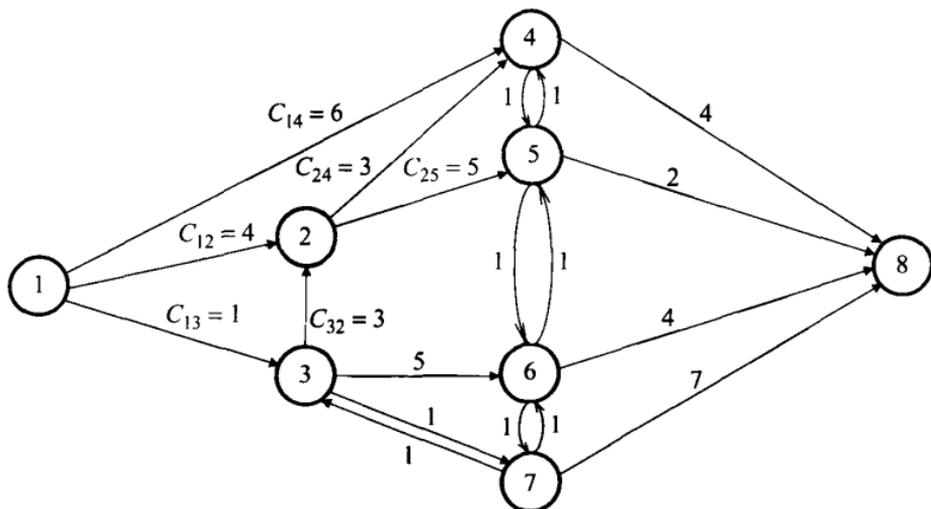


Рис. 3.1. Пример сетевой модели

существует и кратчайший путь. *Кратчайший путь* представляет собой особый интерес, поскольку он определяет оптимальный маршрут между двумя узлами. Отметим связность графа, т. е. возможность соединения хотя бы одним маршрутом любых двух узлов не обязательное условие. Например, граф, изображенный на рис. 3.1, не является связным. Не существует, например, пути, связывающего вершины 8 и 1.

Рассмотрим задачу об определении кратчайшего пути между двумя узлами (например, между начальным первым узлом и конечным n -м). Для отыскания кратчайшего пути необходимо, чтобы между узлами существовал по крайней мере один путь. Далее будем считать заданной матрицу C сети, а ее диагональные элементы C_{ii} положительными. Как отмечалось в главе 2, диагональные элементы означают стоимость (тариф) терминальной обработки в узле или время на передачу, погрузку либо разгрузку груза. *Длину пути* (или маршрута) определим как сумму длин дуг, составляющих путь, стоимости узлов, входящих в путь, включая стоимости начального, промежуточных и конечного узлов. Например, длина пути $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$, связывающего узлы 1 и 4 через промежуточный узел 2, определяется так:

$$U = C_{11} + C_{12} + C_{22} + C_{24} + C_{44}.$$

Для рассматриваемых далее транспортно-терминальных сетей в том случае, когда матрица сети составлена из тарифов (руб./кг), длина пути означает суммарный тариф на перевозку между начальным и конечным терминалами. Длина пути состоит из транспортной и терминальной частей. Транспортная часть есть сумма тарифов на используемые в маршруте регулярные рейсы расписания, а терминальная часть является суммой тарифов на терминальную обработку груза в начальном, промежуточных и конечном терминалах.

Для каждого из узлов сети введем длину

$$U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n$$

кратчайшего маршрута соответственно между 1, 2, ..., n -м узлами и конечным n -м узлом. Величины $U_n = C_{nn}$ и U_1 предстоит определить, величины U_2, \dots, U_{n-1} являются вспомогательными. Мы увидим далее, что, чтобы найти кратчайший маршрут из 1-го узла в конечный n -й, нужно вначале определить все значения длин $U_2, \dots, U_i, \dots, U_{n-1}$ путей, связывающих все прочие узлы с конечным узлом.

Величины U_1, \dots, U_n связаны между собой системой нелинейных алгебраических уравнений [1, 32]

$$U_i = \min\{C_{ii} + C_{ij} + U_j\}, \quad i = 1, 2, \dots, n - 1, \quad U_n = C_{nn}. \quad (3.2)$$

Уравнения (3.2) записываются для каждого из узлов сети. Минимум в правой части уравнений находится перебором по всем дугам (i, j) , исходящим из фиксированного i -го узла. Выражение (3.2) означает, что, находясь в i -м узле для определения оптимального маршрута, нужно выбирать в качестве следующего узла тот узел j^* , в котором сумма

$$C_{ii} + C_{ij} + U_j$$

принимает минимальное значение. Например, для узла 2 сети (рис. 3.1) выражение (3.2) имеет вид

$$U_2 = \min\{C_{22} + C_{24} + U_4, C_{22} + C_{25} + U_5\}.$$

Для узлов $i = 4, 5$, связанных между собой на рис. 3.1 двойными дугами, уравнения (3.2) выражают величины U_4 и U_5 друг через друга:

$$U_4 = \min\{C_{44} + C_{48} + U_8, C_{22} + C_{45} + U_5\};$$

$$U_5 = \min\{C_{55} + C_{54} + U_4, C_{55} + C_{58} + U_8, C_{55} + C_{56} + U_6\}.$$

Эти уравнения ввиду наличия операции нахождения минимума не являются линейными. В силу этого свойства для сети, имеющей циклы (как, например, на рис. 3.1), система нелинейных уравнений (3.2) неразрешима. Для ее решения используется численный метод последовательных приближений.

Метод последовательных приближений. В качестве начального, или нулевого, приближения положим

$$U_n^0 = C_{nn}; U_i^0 = C_{ii} + C_{in} + C_{nn}, \\ i = 1, 2, \dots, n - 1. \quad (3.3)$$

Здесь и далее верхний индекс $k = 0$ означает номер итерации. Нулевое приближение U_i^0 равно длине прямого маршрута (без промежуточных узлов) из i -го узла в конечный n -й узел, если дуга, соединяющая эти узлы, существует. В противном случае величина U_i^0 полагается равной бесконечности. Значения U_i^0 равны n -му столбцу матрицы C , если ее диагональные элементы равны нулю.

Вычислив нулевое приближение, далее вычисляем по формуле

$$U_i^1 = \min\{C_{ii} + C_{ij} + U_j^0\}, \\ i = 1, 2, \dots, n - 1, U_n^1 = C_{nn} \quad (3.4)$$

первое приближение при $k = 1$. Здесь в отличие от формул (3.2) все величины в правой части уже известны. Поэтому минимум и, следовательно, величины U_i^1 легко находятся.

Величины U_i^1 определяют длину кратчайшего маршрута с числом промежуточных (транзитных) узлов не более 1. Если для некоторого i -го узла величина $U_i^1 = \infty$, это означает, что отсутствуют как дуги, связывающие его напрямую с конечным узлом, так и пути через один промежуточный узел. Если величина U_i^1 конечна и минимум в равенстве (3.4) достигается при некотором узле j_* , $j_* \neq n$, то ее значение определяет длину маршрута

$$i \rightarrow j_* \rightarrow n$$

с одним промежуточным узлом. Если же величина U_i^1 конечна и минимум достигается в узле $j_* = n$, то значение U_i^1 равно длине пути $i \rightarrow n$ без промежуточных узлов. Заметим, что такой маршрут может и не быть оптимальным.

Произвольные k -е итерации далее вычисляются по формуле

$$\begin{aligned} U_i^k &= \min\{C_{ii} + C_{ij} + U_j^{(k-1)}\}, \\ i &= 1, 2, \dots, n-1, U_n^k = C_{nn}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

где значения $U_j^{(k-1)}$ в правой части определяются на предыдущих шагах. Значение U_i^k определяет длину кратчайшего пути из i -го в n -й узел с числом промежуточных узлов не более k . Поскольку для искомого кратчайшего маршрута из первого узла в n -й число промежуточных узлов не может быть более $n-2$, то итерации при $k = n-2$ прекращаются. Полученные значения U_i^{n-2} определяют длину кратчайших маршрутов U_i из i -го узла в n -й.

Прокладка оптимального маршрута. После определения величин U_1, \dots, U_n кратчайший маршрут отыскивается с помощью уравнений (3.2), которые рассматриваются последовательно для узлов, лежащих на оптимальном маршруте. При $i = 1$ для начального узла имеем равенство

$$U_1 = \min\{C_{11} + C_{1j} + U_j\}, \quad (3.5a)$$

откуда находим узел f , на котором этот минимум достигается. Первая дуга кратчайшего маршрута проложена: $1 \rightarrow f$. Записываем уравнения (3.2) для найденного узла $i = f$:

$$U_f = \min\{C_{f,f} + C_{f,j} + U_j\}.$$

Найдя узел g , на котором здесь достигается минимум, прокладываем кратчайший маршрут далее: $1 \rightarrow f \rightarrow g$. Для нахождения следующего узла записываем выражение (3.2) для узла $i = g$ и т. д. Этот процесс обрывается по достижении конечного n -го узла. Число шагов, которые необходимо сделать, как уже нами отмечалось, не может быть более $n-2$.

3.2. ПРИМЕР НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА НА СЕТИ

Найдем кратчайший маршрут из узла $i = 1$ в n -й, восьмой, узел для сети, представленной на рис. 3.1. В табл. 3.1 приведены значения U_i^k для узлов $i = 1, \dots, n - 1$ и итераций $k = 0, 1, \dots, 5$.

Начальное приближение при $k = 0$. Прямые маршруты (т. е. без промежуточных узлов) в конечный, восьмой, узел имеют только узлы 4–7. Поэтому для этих узлов полагаем U_i^0 равным длине дуги C_{i8} . Остальные значения U_i^0 принимаются равными бесконечности.

Первая итерация при $k = 1$. Уравнения (3.3) при $k = 1$ для первого узла имеют вид

$$\begin{aligned} U_1^1 &= \min\{C_{12} + U_2^0, C_{13} + U_3^0, C_{14} + U_4^0\} = \\ &= \min\{4 + \infty, 1 + \infty, 6 + 4\} = \min\{\infty, \infty, 10\} = 10. \end{aligned}$$

Найденное значение $U_1^1 = 10$ означает длину маршрута $1 \rightarrow 4 \rightarrow 8$ с одним промежуточным узлом $i = 4$. Первая итерация для второго узла

$$\begin{aligned} U_2^1 &= \min\{C_{24} + U_4^0, C_{25} + U_5^0\} = \\ &= \min\{3 + 4, 5 + 2\} = 7. \end{aligned}$$

Аналогично выписываются уравнения для определения U_3^1, \dots, U_7^1 . Результаты расчетов представлены во второй строке табл. 3.1, соответствующей $k = 1$. В данном примере бесконечные значения величин U_i^k исчезают уже при $k = 1$. Это означает, что каждый узел сети связан с конечным узлом либо прямым маршрутом, либо путем, содержащим один промежуточный узел.

Вторая и последующие итерации при $k \geq 2$. Значения U_i^k на второй и последующей итерации (см. табл. 3.1) последовательно уточняют друг друга. Третья и четвертая итерации различаются лишь на первом узле:

$$\begin{aligned} U_1^4 &= \min\{C_{12} + U_2^3, C_{13} + U_3^3, C_{14} + U_4^3\} = \\ &= \min\{4 + 6, 1 + 5, 6 + 3\} = \min\{10, 6, 9\} = 6. \end{aligned}$$

Значения длины кратчайшего маршрута U_i^k

Номер итерации k	Начальный узел i						
	1	2	3	4	5	6	7
0	∞	∞	∞	4	2	4	7
1	10	7	8	3	2	3	5
2	9	6	6	3	2	3	4
3	7	6	5	3	2	3	4
4	6	6	5	3	2	3	4
5	6	6	5	3	2	3	4

Здесь изменяется значение U_1^4 от значения $U_1^3 = 7$ до значения $U_1^4 = 6$. Значение $U_1^4 = 6$ оказывается далее оптимальным. Мы видим, что кратчайший маршрут из 1-го узла в 8-й содержит четыре промежуточных узла.

Четвертая и пятая итерации полностью совпали. Это говорит о том, что значения переменных U_i найдены окончательно. Дальнейшие итерации прекращаются.

Прокладка оптимального маршрута. После определения U_1, \dots, U_7 прокладываем кратчайший маршрут из узла $i = 1$. Уравнение (3.5) в данном случае имеет вид

$$U_1 = \min\{C_{12} + U_2, C_{13} + U_3, C_{14} + U_4\} = \\ = \min\{4 + 6, 1 + 5, 6 + 4\} = 6.$$

Минимум здесь достигается на узле $j_1 = 3$. Поэтому первая дуга маршрута определяется так: $1 \rightarrow 3$. Далее записываем выражение (3.2) для узла $i = 3$:

$$U_3 = \min\{C_{32} + U_2, C_{36} + U_6, C_{37} + U_7\} = \\ = \min\{3 + 6, 5 + 3, 1 + 4\} = 5.$$

Минимум здесь достигается на узле $j = 7$. Прокладываем следующую часть маршрута: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 7$. Записывая уравнения (3.2) последовательно для узла 7, где определяем следующий, 6-й, узел, потом для узла 6, откуда находим следующий, 5-й, узел, и, наконец, для 5-го узла, получаем маршрут

$$1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 8,$$

который для данной сети является оптимальным. Длина кратчайшего маршрута $U_1 = 6$. Оптимальный маршрут содержит, как отмечалось, четыре промежуточных узла.

Примеры задач построения сетевых моделей перевозок приведены в работе [32].

3.3. СЕМЕЙСТВО L -ОПТИМАЛЬНЫХ ПО ТАРИФАМ И РАССТОЯНИЮ МАРШРУТОВ НА СЕТИ

Понятие семейства L -оптимальных маршрутов. Вернемся к общей транспортно-терминальной сети мультимодальных операторов, модель которой рассматривалась в главе 2. В этом разделе нам будут важны две матрицы, определяющие ее параметры:

$$C = (C[i, j]); \quad R = (r_{ij}),$$

где C — матрица тарифов на межтерминальные перевозки, руб./кг; R — матрица расстояний между терминалами, км.

Выделим произвольный начальный терминал (узел) с номером i_0 и любой другой, но фиксированный, узел i_k . Будем рассматривать маршруты, соединяющие начальный узел i_0 и конечный узел i_k перевозки.

Множество всех маршрутов, соединяющих два узла, как правило, содержит много (сотни и даже тысячи) различных маршрутов. Однако их общее число, как бы велико оно ни было, всегда конечно. Для каждого из маршрутов по матрице тарифов (или расстояний) можно вычислить его длину и сформировать множество (массив данных), элементы которого составлены из длин маршрутов. Элементы этого множества — значения длин маршрутов — можно упорядочить, расположив в порядке возрастания, начиная с меньшей длины. Соответственно можно упорядочить и маршруты. Номер маршрута в этом списке назовем *рангом* r . На первое место поставим кратчайший маршрут, который рассматривался в п. 3.1 и 3.2. Этот маршрут назовем теперь

первым кратчайшим маршрутом. Он имеет первый ранг. На втором месте расположен *второй кратчайший маршрут*, его ранг равен двум. Если из множества всех маршрутов, соединяющих два заданных узла, удалить первый кратчайший, то второй кратчайший маршрут займет его место и станет первым кратчайшим ранга $r = 1$. Аналогично третий маршрут в упорядоченном множестве маршрутов имеет ранг $r = 3$, называется *третьим кратчайшим маршрутом* и т. д. Маршрут произвольного ранга r занимает r -е место в списке упорядоченных маршрутов. Если удалить все маршруты меньшего ранга, он станет первым кратчайшим.

Запись маршрута представляет собой последовательность номеров (кодов) узлов (или терминалов):

$$M = (i = i_0, i_1, i_2, \dots, i_n, i_k), \quad (3.6)$$

через которые маршрут проходит. Здесь i_0 — начальный узел (терминал отправления); i_1, i_2, \dots, i_n — промежуточные узлы (терминалы транзита); i_k — конечный узел (терминал назначения); n — количество промежуточных терминалов.

Если $n = 0$, то промежуточные терминалы отсутствуют. Маршрут будем считать *допустимым*, если все узлы, его образующие, различны, и *недопустимым*, если он содержит хотя бы два одинаковых узла. Недопустимые маршруты содержат циклы, предполагающие повторный заезд в тот же самый узел.

Отметим, что для любого ранга кратчайших маршрутов может быть несколько. Случается, что в зависимости от параметров сети некоторые маршруты второго и высшего рангов оказываются недопустимыми. Подобного рода эффекты маловероятны для оптимальных по тарифам (или расстоянию) маршрутов. Однако они часто возникают для оптимальных по времени доставки маршрутов. Мы их рассмотрим позже (программа MultiTransGlobal, см. главу 5).

Для пространственно протяженной мультимодальной сети, охватывающей крупные регионы или континент, различие между первым и последующими по рангу маршрута-

ми может иметь только формальный характер. Бывает, что значения длин маршрутов (их стоимостей) различаются на копейки, однако по другим параметрам, например времени доставки, маршруты большего ранга более предпочтительны. В любом случае менеджер, работающий с заказчиком перевозки, заинтересован в том, чтобы предложить своему клиенту ряд маршрутов, различающихся по тарифам и времени доставки, а заказчик может санкционировать как более выгодные второй и третий кратчайшие маршруты или маршруты более высокого ранга.

Мы ограничим множество маршрутов различных рангов максимальным значением ранга L . Маршруты, входящие в это множество, образуют семейство L -оптимальных (по тарифам, расстоянию или времени доставки) маршрутов. Использование L -оптимальных маршрутов с различными значениями рангов и разными критериями (минимумами тарифов и времени доставки) дает эффективный формальный механизм подбора маршрутов, позволяющий реализовать в полной мере транспортный потенциал, заложенный в интермодальной ТТС. С помощью L -оптимальных маршрутов менеджер может предложить своему клиенту целый спектр маршрутов, позволяющих удовлетворить в максимальной степени трудносовместимые требования по стоимости и времени доставки. Тем самым повышается конкурентоспособность мультимодальных транспортных операторов.

Поэтому здесь и в следующем разделе мы рассматриваем алгоритмы расчета L -оптимальных маршрутов.

Система уравнений для длины r -х кратчайших маршрутов. Введем величину $U_r^k[i]$ — длину r -го кратчайшего маршрута, $r = 1, 2, \dots, L$, из i -го узла в фиксированный конечный узел i_k сети с числом промежуточных узлов не более k . Здесь и далее в определениях общего характера используются обобщенные понятия «узел», «длина», «кратчайший маршрут», хотя в данном разделе под длиной маршрута понимается его стоимость (тариф, руб./кг) или расстояние (автопробег, км), а в следующем разделе под длиной понимается время доставки груза. При вычислениях маршрутов

параметр $k = 0, 1, \dots, n - 2$ имеет также смысл номера итерации, n — общее число узлов. Учитывая избытие индексов в обозначениях, номер начального узла далее выделяем как целочисленный аргумент в квадратных скобках.

Величины $U_r^k[i]$ определяются следующими рекуррентными уравнениями [36, 37, 39]:

$$U_r^k[i] = \min_r \{C[i, i] + C[i, j] + U_\mu^{k-1}[j]\},$$

$$i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.7)$$

Здесь и далее \min_r — r -е наименьшее (r -й минимум, или ранг) множество чисел, заключенных в фигурные скобки. Это числовое множество формируется перебором всех узлов $j \neq i$, связанных дугами (межтерминальными маршрутами) с i -м узлом, а также длинами μ -х кратчайших маршрутов $U_\mu^{k-1}[j]$ из узла j в узел i_k , вычисленных на предыдущей $(k - 1)$ -й итерации (рис. 3.2).

Начальные условия для данных уравнений определяются при $k = 0$ и $r = 1$ выражениями

$$U_r^0[i] = C[i, i] + C[i, i_k] + C[i_k, i_k],$$

$$i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.8)$$

Если $r \neq 1$ или узлы i и i_k не связаны напрямую дугами, значения $U_r^0[i]$ полагаются равными бесконечности.

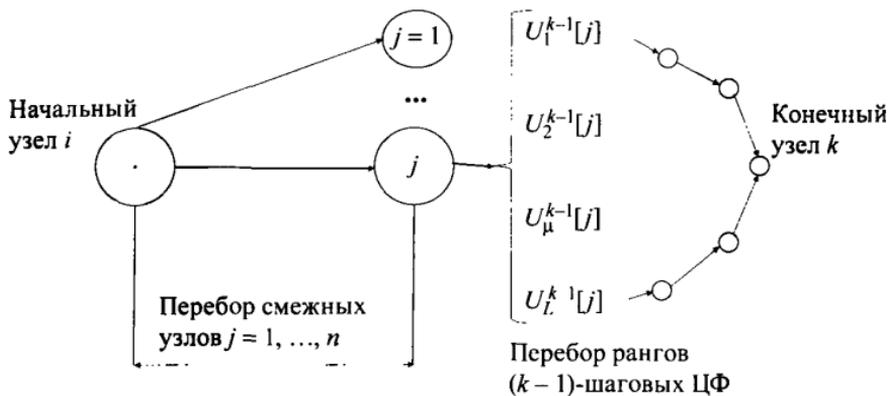


Рис. 3.2. Схема формирования семейства L -кратчайших маршрутов на сети

Нулевая итерация, как отмечалось выше, означает длину кратчайшего маршрута из i -го узла в конечный узел i_k без промежуточных узлов.

Далее, используя нулевую итерацию (3.8), по формулам (3.7) вычисляются длины маршрутов $U_r^k[i]$ первой итерации для $k = 1$. Величины $U_r^1[i]$ рассчитываются сразу для всех значений рангов от $r = 1$ до $r = L$. Первая итерация означает длины семейства кратчайших маршрутов рангов от 1 до L из i -го узла в конечный узел i_k с числом промежуточных узлов не более одного. Во всех случаях, когда таких маршрутов не существует, целевая функция $U_r^k[i]$ соответствующего ранга полагается равной бесконечности.

Вторая итерация, содержащая длины маршрутов разных рангов с числом промежуточных узлов не более двух, выполняется по формуле (3.7) и уже по рассчитанным значениям длин $U_r^1[i]$ при $k = 1$ и т. д.

После расчета целевых функций $U_r^1[i]$ при $k = n-2$ осуществляется вычисление L -оптимальных маршрутов, ведущих из заданного начального узла i_0 в фиксированный конечный узел i_k .

Прокладка маршрутов. Маршруты из начального узла i_0 рассчитывают процедурой «обратного хода» уравнений (3.7). Вначале определяют первые кратчайшие маршруты. Процедура расчета рассматривалась в п. 3.1 и 3.2. При прокладке используются длины только первых кратчайших маршрутов.

Для расчета маршрутов второго ранга используются уравнения (3.7), где в правой части учитываются длины маршрутов первого и второго рангов, исходящих из тех узлов j , в которых просматривается возможность захода. Из памяти вызывается уже вычисленное значение $U_0 = U_r^k[i_0]$ при $r = 2$ и $k = n - 2$ и находятся значения параметров j и μ , при которых в выражении (3.6) достигается второй минимум. Эти величины определяют соответственно следующий узел j прокладываемого маршрута и ранг μ исходящего из этого узла маршрута, который будет далее использоваться при прокладке. Процедура повторяется с новым значением параметра $U_0 = U_r^k[i_0]$ при $i_0 = j$, $r = \mu$ и $k = n - 2$ и т. д.

Далее рассчитываются маршруты третьего ранга. Перебор значений ранга $r = 1, 2, \dots, L$ определяет семейство L -оптимальных по тарифам маршрутов.

3.4. ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР РАСЧЕТА L-ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ

Рассмотрим использование приведенного алгоритма для расчета первых и вторых кратчайших маршрутов на сети рис. 3.3. Значения диагональных элементов $C[i, i]$ матрицы сети (тарифы на терминальную обработку) приняты равными единице, за исключением элементов $C[2, 2]$ и $C[3, 3]$, которые равны двум. Количество узлов на сети $n = 7$. В табл. 3.2 приведены значения длин первых ($r = 1$) и вторых ($r = 2$) кратчайших маршрутов $U_r^k[i]$, исходящих из узлов $i = 1, \dots, n - 1$ в конечный узел $i_k = n = 7$, k — номер приближения (итерации), $k = 0, 1, \dots, 5$. Для седьмого узла значения целевых функций первого ранга равны единице, а второго — бесконечности на любой итерации, поэтому эти значения в табл. 3.2 опущены.

Начальное приближение при $k = 0$. Прямые маршруты (т. е. без промежуточных узлов) в конечный, седьмой, узел имеют только узлы 5 и 6. Поэтому для этих узлов по формуле (3.8) для целевой функции (ЦФ) первого ранга вычисляем:

$$U_1^0[5] = C[5, 5] + C[5, 7] + C[7, 7] = 1 + 2 + 1 = 4;$$

$$U_1^0[6] = C[6, 6] + C[6, 7] + C[7, 7] = 1 + 3 + 1 = 5.$$

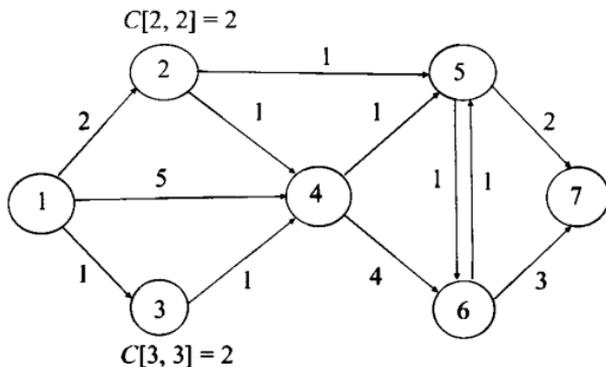


Рис. 3.3. Сетевая модель примера

Значения длин кратчайших маршрутов $U_r^k[i]$

Начальный узел i	Ранг ЦФ r	Номер итерации k				
		0	1	2	3	4
1	1	∞	∞	10	10	10
	2	∞	∞	12	11	11
2	1	∞	7	7	7	7
	2	∞	∞	9	9	9
3	1	∞	∞	9	9	9
	2	∞	∞	13	12	12
4	1	∞	6	6	6	6
	2	∞	10	9	9	9
5	1	4	4	4	4	4
	2	∞	7	7	7	7
6	1	5	5	5	5	5
	2	∞	6	6	6	6

Остальные значения ЦФ принимаются равными бесконечности (см. табл. 3.2, столбец $k = 0$). Напомним, что бесконечные значения целевых функций указывают на отсутствие соответствующих им маршрутов. Конечным значениям ЦФ для нулевой итерации соответствуют очевидные маршруты напрямую: $5 \rightarrow 7$ и $6 \rightarrow 7$. Эти маршруты не имеют промежуточных узлов.

Первая итерация при $k = 1$. Уравнения (3.7) при $k = 1$ в i -м узле имеют вид

$$U_r^1[i] = \min_r \{C[i, i] + C[i, j] + U_\mu^0[j]\}. \quad (3.9)$$

Здесь для вычисления минимума надо сформировать числовую последовательность значений ЦФ путем перебора по двум переменным: переменной j [определяет исходящие из узла дуги (i, j)] и переменной μ (определяет ранги используемых ЦФ). Для узлов $i = 1, 3$ все значения ЦФ нулевого приближения в правой части данной формулы равны бесконечности. Значит, и первые приближения целевых функ-

ций равны бесконечности. Для второго узла учтем только выражение

$$U_1^1[2] = \min_1\{C[2, 2] + C[2, 5] + U_1^0[5]\} = 2 + 1 + 4 = 7.$$

Остальные члены последовательности равны бесконечности. Для четвертого узла сформируем последовательность

$$U_r^1[4] = \min_r\{C[4, 4] + C[4, 5] + U_1^0[5],$$

$$C[4, 4] + C[4, 6] + U_1^0[6]\} = \min_r\{1 + 1 + 4, 1 + 4 + 5\} = \\ = \min_r\{6, 10\}.$$

Оба значения $U_1^1[4] = 6$ (для первого ранга) и $U_2^1[4] = 10$ (для второго ранга) записываем в табл. 3.2. Конечные значения этих ЦФ указывают, что из 4-го узла в конечный, 7-й, узел существуют два маршрута с одним промежуточным узлом: $4 \rightarrow 5 \rightarrow 7$ (длина равна 6) и $4 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ (длина равна 10). Для 5-го и 6-го узлов формулы и численные значения будут полностью аналогичны:

$$U_r^1[5] = \min_r\{4, 7\}, U_r^1[6] = \min_r\{5, 6\}.$$

На этом первая итерация заканчивается. На первой итерации из 4-го и последующих узлов появились уже вторые по рангу значения целевых функций. Эти значения на последующих итерациях будут использоваться и, возможно, улучшаться.

Вторая итерация при $k = 2$. Уравнения (3.7) при $k = 2$ для i -го узла имеют вид

$$U_r^2[i] = \min_r\{C[i, i] + C[i, j] + U_{\mu}^1[j]\}.$$

В правой части используются только значения целевых функций, вычисленные на предыдущей, первой, итерации. Опишем подробно лишь значения ЦФ для 2-го узла. Из этого узла исходят две дуги. Каждая дуга входит в узлы ($i = 4$ и $i = 5$), для которых на первой итерации были найдены

по два значения целевых функций. Таким образом последовательность, для которой отыскиваются r -е минимумы, в правой части выражения (3.10) содержит четыре члена:

$$\begin{aligned} U_r^2[2] &= \min_r\{C[2, 2] + C[2, 5] + U_1^1[5], \\ C[2, 2] + C[2, 5] + U_2^1[5], C[2, 2] + C[2, 4] + U_1^1[4], \\ C[2, 2] + C[2, 4] + U_2^1[4]\} = \\ &= \min_r\{2 + 1 + 4, 2 + 1 + 7, 2 + 1 + 6, 2 + 1 + 10\} = \\ &= \min_r\{7, 10, 9, 13\}. \end{aligned}$$

Здесь первые два минимальных значения:

$$U_1^2[2] = 7; \quad U_2^2[2] = 9.$$

Им соответствуют маршруты, исходящие из 2-го узла, по дугам (2, 5) и (2, 4). Дальнейшие продолжения этих маршрутов используют только первые кратчайшие маршруты из соответствующих узлов. Для остальных узлов механизм построения и формулы аналогичны. Приведем лишь результаты расчетов в числовом виде:

$$U_r^2[1] = \min_r\{10, \infty, 12, 16, \infty, \infty\} = \min_r\{10, 12\};$$

$$U_r^2[3] = \min_r\{9, 13\};$$

$$U_r^2[4] = \min_r\{6, 9, 10, 11\} = \min_r\{6, 9\};$$

$$\begin{aligned} U_r^2[5] &= \min_r\{1 + 2 + 1, 1 + 2 + \infty, 1 + 1 + 5, 1 + 1 + 7\} = \\ &= \min_r\{4, \infty, 7, 9\} = \min_r\{4, 7\}; \end{aligned}$$

$$U_r^2[6] = \min_r\{6, 9, 5, \infty\} = \min_r\{6, 5\}.$$

Результаты расчетов записаны в виде минимальных значений (первых и вторых) целевых функций в табл. 3.2. На второй итерации исчезли бесконечные значения ЦФ, которые нам встречались на нулевой и первой. Значения ЦФ означают длины первого и второго кратчайших маршрутов с числом промежуточных узлов не более двух. Если значение ЦФ на предыдущей итерации было равно бесконечности

(как, например, для 1-го узла), то кратчайшие маршруты содержат ровно два узла.

Третья итерация при $k = 3$. Уравнения (3.7) на данной итерации для i -го узла имеют вид

$$U_r^3[i] = \min_r \{C[i, i] + C[i, j] + U_\mu^2[j]\}.$$

В правой части используются только значения целевых функций, вычисленные на предыдущей второй итерации. Поскольку алгоритм полностью повторяется, приведем, как и на предыдущем шаге, только числовые значения:

$$U_r^3[1] = \min_r \{10, 12, 12, 15, 11, 15\} = \min_r \{10, 11\};$$

$$U_r^3[2] = \min_r \{7, 9, 9, 12\} = \min_r \{7, 9\};$$

$$U_r^3[3] = \min_r \{9, 12\};$$

$$U_r^3[4] = \min_r \{6, 9, 10, 11\} = \min_r \{6, 9\};$$

$$U_r^3[5] = \min_r \{4, 7, 8\} = \min_r \{4, 7\};$$

$$U_r^3[6] = \min_r \{6, 8, 5\} = \min_r \{6, 5\}.$$

Целевые функции первого ранга по сравнению с предыдущей итерацией не изменились. Изменения произошли только во вторых по рангу значениях целевых функций (для первого и третьего узлов). Это означает, что для этих узлов произошли по сравнению с предыдущим шагом улучшения во вторых кратчайших маршрутах. Появились новые улучшенные маршруты с тремя промежуточными узлами. Результаты расчетов записаны в виде минимальных значений (первых и вторых) целевых функций в табл. 3.2, $k = 3$.

Четвертая итерация при $k = 4$. Уравнения (3.7) на данной итерации для i -го узла имеют вид

$$U_r^4[i] = \min_r \{C[i, i] + C[i, j] + U_\mu^3[j]\}.$$

В правой части используются только значения целевых функций, вычисленные на предыдущей третьей итерации. Приведем, как и на предыдущем шаге, только числовые значения:

$$U_r^4[1] = \min_r\{10, 12, 12, 14, 11, 14\} = \min_r\{10, 11\};$$

$$U_r^4[2] = \min_r\{7, 9, 9, 11\} = \min_r\{7, 9\};$$

$$U_r^4[3] = \min_r\{9, 12\};$$

$$U_r^4[4] = \min_r\{6, 9, 10, 11\} = \min_r\{6, 9\};$$

$$U_r^4[5] = \min_r\{7, 8, 4\} = \min_r\{4, 7\};$$

$$U_r^4[6] = \min_r\{6, 8, 5\} = \min_r\{6, 5\}.$$

Все целевые функции по сравнению с предыдущей итерацией не изменились. Это означает, что найдены окончательно длины всех маршрутов (первого и второго рангов), идущих из узлов сети в конечный 7-й узел. Однако сами маршруты еще не найдены.

Примечание. Если остановить процедуру на k -м шаге, то найденные значения ЦФ будут означать оптимальные длины маршрутов с числом промежуточных узлов не более k единиц, для логиста они означают длины маршрутов, содержащих не более чем k пунктов перевалки. Поскольку всего узлов n , то максимальное число шагов должно быть не более $n - 2$.

Прокладка L-кратчайших маршрутов. Алгоритм прокладки не отличается от алгоритма, рассмотренного в п. 3.2, где отыскивались только первые кратчайшие маршруты. Для первого узла длины кратчайших маршрутов

$$U_r^4[1] = \min_r\{10, 11\}.$$

Для нахождения первого кратчайшего маршрута, имеющего длину, равную десяти, воспользуемся опять уравнением (3.7): при $i = 1$ и $r = 1$

$$10 = U_1[1] = \min_1\{C[1, 1] + C[1, 2] + U_1[2],$$

$$C[1, 1] + C[1, 4] + U_1[4], C[1, 1] + C[1, 3] + U_1[3]\}.$$

Здесь мы отбросили верхний индекс — номер итерации и значения целевых функций второго ранга в узлах, сопряженных с первым. Оптимальный маршрут следует из 1-го узла в тот сопряженный с ним узел, в котором минималь-

ное значение достигается. В правой части этого выражения значения всех величин (а главное — целевых функций $U_1[2] = 7$, $U_1[4] = 6$, $U_1[3] = 9$) нам известны. Продолжим это равенство, подставив числовые значения

$$10 = \min_1\{1 + 2 + 7, 1 + 5 + 6, 1 + 1 + 9\} = \min_1\{10, 12, 11\}.$$

Здесь равенство достигается во 2-м узле, поэтому первое звено маршрута $1 \rightarrow 2$. Далее, записав уравнение (3.7) для 2-го узла $U_1[2] = 7$, находим аналогично, что следующим узлом будет 5-й. И наконец, из уравнения (3.7) для 5-го узла получаем окончательно первый оптимальный маршрут $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 7$. Он содержит, как и следовало ожидать, два промежуточных узла.

Алгоритм прокладки второго кратчайшего маршрута отличается тем, что в правой части равенства (3.7) нужно рассматривать слагаемые с целевыми функциями первого и второго рангов. В начальном, первом, узле всегда используется только второе по рангу значение ЦФ. По мере прокладки маршрута равенство (второй минимум) может достигаться как на первом, так и на втором по рангу значению ЦФ. Поисквым параметром маршрута является не только следующий узел, но и ранг исходящего из него маршрута. Если на каком-то промежуточном узле (например, $i = 3$) будет выбран первый ранг целевой функции, то последующая часть второго кратчайшего маршрута (из начального узла) содержит первый кратчайший маршрут, исходящий из этого (3-го) узла. В этом случае второй кратчайший маршрут сойдет на оптимальную траекторию, исходящую из промежуточного узла, и будет оставаться на этом маршруте вплоть до конечного узла.

Для второго кратчайшего маршрута, исходящего из 1-го узла, имеем

$$\begin{aligned} 11 = U_2[1] = \min_2\{ & C[1, 1] + C[1, 2] + U_1[2], \\ & C[1, 1] + C[1, 2] + U_2[2], \quad C[1, 1] + C[1, 4] + U_1[4], \\ & C[1, 1] + C[1, 4] + U_2[4], \quad C[1, 1] + C[1, 3] + U_1[3], \\ & C[1, 1] + C[1, 3] + U_2[3]\}. \end{aligned}$$

Продолжим это равенство, подставив численные значения:

$$11 = U_2[1] = \min_2\{1 + 2 + 7, 1 + 2 + 9, 1 + 5 + 4, 1 + 5 + 7, \\ 1 + 1 + 9, 1 + 1 + 12\} = \min_2\{10, 12, 10, 13, 11, 14\} = 11.$$

Видим, что равенство достигается на первом кратчайшем маршруте, исходящем из узла $i = 3$. Следующим пунктом будет 3-й узел. Маршрут далее будет проходить по первому кратчайшему маршруту, исходящему из 3-го узла. Переход в последующих узлах на вторые кратчайшие маршруты невозможен. Поэтому в уравнениях (3.7) для последующих узлов оставляем только целевые функции первого ранга. Приведем окончательно второй кратчайший маршрут, исходящий из 1-го узла: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7$.

Свойства L-кратчайших маршрутов. Маршрут первого $r = 1$ ранга является оптимальным маршрутом. Маршрут любого заданного ранга r (например, ранга $r = 5$) состоит из участков маршрутов, соединяющих промежуточные узлы, ранги которых не выше заданного ($r = 5$). Участки маршрутов более высоких рангов для расчета не используются. В процессе прокладки маршрута и перехода от одного промежуточного узла к последующему ранги использованных маршрутов не могут быть повышены. Сойдя в процессе прокладки маршрута (например, ранга $r = 5$) на маршрут (например, второго ранга), исходящий из промежуточного узла, мы можем далее использовать маршруты только второго или первого ранга. Если же на каком-то шаге выйдем на маршруты первого ранга, то дальнейшая часть маршрута, как уже отмечалось в примере, будет состоять только из первых кратчайших маршрутов.

База данных о маршрутах сети. Рассчитав все маршруты, соединяющие два фиксированных узла, можно записать их в общую информационную систему в виде семейства матриц (трехмерного массива)

$$M(r) = M_r(i, i_k), \quad r = 1, 2, \dots, L. \quad (3.10)$$

Каждая матрица $M(r)$ определяется значением ранга. Ее элемент $M_r(i, i_k)$ представляет оптимальный маршрут ранга

r , соединяющий узлы $i = 1, 2 \dots$ и $i_k = 1, 2 \dots$. Каждый элемент представляет собой строку вида (3.6).

В главе 4 мы используем матрицу $M(1)$ маршрутов первого ранга для расчета характеристик грузопотоков в мультимодальной сети.

Маршруты, L -оптимальные по критерию минимума расстояния, находятся по приведенным алгоритмам, если считать матрицу стоимости равной матрице расстояний между терминалами. Они формируют матрицу, аналогичную (3.10). Для унимодальной ТТС с автомобильными маршрутами такого типа маршруты обеспечивают минимум автопробега. Маршруты, оптимальные по расстоянию, даже для мультимодальной транспортно-терминальной сети привязаны напрямую к географии расположения терминалов. Поэтому они остаются неизменными, фиксированными до тех пор, пока терминальная сеть не меняется. В отличие от них маршруты, оптимальные по тарифам, изменятся при изменении тарифов на каком-либо межтерминальном рейсе.

L -оптимальные по тарифам и автопробегу маршруты (в отличие от оптимальных по времени) не зависят от временных характеристик ТТС, момента и дня недели прибытия груза на терминал отправления.

Связь с некоторыми понятиями теории графов. В теории графов две вершины называются *смежными*, если существует ребро, их связывающее. Ребро, связывающее две вершины, называется *инцидентным* этим вершинам. В транспортно-терминальных сетях смежными вершинами являются два терминала, связанные регулярными маршрутами, а сам маршрут — инцидентным терминалам, между которыми он выполняется.

Матрица $M(1)$ вида (3.10) называется в теории графов матрицей кратчайших расстояний. *Диаметр графа* определяется как максимальное из всех кратчайших расстояний между его вершинами. Вершины, расстояние между которыми равно диаметру графа, называются *периферийными*.

Диаметр графа является максимальным элементом матрицы $M(1)$. Это понятие является полезным, поскольку

определяет числовые характеристики транспортно-терминальной сети в целом. Если диаметр рассчитывается по исходной матрице $C[i, j]$, составленной из расстояний между терминалами (км), то диаметр измеряется также в километрах. Он является характеристикой протяженности мультимодальной ТТС с учетом длин всех маршрутов расписания (авиационных, морских, железнодорожных). Если же диаметр рассчитывается по матрице $C[i, j]$ тарифов на перевозку (руб./кг), то его значение характеризует наибольшее значение тарифа на перевозку между двумя наиболее удаленными периферийными терминалами сети. В том же случае (см. п. 3.5), когда матрица $M(1)$ вычисляется по временным характеристикам расписаний, диаметр характеризует максимальное время, которое мультимодальный перевозчик может обеспечить для доставки грузов между двумя периферийными терминалами.

3.5. СЕМЕЙСТВО L-ОПТИМАЛЬНЫХ ПО ВРЕМЕНИ ДОСТАВКИ МАРШРУТОВ НА СЕТИ

Такого типа маршруты привязаны к расписанию регулярных межтерминальных рейсов и зависят от параметров расписания. Алгоритм их поиска усложняется из-за появления новых временных переменных, от которых зависят маршруты.

Введем величины $U_r^k[l, t, i]$, означающие длину (продолжительность) r -го кратчайшего маршрута, $r = 1, 2, \dots, L$ (r — минимальное время доставки груза), из i -го терминала в конечный терминал i_k . Код i_k конечного терминала фиксируется, он не указывается как аргумент в обозначении целевой функции. Значения целевой функции $U_r^k[l, t, i]$ вычисляются при условиях, что маршрут содержит не более k промежуточных терминалов, а груз прибыл в i -й терминал отправления в момент времени t суток на l -й день недели, $l = 1, 2, \dots, 7$.

В отличие от формул (3.7) здесь введена пара новых переменных (l, t) в обозначении целевых функций $U_r^k[l, t, i]$.

Эти переменные определяют момент появления грузовой партии заказа на терминале; t — дискретная переменная, появившаяся в результате дискретизации непрерывного времени суток с шагом dt . В компьютерной программе главы 5 мы приняли $dt = 10$ мин, дискретное время $t = 0, 1, \dots, 144$. Там же мы различаем как два разных переходных момента, когда происходит смена суток, момент $t = 144$ (т. е. 24.00 ч) l -го дня недели (например, $l = 3$ — среда) и момент $t = 0$ (т. е. 0.00 ч) последующего $(l + 1)$ -го дня недели (четверга). Тем самым предполагается, что момент смены суток может быть введен в массив расписания двумя разными способами и это не приведет к ошибкам в программе.

Далее все временные характеристики ТТС (моменты прибытия на терминалы отправления и прибытия, длительность межтерминальных маршрутов, а также значения $U_r^k[l, t, i]$ целевых функций) измеряются в минутах.

Переменные $U_r^k[l, t, i]$ связаны уравнениями [36, 37, 39]

$$U_r^k[l, t, i] = \min_r \{T[l, t, i, j] + U_\mu^{k-1}[l_j, t_j, j]\}. \quad (3.11)$$

Здесь $T[l, t, i, j]$ — время доставки груза из i -го в j -й терминал, определяемое по расписанию регулярных рейсов, при условии, что груз прибыл в i -й терминал с параметрами прибытия (l, t) , $i, j = 1, 2, \dots, n$. Если между i -м и j -м узлами в расписании нет прямых рейсов, эта величина полагается равной бесконечности; l_j и t_j — соответственно день суток и суточное время прибытия в j -й терминал. Параметр $k = 1, \dots, n - 2$, как и в уравнениях (3.7), означает количество промежуточных пунктов, параметр μ — ранг маршрута. Величина $U_\mu^{k-1}[l_j, t_j, j]$ в правой части означает μ -оптимальное время доставки груза из терминала j в конечный терминал i_k при условии, что груз прибыл в j -й терминал в момент (l_j, t_j) , а маршрут содержит не более $k - 1$ промежуточных узлов.

Начальные условия при $k = 0$ для уравнений (3.11) имеют вид

$$U_r^0[l, t, i] = T[l, t, i, i_k], \quad (3.12)$$

если $r = 1$ и между терминалами i и i_k существуют в расписании прямые рейсы. Для груза, доставленного в начальный i -й терминал отправления в момент (l, t) , правая часть выражения (3.12) равна его времени ожидания отправления рейса плюс продолжительность рейса из i -го в i_k -й терминал. Если же $r > 1$ или между i -м и j -м пунктами нет прямых межтерминальных перевозок, то значения функций $U_r^0[l, t, i]$ полагаются равными бесконечности.

После вычисления начальных значений $U_r^0[l, t, i]$ целевых функций по формуле (3.11) рассчитываются целевые функции первой итерации $k = 1$. Далее целевые функции первого приближения используются для расчетов функций второго приближения и т. д. Расчет прекращается при $k = n - 2$.

Прокладка L -оптимального по времени доставки маршрута осуществляется, как отмечалось выше, в соответствии с уравнениями (3.11) процедурой обратного хода. При прокладке маршрутов равенства левых и правых частей уравнений (3.11) могут достигаться для нескольких узлов j (например, $j = 1$ и $j = 2$). Это приводит к ветвлению маршрута, появлению двух новых звеньев: $i \rightarrow 1$ и $i \rightarrow 2$. Каждое из этих звеньев при продолжении прокладки может далее ветвиться. Таким образом, формируется множество кратчайших (здесь наискорейших) маршрутов данного ранга r . Все маршруты, входящие в это множество, имеют одно и то же время доставки. Во многих случаях на сети оптимальных маршрутов даже первого ранга (первые кратчайшие или наискорейшие маршруты) может быть несколько. С увеличением ранга количество маршрутов, составляющих это множество, увеличивается. В программе MultiTransGlobal (см. главу 5) все эти маршруты рассчитываются и упорядочиваются по критерию минимума тарифа.

Ветвление часто приводит к тому, что маршруты более высокого ранга начинают формироваться на базе маршрутов низшего (например, первого) ранга путем образования, приписывания к нему новых циклов. Цикл означает, что маршрут включает участок повторного завоза груза в один и тот же терминал. Например, если груз прибыл по опти-

мальному маршруту в промежуточный терминал и время ожидания первого отправляющегося рейса в этом терминале значительно, то может образоваться новый маршрут ветвления. Образуется цикл вида «вывоз из терминала на соседний терминал» плюс «возврат обратно на исходный терминал». Возврат должен происходить ранее момента отправления ближайшего рейса. Маршруты первого ранга не имеют циклов. Циклы могут образовываться только на маршрутах второго и высшего рангов.

Маршруты, имеющие циклы подобного рода, являются недопустимыми. В программе MultiTransGlobal (см. главу 5) предусмотрены специальные алгоритмы отбраковки недопустимых маршрутов в ходе их прокладки, что исключает бессмысленный процесс их дальнейшего ветвления. В результате отбраковки может оказаться (только на маршрутах рангов $r > 1$), что исключены все маршруты, отвечающие значению времени доставки данного ранга. Множество маршрутов данного ранга оказывается пустым. Соответствующие им значения целевых функций $U_r^k[l, t, i]$ назовем *холостыми*.

Итак, условия существования и единственности маршрутов любого ранга часто нарушаются. Это характерно для оптимальных по времени доставки маршрутов. В отличие от маршрутов, оптимальных по тарифам, маршруты, оптимальные по времени, зависят от дня недели и момента прибытия груза на терминал отправления.

Оптимальные маршруты по времени доставки ранга $r = 1$, соединяющие два произвольных терминала, можно записать в единый массив вида (3.10). Таким образом, минимальный набор всех маршрутов межтерминальных перевозок, реализуемых оператором с данной мультимодальной транспортно-терминальной сетью, можно представить окончательно как три массива вида (3.10). Каждый массив отвечает критериям минимума соответственно тарифов на перевозку (руб./км), длине маршрута (км) и времени доставки (мин). Эти массивы являются базой не только для выполнения перевозок, но и для расчетов грузопотоков.

РАСЧЕТ ГРУЗОПОТОКОВ В МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНОЙ СЕТИ

4.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДНЫХ ГРУЗОПОТОКОВ

В главе 2 рассматривалась базовая модель транспортно-терминальной сети, которая содержит $n = 33$ головных дистрибьюционных центра (ДЦ), $n_{av} = 21$ терминал подхода к авиасети, $n_{RS} = 11$ терминалов подхода к железнодорожной сети и $n_{SP} = 6$ терминалов подхода к морской сети. Общее число терминалов

$$N_{\Sigma} = n + n_{av} + n_{RS} + n_{SP} = 71.$$

В настоящей главе рассматриваются только грузовые потоки, формируемые отправлениями, которые транспортируются мультимодальным оператором через собственную ТТС. Относительно небольшая часть суммарного грузопотока образует местный поток, состоящий из грузов, перевозимых по схеме «грузоотправитель — головной ДЦ — грузополучатель». Этот поток здесь не рассматривается. Кроме того, не рассматриваются внесетевые грузопотоки, которые транспортируются прямой машиной, направляемой непосредственно грузополучателю.

Точками входа грузопотока являются головные ДЦ сети — терминалы отправления. В головные ДЦ отправки доставляются местным транспортом, например курьерами. В них происходят прием и регистрация грузовых отправок, ввод данных в информационную систему, сортировка и консолидация по направлениям дальнейшей перевозки. Основными *точками выхода* являются головные терминалы назначения, откуда прибывающие грузовые отправки направляются далее грузополучателю местным транспортом. Собственный относительно небольшой поток могут формировать дистрибьюционные центры подхода, которые

в этом случае становятся входными терминалами для потока. Такой грузопоток может появиться как отдельный самостоятельный внесетевой поток путем передачи груза от магистральных перевозчиков. Этот поток в книге также не рассматривается.

Итак, входные грузопотоки будем моделировать в виде матрицы

$$X_{inp} = (X_{inp}[i, j]), \quad i, j = 1, 2, \dots, n = 33,$$

элементы $X_{inp}[i, j]$ которой определяют суточное количество груза (кг/сут), отправляемого из региона, обслуживаемого i -м ДЦ, в регион обслуживания j -го терминала. Значения входных грузопотоков вычисляются по формуле

$$X_{inp}[i, j] = \alpha \text{ population } [i] \lambda_{i, j}, \quad (4.1)$$

где параметр α означает среднее количество грузов [кг/(1000 чел. · сут)], отправляемых мультимодальным оператором в сутки с каждых 1000 человек региона. Массив $\text{population } [i]$ содержит данные о численности населения региона, обслуживаемого i -м ДЦ, в тысячах единиц, коэффициент $\lambda_{i, j} \in (0, 1)$ означает долю общего исходящего из i -го региона грузопотока, направляемую в j -й регион. Далее в примерах полагается $\alpha = 3$ кг/(1000 чел. · сут). Коэффициент $\lambda_{i, j}$ удовлетворяет условию нормировки

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{i, j} = 1; \quad \lambda_{i, j} = 0 \text{ для } i = j. \quad (4.2)$$

Численные значения весовых коэффициентов $\lambda_{i, j}$ выбирают пропорционально численности населения региона:

$$\lambda_{i, j} = \text{population}[j] / (U - \text{population}[i]), \quad (4.3)$$

в который направляется грузопоток. Здесь U — суммарная численность населения всех регионов, охватываемых транспортной сетью. Условие $\lambda_{i, i} = 0$ означает, что грузопоток по направлению $i \rightarrow i$, обслуживаемый вне терминальной сети, исключается из рассмотрения, $X_{inp}[i, j] = 0$.

Условие (4.3) не учитывает ослабления транспортных связей между удаленными регионами. Относительное уменьшение доли грузопотока, направляемого в более удаленный терминал по сравнению с более близкими терминалами, отражает формула

$$\lambda_{i, j} = c_i \text{ population } [j] / \rho_{ij}^\beta, \quad (4.4)$$

моделирующая ослабление грузопотока обратно пропорционально расстоянию ρ_{ij} между терминалами отправления и назначения. Здесь β — показатель степени; c_i — нормирующий множитель, из условия нормировки (4.2)

$$c_i = 1 / \sum_{j=1}^n \text{ population } [j] / \rho_{ij}^\beta. \quad (4.5)$$

Здесь при суммировании необходимо исключить слагаемое с индексом $j = i$.

Матрица грузопотоков с элементами, рассчитываемыми по формулам (4.1)–(4.5), является несимметрической. Она может быть приведена к симметричному виду с помощью формулы

$$X_{inp}[i, j] := (X_{inp}[i, j] + X_{inp}[j, i]) / 2. \quad (4.6)$$

В формуле (4.6) символ «:=» означает оператора присвоения. Симметричность матрицы, т. е. выполнение условия

$$X_{inp}[i, j] = X_{inp}[j, i],$$

означает равенство грузопотоков, направляемых из i -го терминала в j -й терминал, и обратного грузопотока из j -го терминала в i -й ДЦ.

Распределение заданных входных грузопотоков в терминальной сети определяется маршрутами, по которым осуществляются перевозки. Предположим, что используются маршруты, оптимальные по одному из трех критериев — минимуму тарифов, минимуму расстояний и минимуму вре-

мени доставки. Для каждого из критериев все множество маршрутов можно записать в виде матрицы

$$M = (M_{\text{opt}}[l, m]), \quad (4.7)$$

элементом которой является оптимальный маршрут, связывающий l -й и m -й головные терминалы. Каждому из критериев будет соответствовать матрица вида (4.7).

Основная идея расчета потоков, принятая в настоящей главе, заключается в пропускании суточного входного потока $X_{\text{inp}}[l, m]$, направляемого из l -го терминала в m -й, через все элементы (узлы и дуги) ТТС, по которым проходит оптимальный маршрут $M_{\text{opt}}[l, m]$, связывающий эти головные терминалы. Далее все входные потоки $X_{\text{inp}}[i, j]$, направляемые из всех других терминалов по оптимальным маршрутам $M_{\text{opt}}[i, j]$, суммируются при условии, что маршрут $M_{\text{opt}}[i, j]$ проходит через выделенный элемент.

Рассчитанные таким образом потоки являются усредненными среднесуточными потоками. Порейсовый учет прибывающих и убывающих грузов в соответствии с расписанием осуществляется методом имитационного моделирования.

4.2. РАСЧЕТ МЕЖТЕРМИНАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ГРУЗОПОТОКОВ

Межтерминальные сетевые грузопотоки (кг/сут) определяет матрица

$$\text{NetFl} = (\text{NetFl} [j, j]).$$

Физически элементы этой матрицы $\text{NetFl} [i, j]$ определяют количество грузов (кг/сут), которые перевозятся рейсами компании, направляемыми из i -го терминала в j -й терминал. Эти величины характеризуют объемы межтерминальных перевозок. Если между парой терминалов нет связывающих их прямых рейсов, то значение потока $\text{NetFl} [i, j]$ равно нулю. Элементы матрицы NetFl вычисляются как суммарный поток:

$$\text{NetFl} [i, j] = \sum_{l=1}^n \sum_{m=1}^n X_{inp} [l, m], l \neq m, \quad (4.8)$$

проходящий по направлению из i -го терминала в j -й [т. е. по дуге (i, j)] вдоль оптимального маршрута $M_{opt} [l, m]$. Маршрут $M_{opt} [l, m]$ соединяет начальный, l -й, и конечный, m -й, узлы. По нему пропускается через сеть входной поток $X_{inp} [l, m]$ (кг/сут), направленный из l -го в m -й терминал.

Суммирование в формуле (4.8) входного потока $X_{inp} [l, m]$ осуществляется только по оптимальным маршрутам $M_{opt} [l, m]$, проходящим через данную дугу (i, j) . Если маршрут $M_{opt} [l, m]$ не содержит дуги (i, j) , то слагаемое $X_{inp} [l, m]$ в сумме (4.8) не учитывается.

Алгоритм вычисления величин сетевых потоков заключается в расчете оптимального маршрута $M_{opt} [l, m]$ из фиксированного узла $l = 1$ в узел $m \neq 1$, присваивании всем значениям потока $\text{NetFl} [i, j]$ вдоль всех дуг маршрута $M_{opt} [l, m]$ значения входного потока $X_{inp} [l, m]$, соответствующего выбранным параметрам l и m . Далее перебирают все значения переменных l, m , для каждого их сочетания выбирают маршрут $M_{opt} [l, m]$ и соответствующее этому маршруту значение потока в количестве $X_{inp} [l, m]$. Это значение потока суммируется со всеми уже рассчитанными значениями величин $\text{NetFl} [i, j]$ по дугам, входящим в выбранный маршрут. После перебора всех значений переменных l и m вычисления заканчиваются.

Поток $\text{NetFl} [i, j]$ характеризует объем (кг/сут) транспортной работы (перевозок), выполняемый компанией по направлению (i, j) . Его значение может использоваться для выбора транспортного средства и планирования рейсов, выполняющих перевозки по направлению из i -го терминала в j -й. Если дуга (i, j) соответствует автомобильному маршруту, связывающему два головных терминала или головной ДЦ и терминал подхода, то значение грузопотока позволяет выбрать тоннаж используемого грузовика и рассчитать количество межтерминальных рейсов. В том случае, если дуге соответствует, например, авиамаршрут, связывающий два терминала подхода к авиасети, то значение потока $\text{NetFl} [i, j]$ рассматривается как ожидаемый планируемый тоннаж по

маршруту. Его значение используется для бронирования и выбора квот на маршруте авиаперевозчика, заключения агентских договоров с перевозчиком и получения более благоприятных тарифов.

Матрица межтерминальных потоков может быть симметрической, т. е. выполняются равенства

$$\text{NetFl}[i, j] = \text{NetFl}[j, i] \text{ при } i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Условие симметрии будет выполняться, если матрицы входных грузопотоков (4.1) и тарифов $C = (C[i, j])$ симметрические. В частности, если ТТС имеет симметрическую сеть межтерминальных маршрутов, то каждая пара терминалов (i, j) связывается парными маршрутами «туда» и «обратно». Матрица (4.7) оптимальных маршрутов должна быть симметрической в том смысле, что ее элементы — маршруты $M_{\text{opt}}[l, m]$ и $M_{\text{opt}}[m, l]$ — являются строго обратными.

Для маршрутов, оптимальных по критерию минимума тарифов, условие симметрии $\text{NetFl}[i, j]$, как правило, выполняется. Для оптимальных по времени доставки маршрутов матрица M вида (4.1) несимметрическая, условие симметрии NetFl в общем случае не выполняется. Матрица межтерминальных потоков используется далее для расчета терминальных входных и выходных потоков.

4.3. РАСЧЕТ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ГРУЗОПОТОКОВ

Терминальные (узловые) потоки определяют работу терминалов сети как перевалочных пунктов. Различают три терминальных потока: местных грузоотправителей, местных грузополучателей и транзитные. Далее эти потоки обозначены соответственно индексами «м. го», «м. гп» и «тр».

Поток местных отправителей содержит грузы, доставляемые на терминале местной курьерской службой или самими грузоотправителями (на условиях самозавоза). Этот поток распределяется по маршрутам на терминалы назначения по всей ТТС. Его значение $X_{\text{м. го}}[i]$ определяется выражениями

$$X_{\text{м.го}}[i] = \sum_{j=1}^n X_{\text{inp}}[i, j] = \alpha \text{ population}[i]. \quad (4.9)$$

Здесь суммирование происходит по всем терминалам назначения.

Формула (4.9) определяет суммарный поток местных грузополучателей, его распределение по регионам, обслуживаемым терминалами назначения. Его составляющие представляют собой i -ю строку матрицы $X_{\text{inp}}[i, j]$ входных грузопотоков.

Поток местных грузополучателей содержит грузы, доставляемые на данный терминал как терминал назначения по сети из других терминалов отправления. Этот поток формируется маршрутами (и перевозится по ним), связывающими терминалы сети с данным терминалом назначения. Его значение $X_{\text{м.гп}}[i]$ определяется выражениями

$$X_{\text{м.гп}}[i] = \sum_{j=1}^n X_{\text{inp}}[j, i]. \quad (4.10)$$

Суммирование слагаемых (потоков $X_{\text{inp}}[j, i]$) в формулах (4.10) осуществляется по всем направляемым в i -й терминал маршрутам. Элемент $X_{\text{inp}}[j, i]$ матрицы входных грузопотоков описывает более детальное распределение грузопотоков, направляемых в i -й терминал из j -го терминала отправления.

Транзитный грузопоток содержит грузы, прибывающие в i -й терминал из других связанных с ним прямыми рейсами терминалов и следующие далее по исходящим из него межтерминальным маршрутам. Этот поток характеризует терминал как перевалочный пункт транзитных грузов.

Входной поток прибытия

$$F_{\text{пп}}[i] = \sum_{j=1}^n \text{NetFl}[j, i] \quad (4.11)$$

включает грузы, прибывающие в i -й терминал из других связанных с ним прямыми рейсами терминалов. Он состоит из потока местных грузополучателей, их маршруты до-

ставки заканчиваются в данном терминале, и транзитного потока:

$$F_{\text{тр}}^{\text{пр}}[i] = F_{\text{приб}}[i] - X_{\text{м.гп}}[i]. \quad (4.12)$$

Формула (4.12) вычисляет транзитный поток по всем прибывающим рейсам.

Выходной поток убытия

$$F_{\text{уб}}[i] = \sum_{j=1}^n \text{NetFl}[i, j]$$

содержит грузы, убывающие из i -го терминала в другие, связанные с ним прямыми рейсами, терминалы. Он состоит из потока местных отправителей, их маршруты доставки начинаются в данном терминале, и транзитного потока:

$$F_{\text{тр}}^{\text{уб}}[i] = F_{\text{уб}}[i] - X_{\text{м.го}}[i]. \quad (4.13)$$

Транзитные убывающие и прибывающие потоки по закону сохранения равны между собой:

$$F_{\text{тр}}^{\text{пр}}[i] = F_{\text{тр}}^{\text{уб}}[i]. \quad (4.14)$$

Терминальные потоки определяют объемы работ фронтов выгрузки и погрузки соответственно по перевалке отправляемых местных грузов, грузов, прибывающих для местной развозки, и транзитных (прибывающих и отправляемых) грузов.

4.4. РАСЧЕТ ВНУТРИТЕРМИНАЛЬНЫХ ГРУЗОПОТОКОВ

Внутритерминальные грузопотоки представляют собой детальное описание терминальных грузопотоков в виде их распределения по прибывающим и отправляемым рейсам или, что все равно, по грузовым площадкам терминала, на которых производится обслуживание рейсов.

Примем, что структура технологических зон отдела сортировки терминалов (см. рис. 6.2) включает K приемных

площадок для обслуживания прибывающих рейсов и (в силу симметрии транспортных межтерминальных связей) такое же количество отгрузочных площадок, обслуживающих убывающие рейсы. Приемные и отгрузочные площадки формируют соответственно *фронты прибытия (выгрузки)* и *убытия (погрузки)*.

Детальное описание грузопотоков внутри терминалов (головных и ДЦ подхода) определяется матрицей

$$\text{CrFl}[i] = (q_{rs}), \quad r, s = 0, 1, \dots, K, \quad (4.15)$$

где i — номер (код) терминала, который далее в обозначениях элементов q_{rs} матрицы опускается; нулевой индекс закреплен за местными грузопотоками; q_{0s} — поток местных грузоотправителей, направляемый для погрузки на рейс s -й отгрузочной площадки; q_{r0} — поток для местных грузополучателей, прибывающий рейсом на r -ю приемную площадку прибытия; q_{rs} — транзитные при $r, s = 1, \dots, K$ грузопотоки, проходящие транзитом через терминал из рейса, прибывающего на r -ю приемную площадку, на рейс, отправляемый из s -й площадки отгрузки. Все потоки измеряются в килограммах в сутки. Матрица (4.15) внутритерминальных грузопотоков в табличной форме представлена на рис. 5.13.

За каждой из приемных и отгрузочных площадок закреплены рейсы, прибывающие из определенного смежного терминала (либо отправляемые на определенный смежный терминал). Обозначим $j_{\text{пр}}[r]$ код соседнего смежного терминала, прибывающий рейс из которого разгружается на r -й приемной площадке, $j_{\text{отпр}}[s]$ — код соседнего смежного терминала, рейс на который направляется из s -й отгрузочной площадки. Эти рейсы формируют прибывающий межтерминальный грузопоток по направлению $j = j_{\text{пр}}[r] \rightarrow i$ и соответственно убывающий грузопоток по направлению $i \rightarrow j = j_{\text{отпр}}[s]$. С их помощью происходит расчет потоков.

При расчетах потоков q_{rs} используются формулы (4.8)–(4.10), однако условия суммирования каждый раз разные.

Поток местных грузоотправителей, отправляемый через s -ю отгрузочную площадку, вычисляется по формуле (4.9).

При суммировании в формуле (4.9) в сумме учитываются только те значения исходящего из i -го терминала потока $X_{inp}[i, j]$, которые направляются в j -й конечный терминал по оптимальному маршруту $M_{opt}[i, j]$, содержащему начальный маршрут $i \rightarrow j_{отпр}[s]$.

Аналогично поток местных грузополучателей, прибывающий рейсом через r -ю приемную площадку, вычисляется по формуле (4.10). Суммирование слагаемых $X_{inp}[j, i]$ в формуле (4.10) осуществляется только по тем терминалам отправления j , исходящий оптимальный маршрут из которых $M_{opt}[j, i]$ заканчивается маршрутом $j_{пр}[r] \rightarrow i$.

Транзитные (перекрестные) потоки q_{rs} вычисляются по формуле

$$q_{rs} = \sum_{l=1}^n \sum_{m=1}^n X_{inp}[l, m], \quad l \neq m,$$

аналогичной формуле (4.8), где суммирование входных потоков $X_{inp}[l, m]$, направляемых из l -го терминала в m -й, осуществляется лишь при условии, что связывающий их оптимальный маршрут $M_{opt}[l, m]$ содержит два смежных межтерминальных маршрута: $j_{пр}[r] \rightarrow i, i \rightarrow j_{отпр}[s]$.

Примеры расчетов приведены в главе 5.

**ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
MultiTransGlobal**

**5.1. БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ
ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНОЙ СЕТИ.
ГЛАВНОЕ МЕНЮ, ОПЕРАТИВНАЯ БАЗА**

Транспортно-терминальная сеть, принятая как базовый вариант в информационно-логистической системе (ИЛС) MultiTransGlobal, состоит из трех взаимосвязанных частей: центральной, восточной и западной. *Центральная часть* ТТС охватывает европейскую часть России, *восточная и западная части* ТТС включают терминалы в крупных городах Сибири, Дальнего Востока и Западной Европы. Транспортная часть ТТС включает маршруты межтерминальных перевозок, выполняемых четырьмя видами транспорта (автомобильным, авиационным, железнодорожным и морским). Транспортно-терминальная сеть является четырехмодальной.

Детально структура ТТС и ее элементы представлены в п. 2.2. Охватываемая территория и расположение терминалов приведены на рис. 2.3–2.7. Программа MultiTransGlobal, используемые в ней модели и алгоритмы разработаны на кафедре интермодальных перевозок и логистики Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. Разработчики программы — д-р техн. наук, профессор Ю. И. Палагин, профессор А. И. Мочалов, инженер А. В. Тимонин.

Главное меню программы содержит базовые опции программы.

Опция «Базовый вариант» главного меню предназначена для задания и изменения параметров ТТС. Ее запуск осуществляется с помощью подопции «Запуск» («Базовый вариант»). После запуска базового варианта с помощью других опций главного меню можно приступить к расчетам.



Рис. 5.1. Представление маршрутной сети ИЛС MultiTransGlobal на картах

С помощью подопции «Расписание маршрутов» осуществляется переход к «Оперативной базе». Эта опция служит для ввода:

- типов расписаний;
- головных терминалов и терминалов подхода (опция «Характеристики пунктов» и ее подопции «Терминалы», «Аэропорты», «Железнодорожные станции» и «Морские порты»);
- численности регионов, обслуживаемых головными терминалами.

С помощью опции «Маршруты» вводятся соответственно автомобильные, авиационные, железнодорожные и морские маршруты. Автомобильные маршруты задают в программе автомобильные связи между головными терминалами. Авиа-, железнодорожные и морские маршруты реализуют соответственно транспортные связи между терминалами подхода соответствующих видов транспорта. Пример представления маршрутной сети приведен на рис. 5.1.

Оперативная база Маршруты Отчеты Выход

Ввод авнамаршрутов

№ маршрута:	<input type="text"/>
Пункт отправления:	АП Санкт-Петербург
Пункт прибытия:	АП Екатеринбург
Расписание:	2
Время отправления:	11:00
Время прибытия:	12:00
Время маршрута, мин:	410
Тариф маршрута, руб/ч:	40,00
Расстояние, км:	1000

Начало	Предыдущая	Следующая	Конца	Поиск
Печать	Добавить	Изменить	Удалить	Выход

Рис. 5.2. Типовая форма для ввода маршрутов в ИЛС MultiTransGlobal

Связи между головными ДЦ и терминалами подхода реализуются отдельной подопцией «Маршруты подхода». Типовая форма для ввода параметров маршрутов приведена на рис. 5.2.

С помощью данной формы можно изменять параметры уже имеющегося в базе маршрута (тарифы и расписание) и создавать новые маршруты.

Опция главного меню «Расчет маршрутов в ТрТС» предназначена для расчета маршрутов.

5.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАРШРУТОВ ЭКОНОМ-ДОСТАВКИ В ИЛС

Маршруты данного типа рассчитываются по критерию минимума тарифа на перевозку. Алгоритмы представлены в п. 3.3.

Запускаем опцию «Базовый вариант».

Запускаем опцию «Расчет маршрутов в ТрТС (в главном меню)/Расчет маршрутов в ТрТС (в подменю)».

Вызываем входную форму «Расчет маршрутов в ТТС» задания исходных данных маршрутов (рис. 5.3). Форма содержит входные параметры:

- тип транспортно-терминальной сети (униmodalный, бимodalный, тримodalный и четырехmodalный);
- вид транспорта (автомобильный, авиационный, железнодорожный и морской);
- критерий оптимизации (минимум тарифа, минимум доставки и минимум длины маршрута);
- количество оптимальных маршрутов (параметр L — число рассчитываемых кратчайших маршрутов);
- пункт отправления (любой терминал, включая и терминалы подхода);
- пункт назначения (любой другой терминал, включая и терминалы подхода);
- дата и время отправления (текущие данные вводятся автоматически).

Автомобильная сеть, маршруты, оптимальные по минимуму тарифа (руб./кг). С помощью формы выбираем

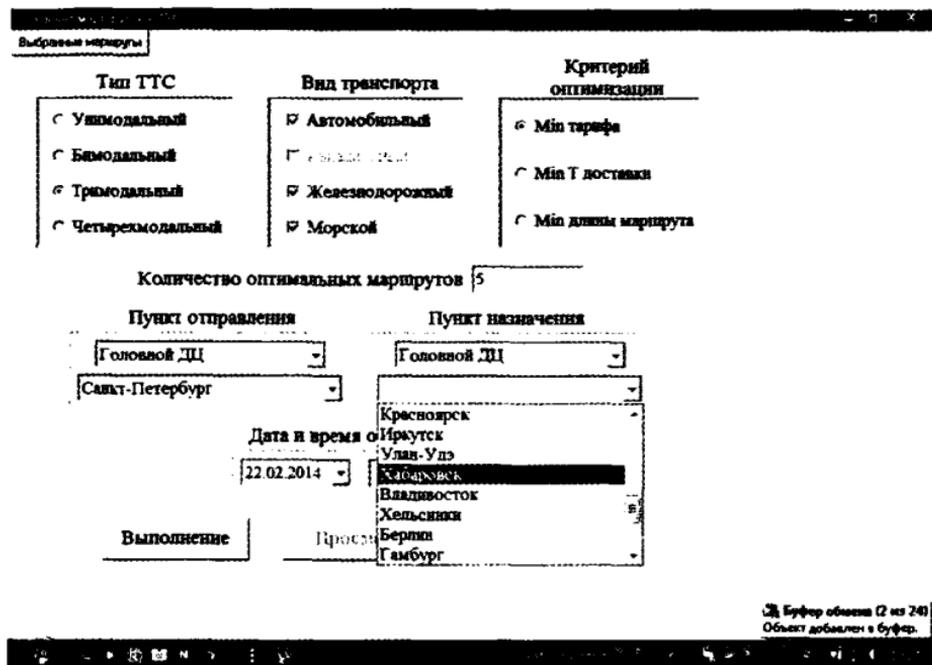


Рис. 5.3. Форма «Расчет маршрутов в ТТС»

тип транспортно-терминальной сети — унимодальный, вид транспорта — автомобильный, критерий оптимизации, количество оптимальных маршрутов (точнее, количество наименьших значений целевых функций, для которых рассчитываются маршруты) $L = 5$, терминалы отправления и назначения. День и время прибытия груза на терминал отправления вводятся автоматически.

Кнопкой «Выполнение» запускаем программу на исполнение. Программа запускает процедуры, реализующие алгоритмы, приведенные в п. 3.3.

Когда расчет маршрутов закончен, активизируется кнопка «Просмотр».

Данные о найденных маршрутах в программе выводятся в двух формах: табличной (рис. 5.4) и графической — на карте (рис. 5.5). Пример маршрута на карте приведен ниже. Маршруты и координаты терминалов привязаны к картографической системе Google. На рис. 5.4 и 5.5 приведены примеры маршрутов в четырехмодальной ТТС.

Тип сети: Четырехмодальный; Критерий оптимизации: Min тарифа
(пункт отправления (Головной ДЦ) - Париж, пункт назначения (Головной ДЦ) - Владивосток)

	Пункт - 4	Пункт - 5	Пункт - 6	Пункт - 7	Пункт - 8
1 маршрут Тариф маршрута = 124,99 руб/кг Время маршрута = 648,0 ч Расстояние = 12538 км Дата и время отправления: 24.02.14 13:00 (понедельник) Дата и время прибытия: 23.03.14 13:00 (воскресенье)	Транзитный пункт м/п Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 07:00 (четверг) Дата и время отправления 06.03.14 08:00 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 10:00 (четверг) Дата и время отправления 06.03.14 23:00 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Иркутск Дата и время прибытия 14.03.14 12:40 (пятница) Дата и время отправления 15.03.14 10:00 (суббота)	Транзитный пункт Иркутск Дата и время прибытия 15.03.14 16:00 (суббота) Дата и время отправления 18.03.14 13:00 (вторник)	Конечный пункт Владивосток Дата и время прибытия 23.03.14 13:00 (воскресенье)
2 маршрут Тариф маршрута = 125,99 руб/кг Время маршрута = 577,0 ч Расстояние = 12522 км Дата и время отправления: 24.02.14 13:00 (понедельник) Дата и время прибытия: 20.03.14 14:00 (четверг)	Транзитный пункт м/п Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 07:00 (четверг) Дата и время отправления 06.03.14 08:00 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 10:00 (четверг) Дата и время отправления 06.03.14 20:30 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Новосибирск Дата и время прибытия 09.03.14 18:50 (воскресенье) Дата и время отправления 10.03.14 10:00 (понедельник)	Транзитный пункт Новосибирск Дата и время прибытия 10.03.14 16:00 (понедельник) Дата и время отправления 12.03.14 14:00 (среда)	Конечный пункт Владивосток Дата и время прибытия 20.03.14 14:00 (четверг)
3 маршрут Тариф маршрута = 126,59 руб/кг Время маршрута = 625,0 ч Расстояние = 12552 км Дата и время отправления: 24.02.14 13:00 (понедельник) Дата и время прибытия: 22.03.14 14:00 (суббота)	Транзитный пункт м/п Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 07:00 (четверг) Дата и время отправления 06.03.14 08:00 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 10:00 (четверг) Дата и время отправления 06.03.14 16:40 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Улан-Удэ Дата и время прибытия 14.03.14 21:50 (пятница) Дата и время отправления 15.03.14 10:00 (суббота)	Транзитный пункт Улан-Удэ Дата и время прибытия 15.03.14 16:00 (суббота) Дата и время отправления 18.03.14 14:00 (вторник)	Конечный пункт Владивосток Дата и время прибытия 22.03.14 14:00 (суббота)
4 маршрут Тариф маршрута = 127,14 руб/кг Время маршрута = 588,0 ч Расстояние = 12457 км	Транзитный пункт м/п Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 07:00 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Санкт-Петербург Дата и время прибытия 06.03.14 10:00 (четверг)	Транзитный пункт ж/д Новосибирск Дата и время прибытия 09.03.14 18:50 (воскресенье)	Транзитный пункт Новосибирск Дата и время прибытия 10.03.14 16:00 (понедельник)	Транзитный пункт Хабаровск Дата и время прибытия 10.03.14 13:00 (пятница)

Просмотр

Выход

Рис. 5.4. Табличная форма представления данных о маршрутах

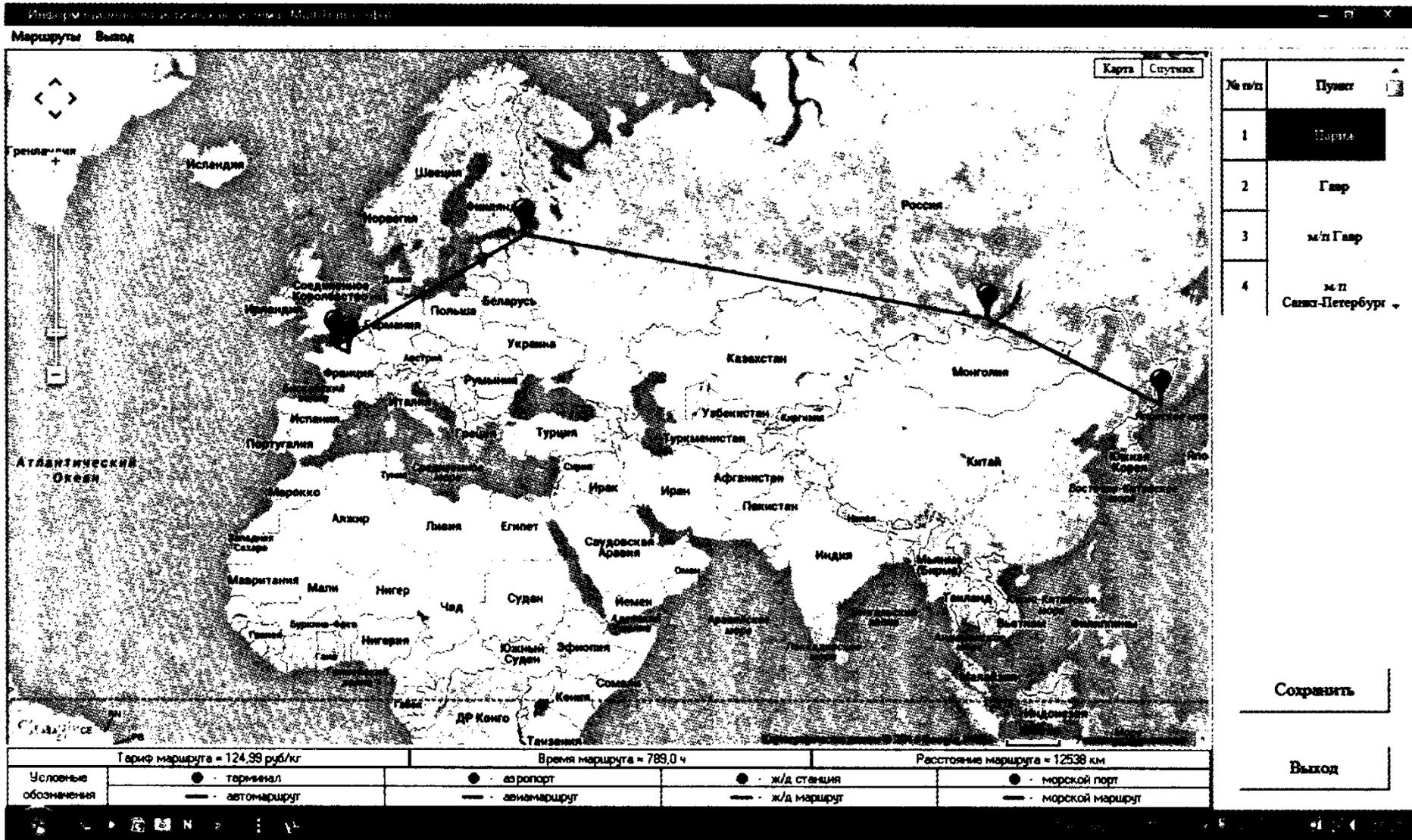


Рис. 5.5. Представление данных о маршрутах на карте

Бимодальные маршруты. Автожелезнодорожная сеть, маршруты, оптимальные по минимуму тарифа (руб./кг). Возвращаемся к исходной форме ввода «Расчет маршрутов в ТТС», изменяем только тип ТТС (на бимодальный) и вид транспорта (автомобильный + железнодорожный).

Запускаем кнопкой «Выполнение». Нажимаем кнопку «Просмотр» (только после ее активации).

При появлении железнодорожных участков маршрута появляется возможность оценить выигрыш в стоимости — времени доставки за счет подключения железнодорожной транспортировки.

В базовой ТТС маршруты морских перевозок подключены в направлении на Западную Европу. Аналогично рассчитываются бимодальные маршруты на автморской сети, тримодальные маршруты (авто-, железнодорожная и морская сеть или любые другие сочетания видов транспорта) и четырехмодальных маршрутов на авто-, авиа-, железнодорожной и морской сети. При введении различных мод транспорта автомобильная мода обязательна.

Маршруты эконом-доставки, оптимальные по тарифам, и маршруты экспресс-доставки, привязанные к сетке расписания регулярных рейсов, изменяются при гибком и постоянном обновлении определяющих их параметров. В отличие от них оптимальные по длине маршруты привязаны к географическим координатам терминалов. Параметры этих маршрутов остаются неизменными и не зависят ни от тарифной политики компании, ни от обновления расписаний.

Методика их расчета остается в ИЛС той же самой. Запускается форма «Расчет маршрутов в ТТС» (рис. 5.3) ввода данных о маршруте с теми же параметрами, что и в предыдущих случаях. Изменяется только критерий оптимизации на минимум длины маршрута.

5.3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАРШРУТОВ ЭКСПРЕСС-ДОСТАВКИ В ИЛС

Маршруты данного типа рассчитываются по критерию минимума времени доставки. Используются модели и алгоритмы расчета семейства L -оптимальных по времени достав-

ки маршрутов на сети, приведенные в п. 3.4. Специфика расчета этих маршрутов в их привязке помимо расписания к моменту (дате, дню недели и суточному времени) прибытия груза на терминал отправления. Грузы, прибывающие в разные дни недели или в разное время суток, могут отправляться по разным маршрутам.

С помощью формы «Расчет маршрутов в ТТС» (см. рис. 5.3) выбираем тип ТТС — унимодальный или полимодальный, вид транспорта — автомобильный, критерий оптимизации, количество оптимальных маршрутов (точнее, количество наименьших значений целевой функции, для которых рассчитываются маршруты) $L = 5$, терминалы отправления и назначения. День и время отправления (точнее, прибытия груза на терминал отправления) вводятся автоматически.

Кнопкой «Выполнение» запускаем программу на исполнение. Программа запускает процедуры, реализующие алгоритмы, приведенные в п. 3.4.

Когда расчет маршрутов закончен, активизируется кнопка «Просмотр».

На рис. 5.6 (табличная форма) и рис. 5.7 (графическое представление на карте Google) приведены примеры маршрутов, оптимальных по времени доставки, в четырехмодальной ТТС.

L -оптимальные маршруты (при $L > 1$) в ТТС имеют ряд особенностей.

Во-первых, не для каждого значения ранга r целевых функций существует допустимый маршрут. Недопустимые маршруты содержат петли в графе маршрута. Маршруты включают участки с повторным завозом груза в один и тот же терминал. Недопустимые маршруты характерны для терминалов с малой частотой рейсов отправления, когда вместо ожидания в промежуточном терминале следующего рейса груз направляется дополнительно в соседний терминал по маршруту «туда-обратно» и по возвращении следует далее. Программа вычисляет недопустимые маршруты на базе уже сформированных допустимых маршрутов низшего ранга r , часто маршрутов первого или второго ранга. Им соответствуют «холостые» значения целевых функций $U_r^k[i]$, $U_r^k[l, t, i]$. В зависимости от направления перевозок холостые значе-

Тип сети: Четырехмодальный; Критерий оптимизации: Min T доставки
(пункт отправления (Головной ДЦ) - Париж, пункт назначения (Головной ДЦ) - Владивосток)

		Пункт - 1	Пункт - 2	Пункт - 3	Пункт - 4	Пункт - 5
Г	1 маршрут Тариф маршрута = 488,44 руб/кг Время маршрута = 69,0 ч Расстояние = 12250 км Дата и время отправления: 25.02.14 16:00 (вторник) Дата и время прибытия: 28.02.14 13:00 (пятница)	Начальный пункт Париж Дата и время отправления 25.02.14 17:00 (вторник)	Транзитный пункт Лондон Дата и время прибытия 25.02.14 23:10 (вторник) Дата и время отправления 26.02.14 08:00 (среда)	Транзитный пункт АП Лондон Дата и время прибытия 26.02.14 10:00 (среда) Дата и время отправления 26.02.14 15:00 (среда)	Транзитный пункт АП Санкт-Петербург Дата и время прибытия 26.02.14 22:40 (среда) Дата и время отправления 27.02.14 07:50 (четверг)	Транзитный пункт АП Москва (Южная) Дата и время прибытия 27.02.14 13:00 (четверг) Дата и время отправления 27.02.14 17:50 (четверг)
	2 маршрут Тариф маршрута = 495,94 руб/кг Время маршрута = 69,0 ч Расстояние = 12082 км Дата и время отправления: 25.02.14 16:00 (вторник) Дата и время прибытия: 28.02.14 13:00 (пятница)	Начальный пункт Париж Дата и время отправления 25.02.14 17:00 (вторник)	Транзитный пункт Лондон Дата и время прибытия 25.02.14 23:10 (вторник) Дата и время отправления 26.02.14 08:00 (среда)	Транзитный пункт АП Лондон Дата и время прибытия 26.02.14 10:00 (среда) Дата и время отправления 26.02.14 15:00 (среда)	Транзитный пункт АП Санкт-Петербург Дата и время прибытия 26.02.14 22:40 (среда) Дата и время отправления 27.02.14 06:10 (четверг)	Транзитный пункт АП Москва (Северная) Дата и время прибытия 27.02.14 11:30 (четверг) Дата и время отправления 27.02.14 14:40 (четверг)
	3 маршрут Тариф маршрута = 271,96 руб/кг Время маршрута = 93,0 ч Расстояние = 11568 км Дата и время отправления: 25.02.14 16:00 (вторник) Дата и время прибытия: 01.03.14 13:00 (суббота)	Начальный пункт Париж Дата и время отправления 26.02.14 08:00 (среда)	Транзитный пункт АП Париж Дата и время прибытия 26.02.14 10:00 (среда) Дата и время отправления 27.02.14 12:00 (четверг)	Транзитный пункт АП Москва (Северная) Дата и время прибытия 27.02.14 19:40 (четверг) Дата и время отправления 28.02.14 06:00 (пятница)	Транзитный пункт АП Москва (Южная) Дата и время прибытия 28.02.14 08:00 (пятница) Дата и время отправления 28.02.14 17:50 (пятница)	Транзитный пункт АП Владивосток Дата и время прибытия 01.03.14 06:10 (суббота) Дата и время отправления 01.03.14 11:00 (суббота)
	4 маршрут Тариф маршрута = 442,63 руб/кг Время маршрута = 93,0 ч Расстояние = 12460 км	Начальный пункт Париж Дата и время отправления 25.02.14 17:00 (вторник)	Транзитный пункт Лондон Дата и время прибытия 25.02.14 23:10 (вторник)	Транзитный пункт АП Лондон Дата и время прибытия 26.02.14 10:00 (среда)	Транзитный пункт АП Париж Дата и время прибытия 26.02.14 20:10 (среда)	Транзитный пункт АП Москва (Северная) Дата и время прибытия 27.02.14 10:40 (четверг)

Просмотр

Выход

Рис. 5.6. Табличная форма представления данных о маршрутах. Маршруты, оптимальные по времени доставки

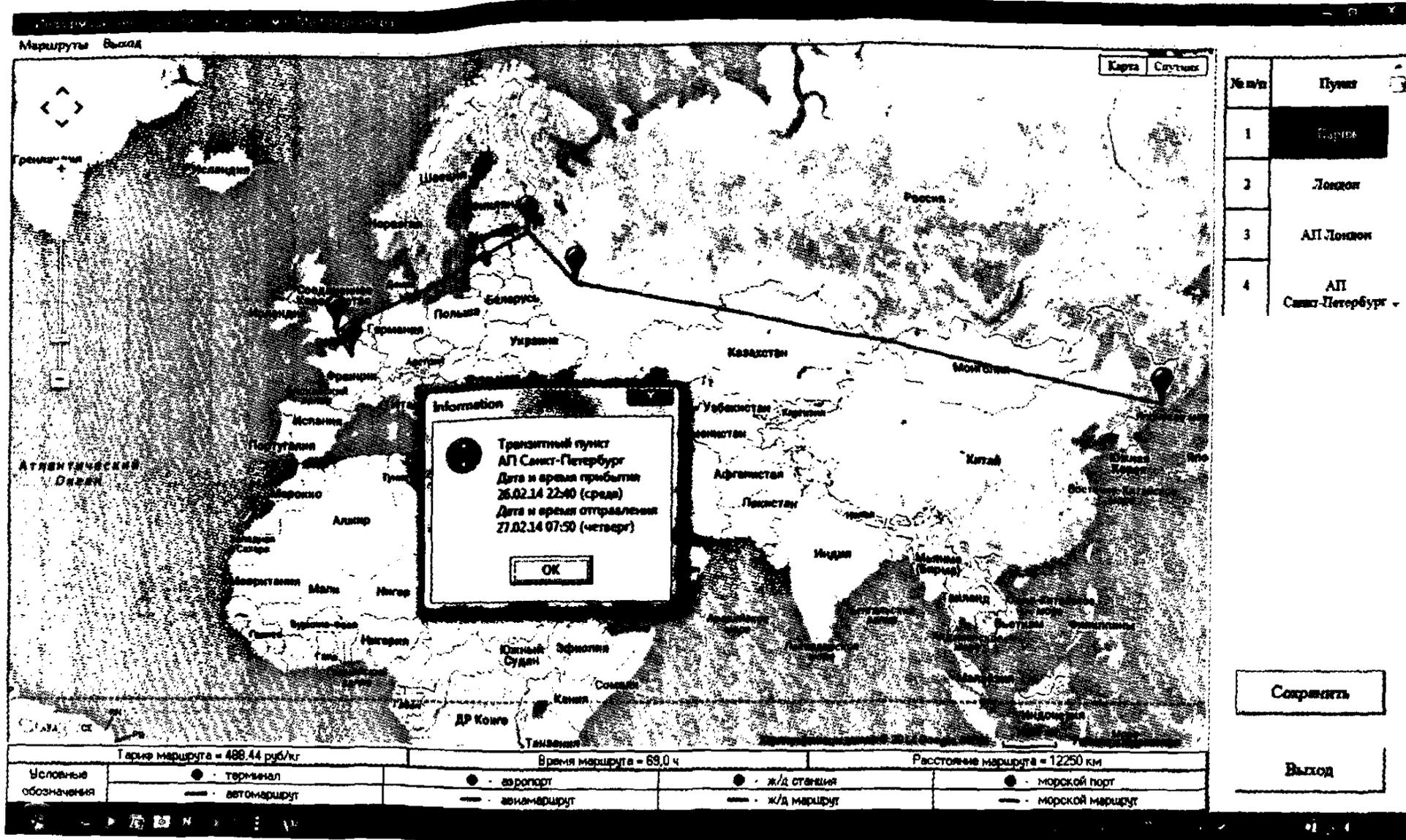


Рис. 5.7. Представление данных о маршрутах на карте. Маршруты, оптимальные по времени доставки. Основные участки авиационные

ния встречаются в 30–50 % случаев. Для их исключения в программе MultiTransNet разработаны специальные процедуры контроля и отбраковки. Оптимальные маршруты для целевых функций первого ранга всегда допустимы.

Во-вторых, «нехолостым» значениям целевых функций ранга r соответствует, как правило, не один, а множество различающихся между собой r -оптимальных маршрутов. Данный эффект характерен для критерия минимума времени доставки. В табл. 5.1 приведен пример данных по L -оптимальным по времени доставки маршрутами для сети по направлению Краснодар — Екатеринбург (код 6 → 15). Маршрут с минимальным временем доставки (ранг $r = 1$, $T_{\min} = 77$ ч) включает две авиаперевозки через московские аэропорты с автомобильным плечом между ними. Значение целевой функции ранга $r = 4$ с временем доставки 125 ч является холостым, соответствующий маршрут недопустим.

Даже при ранге $r = 1$ на некоторых направлениях в сети существуют два или более оптимальных по времени доставки маршрутов с различными тарифами. Все эти маршруты могут представлять интерес для перевозок. В комплексе MultiTransGlobal предусмотрены программные и алгоритмические средства, позволяющие вычислять и сохранять все маршруты с одним и тем же временем доставки при различных значениях рангов. Маршруты одного и того же ранга с одинаковым временем доставки упорядочиваются по тарифам.

Т а б л и ц а 5.1

Характеристики L -оптимальных маршрутов различных рангов

Ранг r маршрутов	Значения ЦФ $U_r^k [i, t, i], \text{ч}$	Количество маршрутов	Количество терминалов на маршрутах
1	77	1	4
2	96	1	5
3	120	1	5
4	125	0	–
5	143	7	5–8
6	144	1	8
7	192	34	6–10
8	197	26	6–11

5.4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРУЗОПОТОКОВ В ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ MultiTransGlobal

Описание входного грузопотока. Принято, что *точками входа* грузопотока являются головные терминалы сети — терминалы отправления. Основными *точками выхода* являются головные терминалы назначения, откуда прибывающие грузовые отправки направляются далее грузополучателю местным транспортом. Входные грузопотоки моделируются в виде матрицы (4.1), элементы $X_{inp}[i, j]$ которой определяют суточное количество груза (кг/сут), отправляемого из региона, обслуживаемого i -м дистрибьюционным центром (ДЦ), в регион обслуживания j -го терминала. Для расчетов используются формулы (4.2) и (4.3).

С помощью опции «Расчет грузопотоков в ТрТС» запускаем входную форму задания исходных данных для расчета (рис. 5.8). Форма определяет все входные и выходные данные для расчета грузопотоков. Входные данные содержат исходные параметры по типу ТТС, виду транспорта, используемого в расписании межтерминальных рейсов,

Информационно-логистическая система "MultiTransGlobal" — ◯ ×

Тип ТТС	Вид транспорта	Критерий оптимизации
<input type="radio"/> Униmodalный	<input checked="" type="checkbox"/> Автомобильный	<input checked="" type="radio"/> Min тарифа
<input type="radio"/> Биmodalный	<input checked="" type="checkbox"/> Авиационный	<input type="radio"/> Min T доставки
<input type="radio"/> Триmodalный	<input checked="" type="checkbox"/> Железнодорожный	<input type="radio"/> Min длина маршрута
<input checked="" type="radio"/> Четырехmodalный	<input checked="" type="checkbox"/> Морской	
<input type="radio"/> Пятиmodalный	<input type="checkbox"/> Другое	
Тип потока		
<input type="radio"/> Терминальный		
<input type="radio"/> Межтерминальный		
День и время отправления		
<input type="text" value="24.02.2014"/> <input type="text" value="13:34"/>		
<input type="button" value="Просмотр"/>	<input type="button" value="Матрица входных грузопотоков"/>	<input type="button" value="Справка"/>
<input type="button" value="Выход"/>		

◀ ▶ ↻ 🔍

Рис. 5.8. Входная форма задания исходных данных для расчета грузопотоков ТТС

Значения входных грузопотоков вычисляются по формуле:

$$X_{гр}[i, j] = \alpha \cdot Population[i] \cdot \lambda_{ij}$$

где α – среднее количество грузов ($\%_{(1000 \cdot м \cdot сут)}$);

$Population[i]$ – численность региона i -ого ДЦ в тысячах единиц ($1000 \cdot ед$);

λ_{ij} – коэффициент означает долю общего исходящего из i -го региона грузопотока направляемую в j -ый регион

Ввод значений:

$$\alpha, \%_{(1000 \cdot м \cdot сут)} = 3$$

Город	Численность населения (тыс. ед.)
Санкт-Петербург	7500
Москва (Южная)	6500
Москва (Северная)	6500
Воронеж	1100
Ростов-на-Дону	1500
Краснодар	1500
Саратов	600
Волгоград	800
Астрахань	500
Брянск	800
Ярославль	850
Нижний Новгород	1100
Казань	1500
Самара	1500
Екатеринбург	2500
Мурманск	700
Архангельск	600

Сохранить

Отменить

Выход

Рис. 5.9. Вызов формы справки об исходных данных базового варианта

критериям оптимизации, используемым при выборе маршрутов. Эти данные применялись уже нами для расчетов маршрутов эконом- и экспресс-доставки.

С помощью кнопки «Справка» (рис. 5.9) можно просмотреть и изменить исходные данные.

Для вызова матрицы входных грузопотоков необходимо щелкнуть мышкой по кнопке «Матрица входных грузопотоков». Результат представлен на рис. 5.10.

Межтерминальные потоки ТТС. Распределение заданных входных грузопотоков в терминальной сети определяется маршрутами, по которым осуществляются перевозки. Предположим, что используются маршруты, оптимальные по одному из трех критериев: минимуму тарифов, минимуму расстояний и минимуму времени доставки. Для каждого из критериев все множество маршрутов можно записать в виде матрицы (4.7), элементом которой является оптимальный маршрут $M_{opt}[l, m]$, связывающий l -й и m -й головные терминалы. Каждому из критериев будет соответствовать своя матрица вида (4.7).

	Санкт-Петербург	Москва (Южная)	Москва (Северная)	Воронеж	Ростов-на-Дону	Краснодар	Саратов	Волгоград	Астрахань	Брянск	Яросль
Санкт-Петербург		3785 кг	3785 кг	602 кг	825 кг	825 кг	327 кг	437 кг	272 кг	437 кг	464 кг
Москва (Южная)	3785 кг		3238 кг	515 кг	705 кг	705 кг	279 кг	373 кг	232 кг	373 кг	397 кг
Москва (Северная)	3785 кг	3238 кг		515 кг	705 кг	705 кг	279 кг	373 кг	232 кг	373 кг	397 кг
Воронеж	602 кг	515 кг	515 кг		112 кг	112 кг	44 кг	59 кг	37 кг	59 кг	63 кг
Ростов-на-Дону	825 кг	705 кг	705 кг	112 кг		153 кг	61 кг	81 кг	50 кг	81 кг	86 кг
Краснодар	825 кг	705 кг	705 кг	112 кг	153 кг		61 кг	81 кг	50 кг	81 кг	86 кг
Саратов	327 кг	279 кг	279 кг	44 кг	61 кг	61 кг		32 кг	20 кг	32 кг	34 кг
Волгоград	437 кг	373 кг	373 кг	59 кг	81 кг	81 кг	32 кг		27 кг	43 кг	46 кг
Астрахань	272 кг	232 кг	232 кг	37 кг	50 кг	50 кг	20 кг	27 кг		27 кг	28 кг
Брянск	437 кг	373 кг	373 кг	59 кг	81 кг	81 кг	32 кг	43 кг	27 кг		46 кг
Яросль	464 кг	397 кг	397 кг	63 кг	86 кг	86 кг	34 кг	46 кг	28 кг	46 кг	

Выход

Рис. 5.10. Матрица входных суточных грузопотоков базового варианта:
на темном фоне даны значения суммарного входного потока

Межтерминальные сетевые грузопотоки (кг/сут) определяет матрица $NetFl = (NetFl [i, j])$. Алгоритмы расчета ее элементов приведены в п. 4.2. Рассчитанные таким образом потоки являются усредненными среднесуточными потоками. Поток $NetFl [i, j]$ характеризует объем транспортной работы (перевозок, кг/сут), выполняемой компанией по направлению (i, j) .

Для расчета в форме «Расчет грузопотоков в ТрТС» задаем исходные данные:

- тип ТТС (четырёхмодальный);
- вид транспорта (автомобильный, авиационный, железнодорожный и морской);
- критерий оптимизации (минимум тарифа);
- тип потока (межтерминальный).

Щелчком по кнопке «Просмотр» запускаем программу на выполнение (расчет потоков). Пример расчета приведен на рис. 5.11.

Расчет распределения межтерминальных потоков в ТТС в случае использования маршрутов, оптимальных по критерию минимума времени доставки, выполняется с помощью формы (5.8) аналогично. Нажимая кнопку «Выход», возвращаемся к исходной форме «Расчет грузопотоков в ТрТС». Вводим другой критерий — минимум времени доставки. Кнопкой «Просмотр» запускаем программу на выполнение.

Программа позволяет проанализировать перераспределение грузопотоков между автомобильными, авиационными, железнодорожными и морскими терминалами в местных кластерах для терминалов отправления и (отдельно) для терминалов назначения при различных параметрах сети и типах используемых маршрутов.

Матрица межтерминальных потоков используется далее для расчета терминальных входных и выходных потоков.

Расчет терминальных потоков в ИЛС. Терминальные (узловые) потоки определяют работу терминалов сети как перевалочных пунктов — объемы работ фронтов выгрузки и погрузки соответственно по перевалке отправляемых местных грузов, грузов, прибывающих для местной развозки, и транзитных (прибывающих и отправляемых) грузов.

	Санкт-Петербург	Москва (Южная)	Москва (Северная)	Воронеж	Ростов-на-Дону	Краснодар	Саратов	Волгоград	Астрахань	Брянск	Яросль
Санкт-Петербург	0 кг	5518 кг	12073 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг
Москва (Южная)	5518 кг	0 кг	12761 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	4092 кг	0 кг
Москва (Северная)	11352 кг	12761 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	14412 кг	0 кг	0 кг	0 кг	2582 кг
Воронеж	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	1796 кг	0 кг	9637 кг	0 кг	0 кг	2248 кг	0 кг
Ростов-на-Дону	0 кг	0 кг	0 кг	8718 кг	0 кг	4643 кг	0 кг	262 кг	0 кг	0 кг	0 кг
Краснодар	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	4643 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг
Саратов	0 кг	0 кг	14412 кг	2715 кг	0 кг	0 кг	0 кг	10656 кг	0 кг	0 кг	0 кг
Волгоград	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	7184 кг	0 кг	3734 кг	0 кг	1560 кг	0 кг	0 кг
Астрахань	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	1560 кг	0 кг	0 кг	0 кг
Брянск	0 кг	4092 кг	0 кг	2248 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг
Яросль	0 кг	0 кг	2113 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг

Выход

Рис. 5.11. Матрица межтерминальных грузопотоков ТТС. Критерий минимума тарифов: на темном фоне даны значения суммарного потока

Основные определения и формулы расчета приведены в п. 4.3. Терминальный поток включает *поток прибытия*, который состоит из потока местных грузополучателей и транзитного грузопотока, и *поток убытия*, состоящий из потока местных грузоотправителей и транзитного потока. Поток прибытия является суммарным суточным потоком по прибывающим рейсам, а поток убытия определяется как суммарный суточный поток по отправляемым из терминала рейсам. Потоки измеряются в килограммах в сутки.

Терминальные потоки на маршрутах, оптимальных по критерию минимума времени доставки. С помощью кнопки «Выход» возвращаемся к основной форме «Расчет грузопотоков в ТрТС». Меняем тип потока на терминальный. Запускаем процедуру вычислений кнопкой «Просмотр». Результаты расчетов приведены на рис. 5.12.

Терминальные потоки на маршрутах, оптимальных по другим критериям, вычисляются аналогично — путем изменения в форме (см. рис. 5.8) критерия оптимизации и

Матрица терминальных потоков

Тип транспортно-терминальной сети: Четырехмодальная
(Автомобильная сеть, Авиационная сеть, Ж/д сеть, Морская сеть)
Критерий оптимизации: MIN T доставки; Тип потока: терминальный

Терминал	Входной поток		Транзитный поток	Выходной поток	
	Суммарный поток	Местные отправители		Суммарный поток	Местные получатели
Санкт-Петербург	35853 кг	21341 кг	14512 кг	35853 кг	21341 кг
Москва (Южная)	28637 кг	18783 кг	9854 кг	28637 кг	18783 кг
Москва (Северная)	52743 кг	18783 кг	33960 кг	52743 кг	18783 кг
Воронеж	4138 кг	3411 кг	727 кг	4138 кг	3411 кг
Ростов-на-Дону	6645 кг	4643 кг	2002 кг	6645 кг	4643 кг

Матрица ВТП | Выход

Рис. 5.12. Входные потоки (прибытия) и выходные потоки (убытия) для терминалов ТТС. Критерий минимума времени доставки

Тип транспортно-терминальной сети: Четырехмодальная (Автомобильная сеть, Авиационная сеть, Ж/д сеть, Морская сеть)

Критерий оптимизации: MIN T доставки;

Тип потока: терминальный

Площадки отправления / Площадки прибытия	Площадка № 0 Местные грузополучатели	Площадка № 1 Рейс на терминал: Москва (Южная)	Площадка № 2 Рейс на терминал: Москва (Северная)	Площадка № 3 Рейс на терминал: Мурманск	Площадка № 4 Рейс на терминал: Архангельск
Площадка № 0 Местные грузоотправители		4222,00	12159,00	382,00	327,00
Площадка № 1 Рейс из терминала: Москва (Южная)	1864,00		0,00	188,00	0,00
Площадка № 2 Рейс из терминала: Москва (Северная)	7537,00	0,00		588,00	61,00
Площадка № 3 Рейс из терминала: Мурманск	382,00	556,00	796,00		0,00
Площадка № 4 Рейс из терминала: Архангельск	327,00	477,00	681,00	0,00	
Площадка № 5 Рейс из терминала: Хельсинки	654,00	0,00	418,00	28,00	48,00
Площадка № 6 Рейс из терминала: Берлин	327,00	0,00	44,00	28,00	0,00
Площадка № 7 Рейс из терминала: АП Санкт-Петербург					
Площадка № 8 Рейс из терминала: ж/д Санкт-Петербург	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Грузопоток терминала

Санкт-Петербург

Расчет

Сохранить

Выход

Рис. 5.13. Матрица внутритерминальных грузопотоков на терминале «Санкт-Петербург». Критерий минимума времени доставки

повторным запуском процедуры вычислений кнопкой «Промотр». Расчеты дают возможность оценить перераспределение грузопотоков в головных терминалах и местных терминалах подхода (к аэропортам, железнодорожным станциям и морским портам) при использовании различных маршрутов.

Внутритерминальные грузопотоки (ВТП). Матрица внутритерминальных грузопотоков представляет собой детальное описание терминальных грузопотоков в виде их распределения по прибывающим и отправляемым рейсам или, что все равно, по грузовым площадкам терминала, на которых производится обслуживание рейсов. Описание грузопотоков внутри терминалов (головных и ДЦ подхода) определяется матрицей (4.15).

Процедура расчета внутритерминальных грузопотоков запускается из формы «Матрица терминальных потоков» с помощью кнопки «ВТП». Пример расчета (для терминала «Санкт-Петербург») приведен на рис. 5.13.

5.5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТТС. ИНТЕРФЕЙС ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТСКОГО ЗАКАЗА

Блок имитационного моделирования воспроизводит минутное изменение текущих данных о грузопотоках в ТТС с шагом времени dt , изменение суток и дней недели, ежесуточное появление заказов на перевозки по всем головным распределительным центрам. В ИЛС MultiTransGlobal (MTG) моделируются ежедневные появления $n - 1$ новых заказов (в каждом из $n = 33$ терминалов в сутки), их перевозки по оптимальным маршрутам через ТТС и другие функции.

Работа блока осуществляется в следующем порядке.

1. Задаются параметры ТТС, характеризующие используемые виды транспорта: количество ГДЦ n , количество терминалов подхода авиационных n_{av} , железнодорожных n_{RS} , морских n_{SP} и их общее количество $n_{\Sigma} = n + n_{av} + n_{RS} + n_{SP}$. По этим данным формируется массив, элементы $ModTr [i]$

которого описывают принадлежность терминала к тому или иному виду транспорта.

Если предварительно в программе проводились расчеты маршрутов или грузопотоков, то эти данные автоматически переносятся в блок имитационного моделирования.

2. Рассчитываются оптимальные маршруты, связывающие каждый из ГДЦ с другими ГДЦ по критериям минимума тарифа или времени доставки. Эти маршруты формируют базу данных о маршрутах (БДМ) — матрицу (4.7). Маршруты записываются в массив RoutTarif. Общее количество маршрутов $n(n - 1) = 33 \cdot 32 = 1056$. Критерий задается присвоением переменной Kriter соответствующих значений.

3. Запускаются процедуры DepartureOrder и ArrivalOrder, устанавливающие порядок отправления и прибытия рейсов расписания внутри суток. Результатами работы этих процедур являются массивы DepOrd и ArrivOrd, содержащие коды рейсов расписания в порядке их соответственно отправления и прибытия.

4. Присваиваются начальные значения временным параметрам имитационной модели: T — текущее время (мин); $dt = 1$ мин — шаг дискретизации по времени; T_{mod} — время моделирования (мин); chimsut — текущее количество суток на момент моделирования T ; chimWDa , chimmin — текущий день недели и количество минут внутри суток на момент моделирования T .

Эти значения последовательно изменяются программой в процессе моделирования.

5. Запускается процедура ShipmentSimulator, моделирующая и запоминающая основные параметры отправок. Текущие значения этих параметров записываются в массив DataShipm. Его элементы означают следующее:

- StrData — номер строки записи данных об отправке;
- DataShipm [StrData, 0] := CodShipm — код отправки;
- DataShipm [StrData, 1] := i — код терминала, на котором груз находится в текущий момент T , в начальный момент здесь записывается код первоначального терминала отправления, принявшего груз к перевозке;

- `DataShipm [StrData, 2]:= 0` — параметр состояния, его нулевое значение указывает на то, что отправка находится на терминале в ожидании отправления, в противном случае эта переменная означает код рейса, на борту которого находится отправка;

- `DataShipm [StrData, 3]:= round (Xinp [i, j])` — количество отправляемого груза из i -го терминала в j -й;

- `DataShipm [StrData, 4]:= T` — момент (мин) принятия груза к перевозке;

- `DataShipm [StrData, 5]:= int` — код маршрута из базы данных БДМ, по которому отправка должна перевозиться; строка массива `RoutTarif [int, i]` содержит полную запись маршрута как последовательность кодов терминалов, через которые следует отправка.

Заполнение массива новыми данными об отправлениях осуществляется каждые сутки в момент `Timsh = 720` мин (или в текущий момент приема заказа, когда запускается форма ввода данных о маршрутах).

Весь период ввода данных о новых отправлениях далее в примерах установлен 30 суток. Общее количество отправлений, сгенерированных в ИЛС за это время, составляет $(33 \cdot 32 = 1056)30 = 31\ 680$.

6. Происходит запуск рейсов на отправление согласно порядку, устанавливаемому массивом `DepOrd`. При этом используется логика, контролирующая день суток отправления в соответствии с заявленным типом расписания данного рейса. В тот момент, когда наступил момент отправления (межтерминального) рейса с кодом расписания `J:= DepOrd [LDep]`, происходит новая запись параметров рейса в базу данных «Рейс в пути». Эта база данных содержится в массиве `DataRejVPuti`. Элементы массива (новая строка записи) означают следующее:

- `ChRejVPuti` — номер строки записи формируемого в момент отправления рейса;

- `DataRejVPuti [ChRejVPuti, 0] := CodRejs` — код (порядковый номер рейса в общем списке моделируемых рейсов) нового отправляемого на текущий момент рейса;

- `DataRejVPuti [ChRejVPuti, 1] := j` — код рейса в базе расписания;

• $\text{DataRejVPuti} [\text{ChRejVPuti}, 2] := T$ — момент отправления.

Параметр ChRejVPuti означает также текущую размерность массива DataRejVPuti , общее количество рейсов, находящихся в пути в текущий момент.

После записи параметров рейса происходит поиск отправок, загружаемых в этот рейс, и формируется *грузовой манифест* рейса. Для этого просматривается база данных текущих отправок DataShipm . По переменной $\text{DataShipm} [\text{StrData}, 1]$ проверяется соответствие нужному терминалу отправления, а по условию $\text{DataShipm} [\text{StrData}, 2] = 0$, означающему, что отправка ожидает отправление, происходит выбор нужной отправки. В ее параметр состояния записывается код отправляемого рейса: $\text{DataShipm} [1, 2] := \text{CodRejs}$.

7. Происходит просмотр прибытия рейсов согласно порядку, устанавливаемому массивом ArrivOrd . При этом используется логика, контролирующая правильность фиксации прибытия рейса с кодом CodRejs . В тот момент, когда наступил момент прибытия межтерминального рейса с кодом расписания $J := \text{ArrivOrd} [\text{LDep}]$, определяется его код CodRejs в базе данных рейсов, находящихся в пути следования. Для этого просматриваются строки массива DataRejVPuti . Номер l нужной строки определяется условиями:

$$\text{DataRejVPuti} [l, 1] = j;$$

$$(T - \text{DataRejVPuti} [l, 2]) = \text{ScheDat} [j, 5].$$

Код CodRejs определяется равенством

$$\text{CodRejs} = \text{DataRejVPuti} [l, 0].$$

Запускается процедура ArrivalProcessing обработки прибывшего рейса. Эта процедура формирует два массива:

- массив ArrivaList , который содержит список кодов отправок, прибывших на терминал прибытия заданным рейсом;
- массив DestinationList , который содержит список кодов отправок, доставленных на терминал заданным рейсом как на конечный терминал доставки (согласно выбранному маршруту).

Оба списка оформляются *нотисами* — извещениями о прибытии рейса и грузов и их доставке на конечный тер-

минал по маршруту следования отправки. Одновременно ведется учет тоннажа и общего количества доставленных отправок.

Строка записи с данными рейса по окончании всех операций стирается в массиве DataRejVPuti. Данные о рейсе могут быть сохранены для последующего анализа в специальном массиве — архиве.

В процедуре ArrivalProcessing формируется отдельное сообщение о доставке последней отправки, принятой в первый день. Эти данные характеризуют *время переходного процесса* $T_{\text{пер}}$, в течение которого происходит полное заполнение ТТС грузами. Кроме того, выдается сообщение о доставке последней принятой отправки по окончании работы (в примере 1 на 33-й день) процедуры генерации грузов ShipmentSimulator. В примере 1 генерация отправок осуществляется ежесуточно, с 1-х по 33-и сутки.

8. Моделирование прекращается по условию $T = T_{\text{mod}} = 70 \cdot 1440$ мин, т. е. по истечении 70 суток.

Пример. Моделировалась четырехмодальная сеть, начало моделирования — понедельник, 00 ч 00 мин. Использовалась предварительно рассчитанная база маршрутов, оптимальных по тарифам. Время работы программы — 20 с. Нотис Arrival notice, контролирующий перевозку отправки с заданным номером № 1201, имеет вид:

«Отправка № 1201 прибыла на терминал № 4 межтерминальным рейсом № 46 (код расписания) на 2-й день (с момента начала моделирования), во вторник в 19 ч 30 мин. Отправка следует по маршруту с кодом CodRouteDataBase = 549: Ростов-на-Дону → Волгоград → Саратов → Москва (Северная) → Казань → Екатеринбург → Омск».

Аналогичный вид имеет нотис о доставке данной отправки в конечный пункт назначения на 10-е сутки. Нотис доставки последней отправки, сгенерированной в 1-й день, извещает о ее доставке на 33-й день. Эта отправка перевозится по самому продолжительному трехмодальному маршруту, насчитывающему шесть пунктов перевалки. Перевозки по такому маршруту осуществляются с использованием автомобильного, железнодорожного и морского видов транспорта.

Заявка на перевозку

<p>Грузоотправитель</p> <p>Наименование компании: <input type="text" value="ООО 'СтройТрест'"/></p> <p>ИНН компании: <input type="text" value="780746853194"/></p> <p>Адрес компании: <input type="text" value="г. Санкт-Петербург, пр. московский, д. 78"/></p>	<p>Грузополучатель</p> <p>Наименование компании: <input type="text" value="ОАО 'Урал-Камень'"/></p> <p>ИНН компании: <input type="text" value="465789322678"/></p> <p>Адрес компании: <input type="text" value="г. Пермь, ул. Ленина, д. 34"/></p>
--	--

Характеристики груза		
Наименование груза: <input type="text" value="Стройтовары"/>		
Количество мест:	Масса груза, кг:	Объем груза, м3:
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="58"/>	<input type="text" value="0.7"/>

Маршрут движения груза	
Выбор маршрута:	<input type="button" value="Добавить маршрут"/>
Пункт отправления:	Пункт назначения:
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Маршрут движения: <input type="text"/>	

Моделирование

Выход

Рис. 5. 14. Форма клиентской заявки ИЛС с возможностями выбора маршрутов доставки из семейства L -кратчайших маршрутов, оптимальных по различным критериям

Время переходного процесса $T_{\text{пер}}$, в течение которого происходит полное заполнение ТТС грузами, равно 33 дня.

В том случае, если для перевозки используются маршруты, оптимальные по времени доставки, время переходного процесса (т. е. наиболее продолжительного маршрута) сократилось с 33 до 8 суток. На момент окончания моделирования $T_{\text{mod}} = 70$ сут было промоделировано 25 340 рейсов.

Моделирование позволяет определять грузопотоки в ТТС с учетом суточной неравномерности отправления и прибытия и частоты отправок на используемых маршрутах.

Интерфейс выбора маршрута. В программе MultiTrans Global разработан интерфейс, позволяющий просматривать и отбирать семейство маршрутов в соответствии с требованиями клиента по тарифам и времени доставки. В форме клиентской заявки на перевозку (рис. 5.14) предусмотрена кнопка выбора маршрута «Добавить маршрут». Кнопка адресует программу к вводу исходных данных (см. рис. 5.3) по маршруту. После запуска полученные результаты расчета представляются в табличной форме (см. рис. 5.4 и 5.6). Происходят отбор и отбраковка маршрутов. Эти операции могут выполняться неограниченное количество раз. В результате формируется множество (список) альтернатив маршрутов. Этот список может упорядочиваться по тарифу или по времени доставки.

После окончательного выбора маршрута доставки клиентский заказ может быть передан в программе в блок имитационного моделирования. В блоке происходит имитационное моделирование процесса транспортировки заказа по всей транспортно-терминальной сети грузового оператора. По ходу моделирования перевозочного процесса выдаются нотисы прибытия и отправления клиентского заказа на каждом промежуточном терминале отправления.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ НА ТЕРМИНАЛАХ ТРАНСПОРТНО-ТЕРМИНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ

6.1. НАЧАЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ПРИЕМКА ЗАКАЗОВ НА ПЕРЕВОЗКУ, ДОСТАВКА НА ТЕРМИНАЛ ОТПРАВЛЕНИЯ

Терминалы представляют собой сортирующие дистрибуционные центры с площадками для временного хранения грузов, где грузопоток сортируется по направлениям перевозки (терминалам сети). Направления сортировки определяются согласно структуре транспортно-терминальной сети, маршрутам, представленным на ТТС исходящими дугами.

Терминал (головной) имеет отдел сортировки, отдел обслуживания клиентов, транспортный отдел с курьерской службой и службами междугородных автомобильных, железнодорожных, авиационных перевозок, морских или речных перевозок, информационно-управляющую систему, обеспечивающую внутрительминальные и межтерминальные операции (рис. 6.1). Начальные и конечные операции по завозу и вывозу грузов выполняются курьерской службой терминала. Для доставки могут использоваться субконтракторы — транспортные или транспортно-экспедиционные компании (ТЭК).

Передача грузов компании на любые виды транспорта может быть вынесена вне головных терминалов и передана терминалам подхода. Головной терминал вместе с терминалами подхода формирует региональный мультимодальный транспортно-логистический кластер. Схема кластера представлена на рис. 2.8. Транспортные связи между головными терминалами (а также внутри региона по линии головной терминал — терминал подхода) осуществляются регулярными автомобильными рейсами по расписанию, выполняемыми часто в ночное время (linehaulage). Перевозки по авиационным, железнодорожным и морским маршрутам

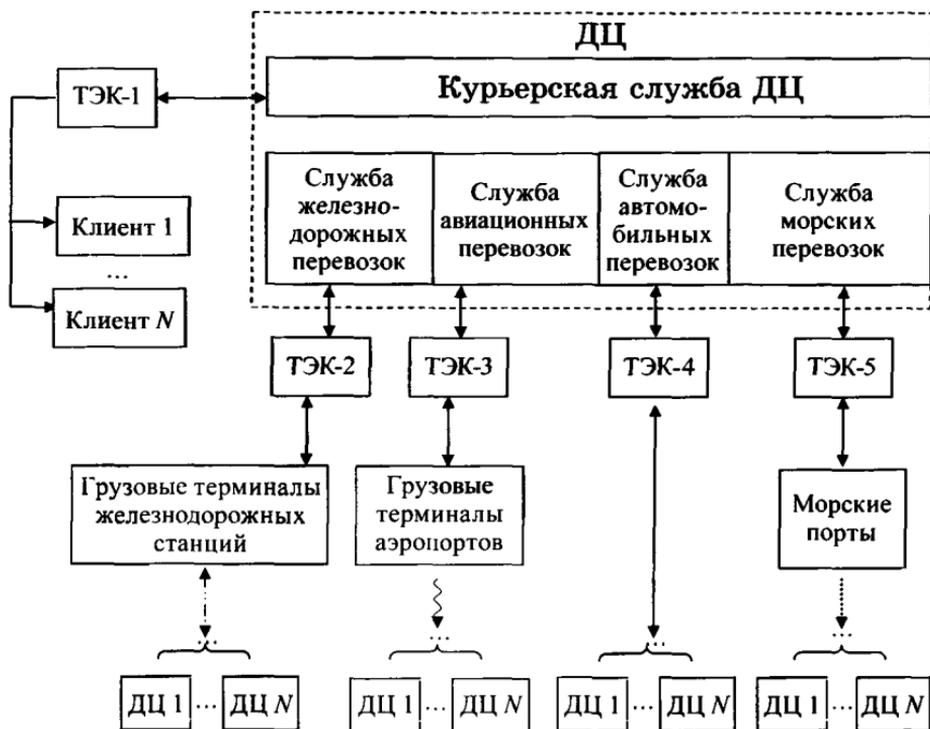


Рис. 6.1. Транспортные связи грузовых терминалов мультимодальных операторов:

— — автоперевозка; ~ — авиaperевозка; - - — — железнодорожная перевозка; — морская перевозка

выполняются через терминалы подхода к одноименным видам транспорта.

Кодирование элементов логистической системы. В целях автоматизации, учета, контроля и управления в логистических системах (ЛС) вводится кодирование элементов материального потока, грузов и их состояний, транспортных средств, участников ЛС, технологических операций, видов обслуживания и т. д. Рассмотрим примеры кодирования технологических элементов транспортной компании.

Дистрибьюционные центры — узлы транспортной сети — кодируются их порядковыми номерами — двухразрядным десятичным кодом $X = (x_1, x_2)$. Заказчики перевозок — клиенты в клиентской базе данных — кодируются семирязрядным десятичным кодом $X = (x_1, x_2, \dots, x_7)$, первые два разряда означают код терминала, работающего с клиентом,

остальные разряды — порядковый номер. Индивидуальный код присваивается клиенту в момент подписания договора или в момент принятия первого заказа.

Индивидуальный код заказа содержит девять десятичных разрядов: $X = (x_1, x_2, \dots, x_9)$. Первые четыре разряда означают соответственно месяц (разряды x_1, x_2) и дату (разряды x_3, x_4) принятия заказа (или даты забора груза), разряды $x_5 - x_7$ — порядковый номер заказа (на дату приема), разряды x_8, x_9 — код терминала, принявшего заказ. Последние два разряда имеют также трехсимвольное буквенное представление. Код заказа присваивается каждой отправке.

Индивидуальный код места (посылки) в отправке содержит ее порядковый номер (семизначный) и двухразрядный код терминала отправления. Код транспортного пакета содержит номера терминала затарки, его порядковый номер и номер терминала растарки.

Используемый парк транспортных средств кодируется шестиразрядным десятичным кодом, первые два разряда означают код марки грузовика (по которому определяется грузопместимость грузовика), третий и четвертый разряды — его принадлежность (собственный автопарк компании или арендуемый у внешнего перевозчика), последние два разряда — порядковый номер грузовика.

Каждому рейсу присваивается девятиразрядный код, в котором первые четыре разряда означают дату и месяц отправления, следующие четыре разряда — коды терминалов отправления и назначения, а последний, девятый, разряд — порядковый номер рейса.

Параметры состояния заказов. Информационно-управляющая система должна отслеживать все фазы состояния заказа и контролировать перемещение отправки в пути следования. Эта информация необходима службам компании и ее клиентам. Поэтому выделяются состояния заказа и каждому состоянию (статусу) присваивается соответствующий десятичный код.

Перечень кодов и состояний заказов

1 — заказ принят менеджером терминала принятия заказа;

- 2 — заказ передан менеджеру терминала отправления для работы;
- 3 — заказ принят для исполнения диспетчером отдела перевозок терминала;
- 4 — заказ включен в план забора, лист забора;
- 5 — заказ передан водителю;
- 6 — заказ возвращен на доработку;
- 7 — заказ отменен;
- 8 — заказ доставлен и зарегистрирован на терминале;
- 9 — заказ отправлен в сектор зоны отправления;
- 10 — заказ затарен в пакет;
- 11 — заказ погружен на рейс;
- 12 — заказ задержан на терминале №;
- 13 — заказ прибыл на терминал №;
- 14 — заказ включен в план развозки;
- 15 — заказ доставлен клиенту;
- 16 — клиенту отослано извещение о доставке.

Приемка заказа от клиента. *Заказчиком* является лицо, заказавшее и оплачивающее перевозку. *Заказчик* определяет *отправителя* — лицо, передающее груз водителю, и *получателя* — лицо, которому перевозчик обязан доставить груз. Адрес отправителя является адресом *места забора груза*, а адрес получателя — адресом *места доставки* (передачи груза получателю). *Заказчик* обеспечивает компании-перевозчику доступ к грузу, гарантирует наличие груза у отправителя, соответствие фактических данных груза заявленным им при подаче заявки, обязанность получателя принять груз, а также выполнение им других обязательств, изложенных в *генеральных условиях перевозки*. Генеральные условия публикуются перевозчиками на своих сайтах и обычно приводятся на обратной стороне его накладной. Подписывая договор с компанией, клиент тем самым принимает генеральные условия.

Заявка — устное или письменное обращение клиента, в котором изложены все данные о предполагаемой перевозке. Письменная заявка подается в принятой форме. *Заказ* — оформленная надлежащим образом в соответствии с требованиями компании заявка. Форма заказа имеется на

сайте компании, она передается клиенту при заключении с ним договора. Заказ может быть передан по электронной почте, факсу, телефону или лично клиентом. Заказ принимает и оформляет клиентский отдел терминала приема заказа. Если терминал приема заказа не совпадает с терминалом отправления, то заказ передают по сети клиентскому отделу терминала отправления, расположенного в городе забора заказа.

Форма заказа содержит реквизиты заказчика, отправителя, получателя, данные о грузе (количество мест, общие объем и масса, максимальные габаритные размеры места). Как обязательный реквизит многие компании используют почтовый индекс местного отделения связи (и для отправителя, и для получателя). При приеме заказа определяют стоимость перевозки, дата забора груза у отправителя и ожидаемое время доставки получателю, вид обслуживания. Принятый заказ кодируют (статус 1, см. перечень кодов и состояний) и передают на терминал отправления.

Планирование и технология доставки на терминал отправления. Заказ принимается клиентским отделом терминала отправления и передается из клиентского отдела диспетчеру терминала, ему присваиваются статусы 2 и 3 (см. перечень кодов и состояний). Диспетчер группирует полученные заказы по датам забора. Для каждой группы заказов на определенную дату составляется свой (сводный) *лист забора*, состоящий из *рейсовых листов забора*. Диспетчер, составляющий рейсовый лист забора, распределяет заказы по рейсам и водителям, их выполняющим, определяет порядок объезда отправителей.

Составление диспетчером листа забора — это планирование завоза грузов. Методы решения этой задачи рассмотрены в главе 7. В ряде фирм используются *эвристические методы*. Диспетчер составляет рейсовый лист забора по карте региона обслуживания своего терминала, группируя в один рейс грузы отправителей, расположенных близко. Весь регион обслуживания разбит на определенные зоны. Каждая зона имеет шестизначный почтовый индекс отделения связи. За каждым водителем закреплен список почтовых индексов, которые он обслуживает. Заказ включается

в рейсовый лист забора водителя, обслуживающего регион отправителя.

Заказ, находящийся в работе, может быть в случае возникновения вопросов по нему возвращен в клиентский отдел (диспетчером) или даже снят с исполнения. С этой целью введены статусы 6 и 7 (см. перечень кодов и состояний).

По каждому рейсу диспетчер подготавливает и передает водителю комплект сопроводительных документов:

- рейсовый лист забора;
- четыре экземпляра накладных по каждому заказу, включенному в рейс;
- доверенность на получение груза;
- комплект наклеек — *транспортных ярлыков* — и (или) рулон наклеек с кодами (номерами) посылок.

Транспортные ярлыки, представляющие собой транспортную маркировку груза, наклеиваются водителем на каждое место отправки. Они содержат реквизиты отправителя и получателя, штриховые коды заказа, клиента, почтовых индексов отправителя и получателя, посылки. Водитель может иметь с собой весы, кассовый аппарат для принятия оплаты, переносное устройство сбора данных (ручной сканер) для считывания и записи штриховых кодов посылок.

После составления сводного и рейсовых листов забора происходит бронирование загрузки регулярных межтерминальных рейсов. Бронирование в данный момент осуществляется не по фактическому тоннажу отправки, а по данным заказов. При бронировании заказы из сводного листа забора группируются по направлениям перевозки (терминалам назначения). Это делается в целях подготовки загрузки вечерних рейсов. Можно выделить два вида бронирования: последовательное и сквозное.

Сквозное бронирование происходит сразу по всему маршруту доставки. Компьютер осуществляет прокладку для каждого заказа *маршрута доставки*, представляющего собой запись всех терминалов:

$$TO \rightarrow T_1 \rightarrow T_2 \dots \rightarrow T_n \rightarrow TH$$

[от терминала отправления (ТО) до терминала назначения (ТН)], через которые будет осуществляться перевалка дан-

ной отправки. Для каждого промежуточного терминала по расписанию отправки доставочных (межтерминальных) рейсов рассчитывают дату и время прибытия на терминал, дату и время отправления. В главе 5 приведены примеры подобных расчетов в информационно-логистической системе MultiTransGlobal. По дате и времени отправления определяется рейс, происходит запись отправки в его «План загрузки». Запись должна содержать также статус отправки, с тем чтобы отличать фактически прибывший груз от груза, находящегося в пути следования, возможно еще не отправленного или задержанного с отправкой на предыдущих участках маршрута.

При *последовательном бронировании* данный заказ включается лишь на текущий отправляющийся рейс. Бронирование на последующие рейсы происходит по отправлению или прибытию предыдущего рейса на соответствующий терминал в соответствии с маршрутом перевозки заказа.

Важным элементом технологии является момент бронирования. Оно может осуществляться в момент получения диспетчером заказа от своего клиентского отдела, составления диспетчером сводного листа забора, приема и регистрации на терминале груза, доставленного от отправителя. Момент бронирования выбирают максимально ранним, чтобы у менеджеров, контролирующих загрузку межтерминальных рейсов в терминалах по пути следования отправки, были более полные данные для планирования. Однако при этом нарастает неопределенность в связи с возможными задержками на терминалах. Статус бронирования, оперативно отражающий текущие фактические данные о нахождении отправки, снимает эту неопределенность.

Водитель у отправителя принимает груз по количеству, осматривает и взвешивает посылки, на каждое место наклеивает транспортный ярлык и (или) наклейку (из выданного при отправлении рулона) с индивидуальным цифровым и штриховым кодом. Количество мест, их номера и массу записывают в накладные. Сканер считывает код заказа (с накладной) и коды посылок, запоминает их данные. По возвращении на терминал эти данные будут переданы в *пункт регистрации* терминала. Водитель заполняет графы наклад-

ной, подписывает сам и у отправителя четыре экземпляра накладной. Первый экземпляр передается отправителю, второй экземпляр приклеивают к листу забора. Этот экземпляр будет передан по возвращении диспетчеру и храниться далее на терминале отправления. Третий экземпляр предназначается для терминала назначения, четвертый — для получателя. Оба экземпляра вкладывают в конверт, который приклеивают к одной из посылок (наибольшей по габаритным размерам). Они будут сопровождать отправку в пути следования. Сопроводительные документы отправителя вкладывают в одно из мест или оформляют как отдельную посылку. Приемка заканчивается загрузкой отправки в автомобиль курьера.

Забор груза у отправителя может по разным причинам и не состояться:

- из-за отсутствия контактного лица;
- задержки предоставления груза;
- претензий водителя к качеству упаковки;
- существенных несоответствий фактических данных о характере, габаритных размерах и массе груза заявленным заказчиком.

Во всех случаях водитель должен связаться с диспетчером, который и принимает решение об исключении заказа из плана (листа) забора. Диспетчер через клиентский отдел должен связаться с заказчиком, информировать его и согласовать с ним дальнейшие действия. В состоянии заказа происходят изменения «Заказ возвращен на доработку», «Заказ отменен».

6.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ НА ТЕРМИНАЛАХ ОТПРАВЛЕНИЯ, ТРАНЗИТА И НАЗНАЧЕНИЯ

Схема основных технологических зон на терминале приведена на рис. 6.2. Доставленный согласно листу забора груз водитель выгружает и передает на пункт приема и регистрации, расположенный в зоне приемки (ЗПр) терминала. В зоне приемки выделены различные части, предназначенные для регистрации грузов местных отправителей (согласно листу забора ЗПрО) и прибывающих грузов (ЗПрТ₁, ..., ЗПрТ_n), доставленных междугородными рейсами из терминалов (Т₁, ..., Т_n) сети компании.

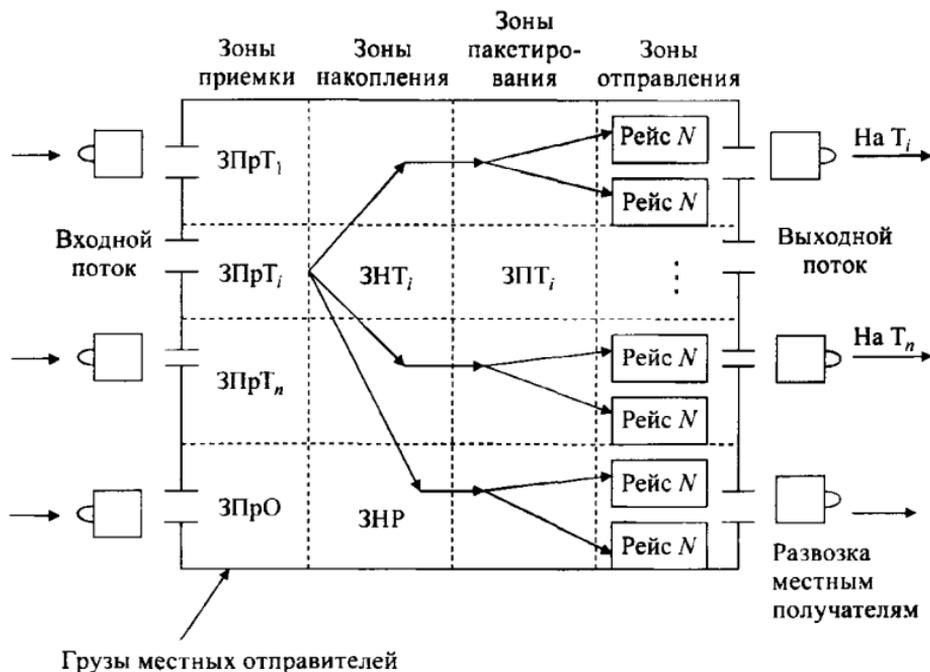


Рис. 6.2. Схемы грузопотоков и структура технологических зон терминала транспортной компании

Прием и регистрация грузов. В пункте приема и регистрации (ЗПрО) осуществляются приемные операции, аналогичные тем, которые выполнял водитель у отправителя. Посылки пересчитывают (позаказно), считывают их штриховые коды, обмеряют и взвешивают, заносят все данные через компьютерный терминал в информационную систему. Водитель через переносное устройство вводит в терминал свои данные об отправлениях, они сравниваются с результатами приемки, которые считаются фактическими данными об отправке. После приемки служащий терминала подписывает лист забора, груз считается принятым у водителя. Заказу присваивается статус «Доставлен на терминал отправления».

Сортировка и подсортировка грузов. После приемки заказа груз сортируют по направлениям дальнейшей перевозки. На рис. 6.2 указаны зоны отправления терминала, в которых выделены отдельные зоны для доставки грузов местным получателям (согласно листу развоза) и отправки

на следующий терминал. Каждая из этих зон состоит из площадок комплектации, на которых накапливается загрузка определенного рейса.

При межтерминальных перевозках перед размещением груза на площадках комплектации его пакетируют на стандартном поддоне. С этой целью на терминале выделены зоны пакетирования ($ЗПТ_1, \dots, ЗПТ_n$) по различным направлениям. Каждая из этих зон имеет зоны накопления ($ЗНТ_1, \dots, ЗНТ_n$). Зона отправки местных получателей (развоза) имеет также свою зону накопления (ЗНР).

Обработка определенного заказа на терминале осуществляется по схеме: зона приемки \rightarrow зона накопления (под определенное направление) \rightarrow сектор зоны накопления (по видам обслуживания) \rightarrow зона пакетирования \rightarrow зона комплектации рейса №. После приемки в ЗПрО отправка направляется в определенную зону накопления, тем самым осуществляется сортировка по направлению. Одновременно заказ бронируют на определенный рейс.

Грузы, находящиеся в зонах накопления, должны быть максимально подготовлены к последующим операциям в пути следования. С этой целью происходит дополнительная подсортировка грузопотока, направляемого в каждую из зон накопления. Структура зоны накопления под междугородные рейсы приведена на рис. 6.3. Рейс отправляется из Санкт-Петербургского терминала на московский. В зоне накопления данного рейса выделены сектора для грузов местных (московских) получателей. Внутри этого сектора происходит подсортировка по видам сервиса (времени доставки получателям). Отправки размещаются в предназначенных для них секторах. Выделены отдельные сектора для подсортировки грузов, следующих через московский терминал транзитом (ROV, KRR). Отправки в этих секторах подсортировывают по конечным терминалам назначения, а внутри потока, направляемого на определенный терминал назначения, — по видам сервиса. Цель подсортировки — минимизировать операции по растарке и перетарке транспортных пакетов в промежуточных терминалах.

Сортировка и подсортировка осуществляются вначале виртуально, а потом и физически. Виртуальная сортировка

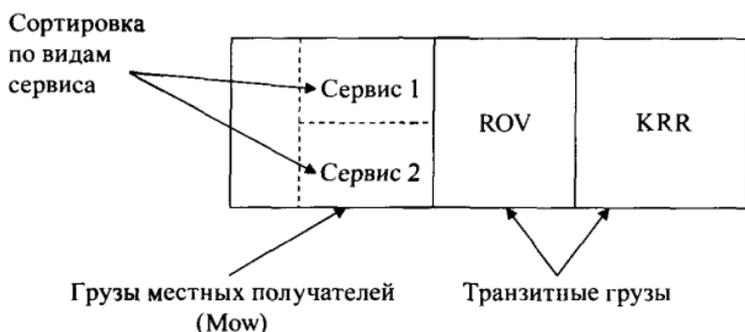


Рис. 6.3. Структура зон накопления грузов на рейс отправления: терминал отправления — Санкт-Петербург, терминал назначения — Москва

заключается в записи параметров отправки в файл «Отправки, накапливаемые в секторе № зоны №». Физическая сортировка заключается в развозке грузчиками по указанным секторам и зонам. Тем самым облегчаются операции по пакетированию грузов.

Пакетирование грузов. Транспортный пакет формируется по секторам зон накопления, тем самым в пакете консолидируются отправки под определенный терминал назначения, где и происходят его растарка и дальнейшая обработка с учетом определенного вида сервиса. Запрещается дробление посылок одной отправки по разным транспортным пакетам. Виртуальное формирование пакета заключается в его кодировании и составлении электронной описи пакета. Краткая опись содержит перечень кодов отправок, формирующих пакет, подробная опись — полный перечень кодов посылок. Распечатку описи (упаковочный лист) вкладывают в конверт, который наклеивают на пакет. Сформированный пакет направляют в выделенную под данный рейс зону комплектации.

Грузы в кузове грузовика (грузовой план рейса) размещают так, чтобы обеспечивались оперативность и удобство грузообработки по прибытии рейса в терминал назначения. В начале разгрузки выгружают грузы местных получателей с учетом видов сервиса. Первыми выгружают и регистрируют грузы с сервисом «Утренняя доставка», далее с сервисом «Дневная доставка» и т. д. По окончании приема грузов

местных получателей выгружают и регистрируют транзитные грузы терминала назначения рейса. Размещение грузов в зоне комплектации подготавливает рациональную загрузку рейса.

Планирование и отправка рейса (linehaulage). Межтерминальные перевозки организуют менеджеры отдела междугородных перевозок, каждый из которых отвечает за свое направление. Изучая на компьютере данные о планируемых перевозках согласно сводному листу забора, о бронировании отправляемых грузов (на текущую дату по его направлению), менеджер оценивает общий ожидаемый тоннаж и объем отправок, определяет количество рейсов, типы грузовиков, необходимость прицепов и делает заказ транспортному отделу. Рейс кодируют и под него выделяют площадку комплектации, где будет сосредоточена загрузка. Под каждый рейс менеджер составляет *грузовой манифест*.

Грузовой манифест содержит полный перечень (кодов) заказов, содержащихся в данном рейсе, с указанием числа мест, общей массы заказа. Большая часть грузов перевозится в пакетированном виде, поэтому сокращенная форма манифеста содержит перечень кодов пакетов и полный перечень заказов, перевозимых россыпью. Приложением к манифесту служит полная опись содержания каждого пакета. Загрузка рейса на терминале отправления, приемка на терминале назначения и контроль загрузки осуществляются по данным манифеста. Манифест готовится в электронном и бумажном виде. *Грузовая партия рейса* — совокупность всех заказов, отправленных данным рейсом.

Контроль и автоматизация погрузки могут осуществляться с помощью специализированного устройства со сканером. В память устройства вводится манифест. Сканер считывает штриховые коды каждой загружаемой единицы (посылки, пакета), сравнивает его с имеющимся списком. Найденный код вычеркивается из памяти. Если код места не найден в списке манифеста, то погрузка не разрешается. По исчерпыванию полного списка выдается сигнал об окончании загрузки, происходит изменение в статусе всех заказов, загруженных согласно манифесту. Аналогичным образом осуществляется приемка на терминале назначения.

После загрузки старший грузчик и водитель пломбируют грузовик, подписывают товарно-транспортные накладные и манифест, номера пломб заносят в накладные. Водитель снабжается копией манифеста в электронном виде.

После отправления рейса менеджер направляет на терминал назначения извещение (нотис) об отправке и электронную копию манифеста. Заказам, не отправленным по каким-либо причинам, присваивают статус «Задержка с отправлением на терминале №», и менеджер (через свой клиентский отдел) извещает клиентский отдел терминала назначения заказа о задержке отправки.

Доставка грузов получателям. Приемка грузов, доставленных из других терминалов сети, осуществляется в зонах приемки прибывающих грузов. Там же их растаривают и контролируют комплектность транспортных пакетов, содержащих заказы местных получателей, путем сверки с содержанием упаковочного листа и грузового манифеста. Зарегистрированные грузы сортируют по видам сервиса и направляют на соответствующие сектора зоны накопления ЗНР.

Данные о поступивших отправлениях заносят в сводный лист развозки, формируемый диспетчером терминала назначения. Диспетчер формирует рейсовые листы развозки, распределяя заказы по рейсам и водителям. Данные бронирования и грузовых манифестов (по рейсам, направляемым на терминал) позволяют диспетчеру осуществить планирование накануне дня развозки.

Планирование развозки аналогично планированию забора груза. Отличие заключается в необходимости указать (в соответствии с видом сервиса) время доставки. С этой целью формируют листы развозки по видам сервиса: «Утренняя доставка», «Дневная доставка» и др.

После отправки и передачи ее получателю накладные с подписью получателя прикладывают к листу развозки, что служит подтверждением доставки. Для сервисов «Доставка с подтверждением», «Доставка с наложенным платежом» диспетчер обязан переслать подтверждение о доставке клиенту и организовать через финансовый отдел перевод клиенту платежа.

6.3. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА ГРУЗОВ В ГРУЗОВЫХ ХАБАХ

Грузовой автоматизированный распределительный центр — хаб — является ключевым сортирующим элементом верхнего уровня транспортно-терминальной сети компании. Грузовые центры подобного рода располагаются на территории или в непосредственной близости от крупных международных аэропортов — авиахабов. В аэропортах-хабах осуществляются стыковка трансконтинентальных авиарейсов и внутриматериковых авиамаршрутов и последующее переключение грузопотоков.

На рис. 2.2 представлен пример европейской воздушной сети компании ООО «ТНТ Уорлдуайд». Ядром этой сети является главный хаб в г. Льеж (Бельгия). Каждую ночь хаб в Льеже принимает около 40 самолетов и 125 грузовиков. Хаб тесно связан с Европейской автодорожной сетью компании TNT Express, которая соединяет сотни городов и дополнена 65 воздушными направлениями, используемыми для дальних или срочных перевозок. Использование хабов вблизи крупных аэропортов (например, брюссельского аэропорта) позволяет грузовым операторам обеспечивать перевозки грузов, доставляемых межконтинентальными авиарейсами, в любые европейские аэропорты в пределах 8-часовой (и менее) доступности.

Компания DHL Express имеет четыре крупных хаба — в Шанхае, Гонконге, Бангкоке и Сингапуре, которые связывают между собой 70 терминалов компании. В Азиатско-Тихоокеанском регионе грузы DHL Express каждый день перевозят около 690 коммерческих рейсов, существенная часть грузопотока формируется через хабы.

Элементы сортирующей системы, их функции. Назначение системы — автоматическая сортировка грузов, прибываемых на грузовой хаб (трансконтинентальными или европейскими авиарейсами, а также грузовым автотранспортом по европейской дорожной сети), в целях их передачи на авиа- и автомобильные рейсы в соответствии с маршрутами транспортировки грузовых отправок.

Грузы доставляются на склад грузовыми авиарейсами и автомобильным транспортом. Схема системы автоматизи-

ческой сортировки приведена на рис. 6.4. Точки входа потока являются приемные терминалы $ПТ_1, \dots, ПТ_n$, где выгружается и принимается грузовая партия прибывшего рейса. Груз прибывает в основном в пакетированном виде, в контейнерах, доставляемых под разгрузку автопоездами [4, 50], и россыпью. В результате сортировки каждая грузовая единица (ГЕ — заказ, грузовое место — посылка или транспортный пакет), которая входит в грузовую партию рейса, прибывшего на сортирующую линию, доставляется в конечную точку — выделенный рейсовый транспортер-накопитель. На рис. 6.4 рейсовые транспортеры-накопители $РТН_1, \dots, РТН_n$ выделены для приема грузов по прямому варианту (с рейса на рейс), а накопители $СРТН_1, \dots, СРТН_n$ накапливают грузы, направляемые на отгрузочные площадки через склад временного хранения (СВХ). В рейсовых транспортерах-накопителях грузовую единицу сни-

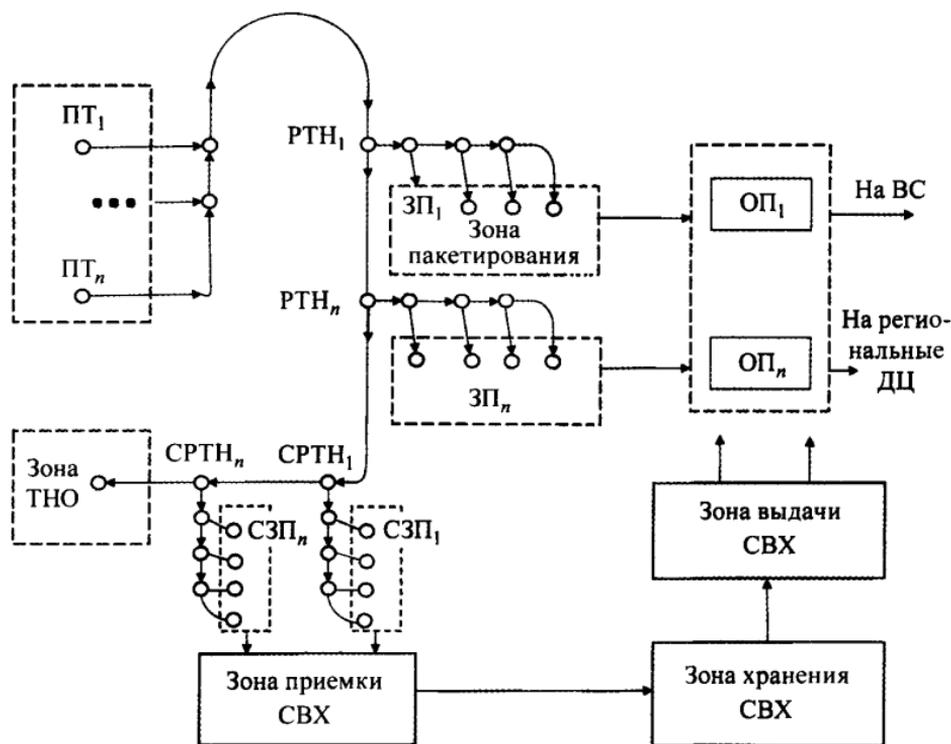


Рис. 6.4. Схема грузопотоков и технологических зон терминала с автоматической сортировкой

мают с доставившей ее конвейерной линии и пакетируют. Далее сформированный пакет направляют под загрузку на определенный отправляющийся авиа- или авторейс, если входящие в него грузы прошли по линии транспортеров $РТН_1, \dots, РТН_n$. Грузы, прошедшие через накопители $СРТН_1, \dots, СРТН_n$, направляют на склад временного хранения. На СВХ пакет хранится до момента начала загрузки предназначенного для нее рейса.

Конечная точка на рис. 6.4 содержит транспортер-накопитель ошибок (ТНО), куда собираются грузы, коды которых не были прочитаны в процессе транспортировки на линиях конвейера.

Операции в зоне прибытия. Приемка партии. В зоне прибытия рейса производятся выгрузка и приемка прибывшей грузовой партии, регистрация рейса, посылок и прокладка маршрута дальнейшего движения каждого грузового места по конвейерной линии. На рейсовых накопителях собираются посылки, прибывающие на терминал разными рейсами из разных точек приема $ПТ_i$, но отправляемые по их маршрутам дальнейшего следования одним и тем же рейсом.

Приемка производится по грузовому манифесту прибывшего рейса, содержащему данные о составе грузов. *Грузовая партия* рейса — совокупность всех заказов, прибывших данным рейсом. Комплектация грузовой партии и содержание грузового манифеста построены по иерархическому принципу — вложенности грузовых единиц нижнего уровня в более высокий уровень. Состав грузовой партии описывается отношениями: грузовая партия → контейнер → → пакет → заказ → посылка.

Детальное описание грузового манифеста содержит полный перечень заказов (кодов), содержащихся в данном рейсе, с указанием числа мест (посылок), их индивидуальных кодов, общего веса заказа. Грузы, доставляемые в контейнерах, содержат опись содержащихся в них пакетов. Описание контейнера в манифесте содержит перечень кодов пакетов и полный перечень заказов, перевозимых россыпью. Приложением к манифесту служит полная опись содержания каждого пакета. Грузовая партия и манифест формируются в терминале отправления. Манифест присылается термина-

лом отправления в электронном виде, а в бумажном — прикладывается к комплекту сопроводительных документов рейса.

В начале приемки в память компьютера вводится грузовой манифест. Посылки, прибываемые россыпью в непакетированном виде, обрабатываются следующим образом. Каждое место — посылка — выгружается на конвейерную ленту. Сканер считывает ее штриховой код и осуществляет поиск считанного кода в записи грузового манифеста. В найденной строке делают отметку о регистрации посылки на сортировочном конвейере как прибывшей единицы груза. Индивидуальный код места (посылки) в отправке, представленный штриховым кодом, содержит ее порядковый номер (семизначный) и код терминала приемки груза.

Далее прокладывается маршрут движения посылки по сортирующей линии. По штриховому коду посылки восстанавливается код заказа, к которому относится посылка. Общая база данных ТТС содержит для каждого заказа маршрут его движения. Маршрут определяет код отправляемого рейса, для которого предназначается данная посылка. Код рейса и соответствующий ему рейсовый транспортер-накопитель являются адресом доставки посылки. Штриховой код посылки направляется в память контроллера, управляющего входом в РТН.

Подсортировка грузов. Грузопоток, направляемый на определенный рейс (например, на Москву), может быть дополнительно подсортирован по направлениям дальнейшего движения. Допустим, нужно отделить посылки, отправляемые авиарейсом на конечный терминал «Москва-Северная», от посылок, направляемых через Москву в другие города (Санкт-Петербург, Новосибирск и Владивосток). С этой целью на выходной ветке конвейерной линии, ведущей к РТН рейса, делаются линии отвода (рис. 6.4), на которые направляются посылки, предназначенные для этих городов. На рисунке первая линия отвода предназначена для сбора грузов московских грузополучателей, контроллеры последующих линий отвода выделяют из общего потока рейса посылки, направляемые соответственно в Санкт-Петербург, Новосибирск и Владивосток. Выделенная под отправляемый

рейс основная линия транспортера, вспомогательные линии подсортировки, а также их контроллеры образуют *рейсовый кластер*. Коды посылок засылаются дополнительно в память контроллеров кластера после просмотра маршрута движения посылки. Пакетирование уже подсортированных грузов в отдельный пакет удобно, поскольку исключает растарку и перетарку пакета на последующих терминалах.

Технология обработки грузов, прибывающих в палетах, несколько отличается. Контроллер считывает штриховой код пакета, сравнивает его с кодом, записанным в грузовой манифест, и делает отметку о регистрации пакета как прибывшего на терминал. Прибывший пакет может быть растарен, тогда все посылки, находящиеся в нем, обрабатываются индивидуально, как прибывшие россыпью. Состав пакета контролируется согласно описи. Если пакет не требует растарки, то он направляется далее как единая грузовая единица на склад или прямо на площадку комплектования рейса. Доставка пакетов может осуществляться вне сортирующей линии автоштабелерами.

Штриховой код транспортного пакета, как отмечалось выше, содержит номера терминала затарки, его порядковый номер и номер терминала его растарки. В этом случае необходимость растарки определяется только по коду пакета. В других случаях для выяснения необходимости растарки компьютер должен «заглянуть» в опись содержания контейнера и просмотреть для каждой составляющей его посылки (заказа) маршрут дальнейшего движения. Если у всех посылок рейс отправления один и тот же, то пакет не растаривают. В противном случае, если хотя бы у двух посылок рейсы отправления различаются, пакет подлежит растарке. Эту операцию можно избежать, если в грузовом манифесте указаны терминалы затарки и растарки пакета.

После приемки оформляют итоговый документ приемки, в котором указывают результаты приемки грузовой партии согласно грузовому манифесту. Отдельно по грузам, прибывшим россыпью и в пакетах, указывают общее число единиц, количество не отраженных в манифесте и количество указанных единиц (и перечень их кодов), но не оказавшихся в наличии в просмотренной грузовой партии. Эти

данные, если такая ситуация возникает, передают в группу розыска.

Управление сортирующей системой. Грузопотоки управляются центральным процессором, объединенным с сетью терминалов в локальную сеть. Терминалами сети являются:

- приемные терминалы входа — начальные входные точки сортирующей линии;
- рейсовые контроллеры в РТН, направляющие грузы на определенный для рейса кластер;
- контроллеры подсортировки, которые формируют грузопоток из грузовых единиц, отсортированных в основных рейсовых контроллерах, для дальнейшей их сортировки;
- контроллеры ошибок, предназначенные для управления сбором грузовых единиц, коды которых не прочитаны контроллерами, управляющими сортировкой груза;
- терминалы зоны пакетирования, где происходит виртуальная и физическая комплектация пакетов для загрузки на рейс отправления и передачи либо под загрузку, либо на СВХ.

Расписание рейсов убытия (например, на сутки вперед) вводится в процессор заранее. Процессор выделяет автоматически два списка:

- список рейсов, на которые в текущий момент производятся загрузка и отправление грузов (список CP_1);
- список рейсов, грузы для которых на текущий момент загружаются через склад временного хранения (список CP_2).

Выходные транспортно-отгрузочные модули. Рейсы списка CP_1 закрепляются за соответствующими рейсовыми транспортерами-накопителями. Тем самым устанавливается соответствие: код отправляемого рейса $x_1 \leftrightarrow$ номер РТН (адрес контроллера). Грузы, направляемые через этот рейсовый транспортер-накопитель, будут далее накапливаться, пакетироваться и отгружаться на рейс напрямую, минуя склад (рис. 6.4). Если маршрут движения ГЕ, отправляемой данным рейсом, проходит далее через другие терминалы ТТС, то их целесообразно подсортировывать и пакетировать отдельно от других грузов в рамках общей загрузки рейса. Для подсортировки грузов по терминалам дальнейшего дви-

жения, как отмечалось выше, на основной выходной ветке рейса вводятся дополнительные боковые транспортеры, управляемые контроллерами подсортировки. Транспортеры выходных веток подают груз на конечные точки — рабочие столы, находящиеся в зонах пакетирования (ЗП). Здесь накапливаются и пакетируются грузовые единицы на поддонах, следующих на один и тот же терминал назначения. Скомплектованные в пакет грузы направляются далее на площадку отгрузки данного рейса, где грузовая партия накапливается и объединяется с грузами, прибывшими ранее и находящимися на складе временного хранения.

Таким образом, за каждым рейсом отправления закрепляется целый *технологический модуль*, состоящий из выходных веток транспортеров (основной и подсортировочных), кластера контроллеров и соответствующих им точек сбора на конечных ветках конвейерной линии, зоны пакетирования, обслуживающих их пакетоформирующих машин и конечной точки модуля — отгрузочной площадки для передачи грузовой партии на борт ВС.

За каждым рейсом списка CP_2 закрепляется аналогичный технологический модуль, содержащий также складской рейсовый транспортер-накопитель (СРТН), кластер контроллеров, складскую зону пакетирования (СЗП) и обслуживающие их пакетоформирующие машины. Этот модуль отличается лишь тем, что отгрузочные площадки заменены зонами приемки грузов на склад временного хранения (рис. 6.4).

Расписание отгрузки и смена рейсов. В суточном расписании фронта отгрузки грузового терминала для каждого отправляемого рейса указывают время начала $T_{н.ком}$ комплектации, окончания комплектации $T_{к.ком}$ и время отправления $T_{отп}$ рейса. В момент $T_{отп}$ сформированная грузовая партия рейса направляется на автомобилях под загрузку на борт воздушного судна. Для доставки на борт ВС [4] используются автомобили с подъемной платформой или автопоезда с контейнерными составами на тележках.

Время $T_{отп}$ рейса, закончившего отгрузку, совпадает со временем $T_{н.ком}$ начала комплектации рейса, отправляемого следующим по расписанию. Происходит обмен кодов

рейсов в списках. Рейс списка CP_1 , закончивший отгрузку, передается в список CP_2 . С этого момента груз, предназначенный на этот рейс, но с другой датой вылета, будет направляться на склад. Его освободившееся место в списке CP_1 передается другому, следующему по расписанию рейсу из списка CP_2 . Теперь прибывающие грузы будут направляться сортирующей линией на прямую отгрузку для данного рейса.

Происходит обмен данными о рейсах между кластерами контроллеров. Код нового рейса из списка CP_2 передается на освободившийся рейсовый контроллер сортировки. Одновременно передаются коды терминалов ТТС на контроллеры подсортировки. Таким образом, кластер нового формирующегося рейса, открытого под загрузку, будет подготовлен к приему поступающих грузов. Все грузы, прибывающие на данный рейс, будут направляться из сортирующей линии на закрепленный за рейсом кластер и далее напрямую не на СВХ, а на отгрузочную площадку рейса.

Параллельно подается команда на процессор СВХ планировать отбор грузовых единиц, находящихся на складе, для передачи на площадку комплектации рейса, открывшегося для отгрузки.

Одновременно очередь из списка CP_2 сдвигается на единицу, а образовавшуюся вакансию занимает следующий рейс из расписания. Освободившееся место из списка CP_2 передается рейсу, на который только что закончился прием грузов на отправление. Теперь грузы, прибывающие на данный рейс, будут направляться на склад СВХ.

Окончание комплектования рейса. Перед окончанием комплектования рейса к моменту $T_{к.ком}$ в системе управления должны пройти ряд команд контроля. Первая команда блокирует поступление новых грузов на завершающий комплектование рейс из только что прибывших и разгружающихся рейсов, которые еще находятся в процедуре приемки. В результате ее выполнения зарегистрированные грузы должны быть доставлены на РТН, а еще не зарегистрированные переадресованы на СВХ. Вторая команда проверяет полноту доставки грузов данного рейса на отгрузочную площадку. Все грузы, прошедшие входные и конечные

выходные терминалы кластера рейса, должны быть доставлены на отгрузочную площадку, а не оставаться, например, в процессе не завершеного к моменту отправления пакетирования. Третья команда проверяет полноту доставки грузов данного рейса со склада СВХ на площадку комплектования рейса.

В момент $T_{к.ком}$ вся грузовая партия отправляемого рейса должна быть собрана на площадке комплектации. Происходят формирование грузового манифеста рейса и погрузка согласно манифесту в грузовик на борт судна. Большая часть грузов перевозится в пакетированном виде, поэтому сокращенная форма манифеста содержит перечень кодов пакетов и полный перечень заказов, перевозимых россыпью. Приложением к манифесту служит полная опись содержания каждого пакета. Загрузка рейса на терминале отправления, приемка на терминале назначения и контроль загрузки осуществляются согласно манифесту. Манифест готовят в электронном и бумажном виде.

Контроль и автоматизация погрузки могут осуществляться с помощью специализированного устройства со сканером. В память устройства вводится манифест. Сканер считывает штриховые коды каждой загружаемой единицы (посылки, пакета), сравнивает их с имеющимся списком. Найденный код вычеркивается из памяти. Если код места не найден в списке манифеста, то погрузка не разрешается. Когда список будет полностью исчерпан, выдается сигнал об окончании загрузки, изменяется статус всех заказов, загруженных согласно манифесту. Аналогичным образом осуществляется приемка на терминале назначения.

После загрузки грузовик пломбируют, подписывают (старший грузчик и водитель) товарно-транспортные накладные и манифест, номера пломб заносят в накладные. Водитель снабжается копией манифеста в электронном виде.

После отправления рейса менеджер направляет на терминал назначения извещение (нотис) об отправке и электронную копию манифеста. Заказам, не отправленным по каким-либо причинам, присваивают статус «Задержка с отправлением на терминале №».

Менеджер извещает терминал назначения заказа о задержке отправки.

Контроль параметров грузового потока на терминале. Процессор содержит ряд баз данных, которые позволяют ему фиксировать в каждый момент времени текущий грузопоток и управлять его движением.

В момент регистрации пополняется база данных «Входной поток груза». Каждая запись содержит следующие параметры:

- штриховой код посылки X_i ;
- код приемного терминала входа (пункт входа на сортирующую линию, выделенный под прибывший рейс);
- код рейса прибытия, доставившего посылку на сортировочную линию;
- код рейсового контроллера, направляющего данную грузовую единицу на определенный для рейса кластер (пункт пропуска на определенный рейс);
- код контроллера подсортировки, направляющего грузовую единицу на конечную точку выхода из сортирующей линии (адрес доставки), где грузовые единицы подсортировывают по дальнейшим терминалам маршрута движения.

Маршрут для данной грузовой единицы прокладывается засылкой ее кода в память соответствующих контроллеров (рейсового и подсортировки). В момент прохождения считывается ее штриховой код. Если код находится в памяти контроллера, то контроллер выдает команду толкателю на пропуск посылки. В результате грузовая единица доставляется в накопитель зоны пакетирования, где укладывается в пакет.

Параметры состояния грузовой единицы. Для контроля за перемещением каждой грузовой единицы вводится параметр ее состояния s . Состояние $s = 0$ соответствует тому, что ГЕ зарегистрировалась на конвейере и находится в процессе транспортировки на сортирующей линии. Состояние $s = 1$ означает, что ГЕ прошла основной рейсовый транспортер-накопитель и вышла на основную рейсовую ветку. Состояние $s = 2$ означает, что грузовая единица доставлена в конечную точку на участок пакетирования. Состояние $s = 3$ означает, что ГЕ погружена россыпью на борт грузового

автомобиля. Состояние $s = 4$ означает, что посылка затарена в грузовой пакет.

Пакетирование грузоединиц. Грузовые единицы, отправляемые далее одним рейсом и подсортированные по конечному терминалу растарки, укладывают в зоне пакетирования в транспортный пакет на поддоне. Физическому формированию пакета предшествует на терминале зоны пакетирования виртуальное. Открывается файл «Электронная опись содержания пакета», являющаяся по своей структуре аналогом грузового манифеста рейса. Вносится реквизит — код формируемого пакета. Как отмечалось, код транспортного пакета содержит номера терминала затарки, его порядковый номер и номер терминала растарки. Штриховой код каждой поступившей в зону пакетирования грузовой единицы перед укладкой считывается и заносится в опись. Одновременно меняется ее параметр состояния $s = 4$.

После формирования пакета его код заносят в электронный «Грузовой манифест рейса №» с датой отправления. Этот документ вызывается в момент начала комплектации рейса, по нему будет собираться загрузка рейса и контролироваться отправление. Для сформированного пакета печатают и наклеивают этикетки со штриховым представлением его кода, кода терминалов затарки и растарки, а также кода рейса отправления, для которого он предназначен. Сформированный пакет далее направляется либо в зону отправления рейса, если комплектование загрузки рейса уже начато, либо на склад временного хранения.

Параметры состояния грузового пакета. Для контроля за дальнейшими перемещениями каждого пакета вводят параметр его состояния s . Состояние $s = 0$ соответствует тому, что пакет сформирован, находится в зоне пакетирования и данные о нем внесены в «Грузовой манифест рейса №». Состояние $s = 1$ означает, что пакет передан на отгрузочную площадку и находится в ожидании погрузки на отправляемый рейс. Состояние $s = 2$ означает, что пакет погружен на борт грузовика для отправки на борт ВС. Состояние $s = 3$ означает, что пакет направлен на площадку приемки СВХ. Состояние $s = 4$ присваивают, если пакет прошел регистрацию на площадке приемки СВХ и находится на раз-

мещении. Состояние $s = 5$ означает, что пакет находится в ячейке СВХ на хранении до момента начала комплектации рейса, для которого он предназначен. Состояние $s = 6$ присваивают пакету, если он находится на отборе для выдачи под загрузку рейса. Состояние $s = 7$ присваивают пакету, когда он поступил в зону выдачи склада и ожидает перемещения на отгрузочную площадку рейса. Состояние $s = 8$ присваивают в момент прибытия из склада на отгрузочную площадку рейса, а $s = 9$ — при отправлении рейса.

Операции на складе временного хранения. Из рейсовых транспортеров накопителей (точнее — кластера сортирующей линии), накапливающих загрузку для рейсов списка CP_2 , грузопоток (в виде пакетированных грузов) направляется на склад временного хранения. В зоне приемки СВХ пакет регистрируется как прибывший для хранения (до момента начала загрузки рейса). В момент регистрации параметру состояния пакета присваивают значение $s = 4$ и формируют лист размещения на поступившую партию пакетов. Запускается программа формирования листа размещения. Эта программа автоматически для каждого пакета поступившей партии находит адрес его размещения — координаты ячейки склада i, j, k (i — номер стеллажа, j — номер ряда, k — номер яруса).

Водитель электроштабелера, получив лист размещения, выгружает согласно его данным пакет в отведенную для него ячейку. Информационная система присваивает параметру s значение $s = 5$, т. е. пакет находится на временном хранении на СВХ.

Более современные технологии автоматизируют перемещение палеты до выделенной ячейки хранения. Вначале палета с помощью специального автоматического транспортировщика перемещается от конвейера до участка склада, обслуживаемого краном-штабелером. Участок склада представляет собой два параллельных ряда стеллажей, в проходе между которыми по однорельсовому пути перемещается кран-штабелер. Штабелер захватывает, транспортирует и погружает палету в отведенную для нее ячейку.

Статусы ячеек хранения. Для контроля состояния зоны хранения СВХ вводятся статусы (или параметры) состояния

ячеек. Статус $s = 0$ означает, что ячейка свободна и может быть использована для размещения ГЕ. Статус $s = 1$ (или ячейка на размещении пакета, код №) присваивается программой автоматического размещения в процессе ее работы, когда программа подобрала ее для размещения пакета. Ячейка находится в этом статусе до момента, пока оператор информационной системы (ИС) СВХ не изменит ее статус на статус хранения. После того как водитель передал исполненный лист размещения оператору ИС СВХ, оператор запускает процедуру проводки листа размещения, статус ячейки изменяется. Статус $s = 2$ с указанием кода размещенного пакета означает, что ячейка занята под хранение пакета с кодом №.

В момент $T_{н.ком}$ начала комплектации, когда по информационной системе терминала проходит команда «Начало комплектования загрузки рейса №», в ИС СВХ поступает команда начать отбор грузов, хранящихся на складе и предназначенных для данного рейса. По этой команде формируется документ «Лист отбора рейса №». Запускается программа автоматического заполнения листа отбора. Эта программа просматривает все ячейки СВХ и отыскивает адреса ячеек, хранящих пакеты для данного рейса. В момент, когда ячейка найдена, изменяется ее статус. Статус «Ячейка занята, $s = 2$ » изменяется на статус «Ячейка на отборе, $s = 3$, код листа отбора». Адреса ячеек и коды пакетов записываются в лист отбора. Одновременно изменяется статус пакета. Пакету присваивают статус $s = 6$, означающий, что он находится на отборе для выдачи под загрузку рейса. Сформированный рейсовый лист отбора передают водителю штабелера. Водитель размещает запланированную в листе отбора партию пакетов в зоне выдачи СВХ. Исполненный лист отбора водитель передает оператору ИС СВХ, который выполняет его проводку. В результате проводки всем ячейкам, указанным в листе отбора, присваивают статус «Ячейка свободна». Также изменяется статус пакета.

В момент, когда пакет помещен в зону выдачи склада, ему присваивают статус $s = 7$. Для водителя штабелера формируют лист перемещения. В соответствии с этим листом вся партия пакетов данного рейса, находящаяся в зоне выдачи СВХ, доставляется на отгрузочную площадку №, где накапливается загрузка рейса.

На ряде складов перемещение палеты из ячейки хранения полностью автоматизировано. Программа отбора адресует кран к определенной ячейке. Процессор, управляющий перемещениями крана-штабелера, перемещает его к заданному адресу. С помощью специального сканера, установленного на кране, сканируется штрихкод, наклеенный на палету. Штабелер захватывает груз и перемещает его на автоматический транспортировщик, который доставляет палету на отгрузочную площадку или в зону выдачи.

Операции на отгрузочной площадке. Укладка пакетов в авиаконтейнеры. Сборка грузовой партии отправляемого рейса и контроль ее комплектности осуществляются согласно грузовому манифесту. Для грузов, отправляемых в контейнерах, открывается файл «Электронная опись содержания контейнера №». Одновременно с укладкой пакетов в контейнер осуществляются считывание их кодов и занесение их в электронную опись. После укладки и погрузки контейнера на транспортное средство (автопоезд) переформатируется файл «Грузовой манифест рейса №». Появляется запись кода контейнера как отдельной грузовой единицы, а погруженные в него пакеты вычеркиваются из списка верхнего уровня как самостоятельные грузовые единицы. Данные о них сохраняются в виде прилагаемой описи.

В момент $T_{отг}$ отправления рейса грузовой манифест пересылают на терминал назначения. По прибытии отправленного рейса его приемка производится согласно сформированному грузовому манифесту. В этот момент, как уже отмечалось, освободившийся рейсовый транспортер-накопитель и контролируемый им кластер сортирующей линии, включая и отгрузочную площадку, передаются на обслуживание следующего рейса (из списка CP_2).

6.4. ЧИСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОПОТОКА НА СОРТИРУЮЩЕЙ ЛИНИИ

Входной фронт обработки. Примем, что сортирующая линия имеет $N_{вх}^{ТР}$ входных транспортеров (входных линий), грузовой поток на которые формируется прибывающими авиарейсами. Максимальное число одновременно обрабаты-

ваемых авиарейсов равно количеству $N_{\text{вх}}^{\text{ТР}}$ входных транспортеров. Каждая входная линия имеет приемный терминал, на котором регистрируются прибывшие на сортирующий центр грузы и необходимые средства механизации, облегчающие растарку укрупненных грузовых единиц и погрузку их на приемную ветку. Примем, что количество грузовых единиц (мест) в каждом рейсе согласно грузовому манифесту $Q_{\text{ман}}$, длина грузовой единицы L (м), производительность толкателя, используемого для сортировки в рейсовых транспортерах накопителях, Π_{T} (ед./мин), скорость транспортировки на магистральной линии конвейера v , м/с. В рассматриваемом примере значения этих параметров следующие: $N_{\text{вх}}^{\text{ТР}} = 10$, $Q_{\text{ман}} = 600$ ед., $\Pi_{\text{T}} = 60$ ед./мин, $v = 1$ м/с, $L + DL = 1$ м (DL — расстояние между ГЕ при их транспортировке на магистральной линии). Пропускная способность магистральной линии удовлетворяет условию

$$\Pi_{\text{маг}} = (L + DL)/v \leq \Pi_{\text{T}} = 60 \text{ ед./мин.}$$

Пропускная способность $\Pi_{\text{вх}}$ и такт поступления грузов на входную линию определяются условиями:

$$\Pi_{\text{вх}} \leq \Pi_{\text{маг}}/N_{\text{вх}}^{\text{ТР}} = 6 \text{ ед./мин; } DT = 1/\Pi_{\text{вх}} = 10 \text{ с.}$$

Время пропуска грузопотока прибывшего рейса через входную ветку

$$T_{\text{p}} = DT Q_{\text{ман}} = 600/6 = 100 \text{ мин} \approx 1,67 \text{ ч.}$$

Примем, что прибывающие рейсы обслуживаются циклически. Циклом будем называть группу рейсов прибытия, обрабатываемых одновременно на входных ветках. Количество рейсов, входящих в цикл, равно количеству задействованных входных транспортеров. Количество циклов $N_{\text{ц}}$ и рейсов $N_{\text{р}}$, обслуживаемых входным фронтом за сутки работы:

$$N_{\text{ц}} = 1440/T_{\text{p}} = 14,4 \text{ цикла;}$$

$$N_{\text{р}} = N_{\text{ц}} N_{\text{вх}}^{\text{ТР}} = 1440 \Pi_{\text{вх}}/Q_{\text{ман}} = 144 \text{ рейса/сут.}$$

Выходной фронт обработки. Примем, что выходной фронт состоит из

$$N_{\text{ВЫХ}}^{\text{ТР}} = N_{\text{ВХ}}^{\text{ТР}} + N_{\text{СВХ}}^{\text{ТР}}$$

линий, из которых $N_{\text{СВХ}}^{\text{ТР}}$ линий работает на СВХ, а количество линий, работающих по прямому варианту, т. е. прямо под загрузку убывающих рейсов, равно количеству $N_{\text{ВХ}}^{\text{ТР}}$ входных линий. При расчетах примем $N_{\text{СВХ}}^{\text{ТР}} = 5$, грузопоток прибывающего рейса в количестве $Q_{\text{ман}}$ единиц поровну распределяется между $N_{\text{ВХ}}^{\text{ТР}}$ выходными ветками.

За время одного цикла, когда на сортирующую линию запущен весь грузопоток от прибывших рейсов, через вход первого РТН пройдет груз в количестве

$$Q_{\text{РТН1}} = Q_{\text{ман}} N_{\text{ВХ}}^{\text{ТР}} = T_{\text{р}} \Pi_{\text{т}} = 6000 \text{ ед.}$$

Через каждый из РТН на выходную ветку поступит поток

$$Q_{\text{ВЫХ}} = Q_{\text{РТН1}} / N_{\text{ВЫХ}}^{\text{ТР}} = 400 \text{ ед.}$$

Этот поток будет поступать с тактом

$$DT_{\text{ВЫХ}} = N_{\text{ВЫХ}}^{\text{ТР}} / \Pi_{\text{т}} = 15/60 = 0,25 \text{ мин,}$$

в 1,5 раза б'ольшим, чем такт поступления грузов из каждой входной ветки. Время прохождения потока выходной ветки, т. е. время обработки рейса на входной линии,

$$Q_{\text{ВЫХ}} DT_{\text{ВЫХ}} = T_{\text{р}} = 100 \text{ мин.}$$

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОК
В ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.
ЗАДАЧИ ЗАВОЗА-ВЫВОЗА ГРУЗОВ НА ТЕРМИНАЛЫ,
ИХ МАРШРУТИЗАЦИЯ**

7.1. ОДНОРЕЙСОВЫЕ МАРШРУТЫ.

ЗАДАЧА О КОММИВОЯЖЕРЕ.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ МАРШРУТОВ

Формулировка задачи. Задача об оптимальном планировании кольцевых маршрутов, называемая также задачей о коммивояжере (traveling salesman problem), формируется следующим образом. Пусть имеются некоторый начальный пункт A_0 и n пунктов посещения A_1, A_2, \dots, A_n . Задана матрица

$$C = (C_{i,j}), i, j = 0, 1, \dots, n \quad (7.1)$$

стоимости перевозок из i -го пункта в j -й. Матрица (7.1) включает как стоимость перевозок из начального пункта A_0 при $i = 0$ в j -й пункт A_j (1-я строка), так и стоимость переезда из i -го пункта в j -й. Требуется найти оптимальный кольцевой маршрут

$$A_0 \rightarrow A_{i_1} \rightarrow A_{i_2} \rightarrow \dots \rightarrow A_{i_n} \rightarrow A_0$$

объезда из начального пункта A_0 всех пунктов назначения (без пропусков и заездов дважды в какой-либо пункт) с возвратом в исходный пункт назначения. Здесь i_1, i_2, \dots, i_n — номера 1-го, 2-го, n -го по порядку объезда пунктов назначения. Стоимость перевозки

$$C_{\Sigma} = C_{0i_1} + C_{i_1i_2} + \dots + C_{i_{n-1}i_n} + C_{i_n 0} \rightarrow \min$$

должна быть минимальной.

В логистических системах подобная задача возникает при завозе и вывозе грузов (мелких отправок — посылок, почто-

вых корреспонденций и т. д.) на логистические центры. На грузовых терминалах операторов мультимодальных перевозок сборных грузов завоз-вывоз грузов поручается курьерской службе. Планирует перевозки диспетчер, получающий исходные данные по заказам от клиентского отдела терминала (см. п. 6.1). Завоз грузов на терминал отправления (пункт A_0) является начальным этапом перевозки «от двери до двери», а развозка отправок из терминала назначения (в рассмотренной постановке — также пункт A_0) «до двери» получателя — конечным этапом.

Постановка задачи о коммивояжере имеет смысл только в случае, когда груз перевозится в одном транспортном средстве (ТС) и выполнено условие грузовместимости

$$G \geq \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (7.2)$$

Здесь G — грузовместимость ТС; Q_1, \dots, Q_n — вес (или объем) груза для i -го пункта посещения. В том случае, когда стоимость перевозки

$$C_{i,j} = C\rho_{j,j}$$

пропорциональна расстоянию $\rho_{i,j}$ между i -м и j -м пунктами посещения, C — стоимость проезда 1 км пути (руб./км), то решением задачи о коммивояжере является кратчайший кольцевой маршрут объезда получателей, имеющий минимальную длину. В этом случае в качестве исходных данных принимается матрица расстояний

$$R = (\rho_{i,j}).$$

Ее элементы могут быть вычислены по координатам (x_i, y_i) пунктов посещения:

$$\rho_{i,j} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}; \quad (7.3a)$$

$$\rho_{i,j} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|. \quad (7.3b)$$

Расстояние $\rho_{i, j}$, вычисляемое по формуле (7.3а), называется евклидовой метрикой, а по формуле (7.3б) — октаэдрической. Более достоверные расчеты получаются, если в качестве расстояний использовать данные картографических систем на основе адресов забора грузов.

При числе получателей $n = 1$ задача имеет единственное решение: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ — маршрут «туда-обратно». Здесь и далее начальный пункт обозначается нулем, а пункт назначения A_i — номером i . При числе получателей $n = 2$ задача имеет два решения:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 0; \quad 0 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 0.$$

Маршрут представляет собой треугольник с вершинами в пунктах A_0, A_1, A_2 , а его стоимость равна периметру треугольника. Оба маршрута могут иметь одинаковую стоимость.

При произвольном числе получателей порядок объезда получателей представляет собой перестановку (i_1, i_2, \dots, i_n) , составленную из n элементов $(1, 2, \dots, n)$. Напомним, перестановкой называется любой набор, составленный из данных n элементов. Перестановки различаются между собой только порядком следования элементов, но не самими элементами. Каждый маршрут объезда представляет собой определенную перестановку. Число маршрутов объезда равно числу перестановок:

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \times \dots \times (n - 1)n.$$

С ростом числа пунктов посещения количество маршрутов быстро увеличивается. Для вычисления количества возможных кольцевых маршрутов может быть использована формула Стирлинга

$$n! \approx \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n. \quad (7.4)$$

Например, $n = 10$ пунктов посещения можно объехать 3 628 800 маршрутами, а количество маршрутов объезда $n = 20$ пунктов посещения приближенно равно $2,4 \cdot 10^{18}$.

Быстрый рост числа маршрутов исключает использование метода перебора для нахождения оптимального маршрута. Оптимальных маршрутов в задаче о коммивояжере (при условии симметричности матрицы стоимости) насчитывается как минимум два — оптимальный маршрут в одном направлении и обратный ему маршрут.

Решение методом динамического программирования (ДП). Метод относится к многошаговым методам принятия оптимальных решений. Процесс нахождения оптимального маршрута разбивается на шаги (рис. 7.1). На первом шаге, начинающемся из нулевого узла, выбирают первый пункт посещения из n возможных пунктов. Предположим, выбрали, как на рис. 7.1, узел $i = 2$. На следующем, втором, шаге выбираем из $n - 1$ оставшихся пунктов следующий узел (на рис. 7.1 узел $i = 4$). Далее выбираем следующий пункт из $n - 2$ оставшихся узлов и т. д.

Пусть мы выбрали на определенном шаге некоторый i -й узел. Все множество пунктов $N = \{1, 2, \dots, n\}$ можно разбить на два. Первое множество состоит из уже выбранных узлов. Эти узлы нами «обязаны» маршрутом. Второе множество, обозначим его S_k , содержит все оставшиеся узлы, которые еще только предстоит объехать. Обозначим k количество узлов в этом множестве. Предстоит найти оптимальный маршрут из узла i в нулевой узел через множество промежуточных узлов S_k вида

$$i \rightarrow S_k = \{i_1, i_2, \dots, i_g = f, \dots, i_k\} \rightarrow 0.$$

На рис. 7.1 узлы, из которых составлено множество S_k , условно обведены штриховой линией, а его элементы $i_1, i_2 \dots$ для большей наглядности обозначены цифрами. Отметим, что на каждом шаге нам приходится решать подобную многократно повторяющуюся задачу. На каждом шаге возникают новый начальный i -й узел и новое множество S_k . После каждого шага множество S_k изменяется. Из него удаляется один элемент, а его размер k уменьшается на единицу. На первом шаге узел $i = 0$, а множество S_k равно исходному множеству $N = \{1, 2, \dots, n\}$. Если будет выбран узел $i = 2$, то этот узел становится начальным для следующего шага,

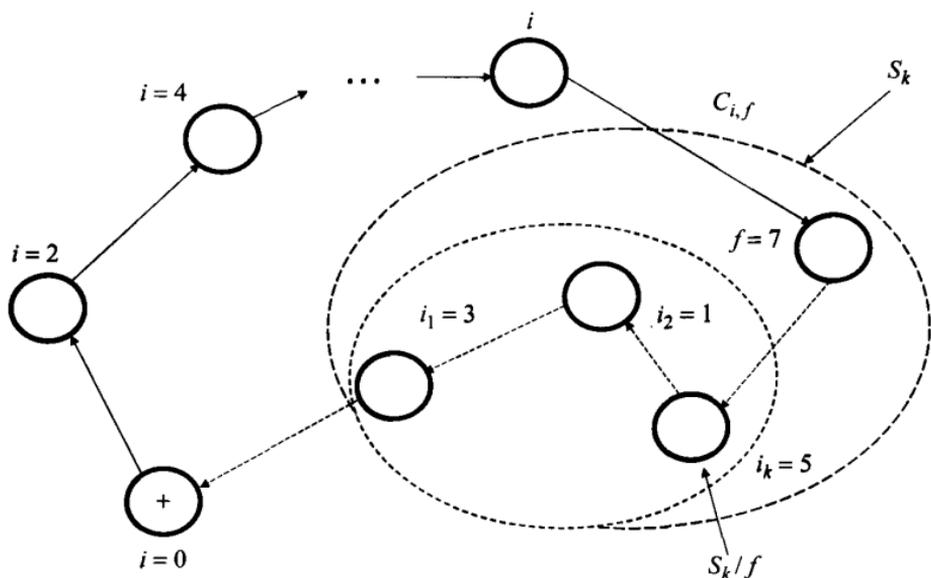


Рис 7.1. Схема прокладки маршрута методом ДП

а множество S_k уменьшается вычеркиванием выбранного узла и т. д. Множество S_k является сочетанием из n элементов множества N по k элементов. Напомним, сочетанием из n элементов по k элементов называется такой набор, содержащий ровно k элементов, который отличается от другого сочетания по крайней мере одним элементом.

Оптимальный маршрут методом ДП находится с помощью так называемой $(k+1)$ -шаговой целевой функции (ЦФ) $F_{k+1}(i, S_k)$. Эта функция определяется как длина кратчайшего маршрута из начального i -го узла в конечный нулевой узел через множество S_k , т. е. как длина оптимального маршрута вида $i \rightarrow S_k \rightarrow 0$. Ее аргументы — начальный узел i и множество S_k , через которое надо проложить маршрут, — называются параметрами состояния. Индекс $k+1$ указывает количество узлов (включая и нулевой узел), через которое осталось проложить маршрут.

Понятие параметра состояния S является базовым не только для динамического программирования, но и для теории управления. Параметр состояния, вообще говоря, многомерный вектор, включает все те физические величины (узлы, остаточную грузопместимость, ресурс времени и др.),

от которых зависит искомый оптимальный маршрут. В данном случае параметр состояния $S = (i, S_k)$ включает два параметра: начальный узел i и остаточное множество S_k узлов, через которое нужно проложить маршрут в нулевой узел. В следующих параграфах по мере усложнения задачи параметр состояния будет включать и другие величины.

Уравнение метода ДП для (шаговых) целевых функций. Значения $(k + 1)$ -шаговой функции находятся с помощью уравнения

$$F_{k+1}(i, S_k) = \min\{C_{i, f} + F_k(f, S_k \setminus f)\}. \quad (7.5)$$

Здесь минимум определяется путем перебора всех узлов $f \in S_k$, принадлежащих множеству S_k , множество $S_k \setminus f$, содержащее $k - 1$ элементов, образовано из множества S_k вычеркиванием узла с номером f . Знак « \setminus », означающий вычеркивание, соответствует разности множеств.

Правило прокладки маршрута по методу ДП. Чтобы найти оптимальный маршрут узла i в нулевой узел через множество S_k , нужно, перебрав все узлы из этого множества, выбрать в качестве следующего пункта посещения тот узел $f_* \in S_k$, при котором достигается минимум в правой части выражения (7.5), т. е. выражение

$$\{C_{i, f} + F_k(f, S_k \setminus f)\} \rightarrow \min \quad (7.6)$$

достигает наименьшего значения.

Алгоритм «ближайшего соседа». Самое простое и наглядное правило заключается в том, что в качестве следующего пункта посещения необходимо выбрать ближайший узел из оставшихся узлов $f \in S_k$. Это означает, что при заданном узле i выбирают тот узел f , при котором достигается минимум выражения

$$\{C_{i, f} + 0\} \rightarrow \min. \quad (7.7)$$

Здесь второе слагаемое выражения (7.6) исключается. Мы его заменили нулем. В простейшем алгоритме (7.7), выбрав ближайший узел, мы пренебрегаем оставшейся частью

маршрута. Такой выбор может привести к потере оптимальности маршрута. В динамическом программировании ключевое значение имеет второе слагаемое $F_k(f, S_k \setminus f)$. Оно трактуется как последствие выбора на данном шаге. Выбрав в качестве следующего (после узла i) узел f и учтя расстояние до него $C_{i, f}$, мы должны учесть длину оставшейся части маршрута вида $f \rightarrow S_k \setminus f \rightarrow 0$. Такого типа продолжений довольно много — их общее число $(k - 1)!$. Слагаемое $F_k(f, S_k \setminus f)$ означает длину наилучшего (после выбора узла f) продолжения маршрута.

Вычислительный алгоритм метода ДП. Для того чтобы найти оптимальный маршрут по формуле (7.5), нужно предварительно вычислить все k -шаговые ЦФ $F_k(f, S_k \setminus f)$. Поэтому алгоритм состоит из двух частей.

1. Отыскание и запоминание всего множества целевых функций от $F_2(i, S_1)$ до $F_{n+1}(0, N)$. Этот процесс называется *прямым ходом*.

В качестве начального условия вычисляют двухшаговые ЦФ (при $k = 1$) по формуле

$$F_2(i, S_1) = C_{i, f} + C_{f, 0}. \quad (7.8)$$

Здесь $F_2(i, S_1)$ — расстояние между узлами i и нулем через один промежуточный узел $S_1 = \{f\}$. Переменные i и f перебирают, вычисляют и запоминают все соответствующие им значения функций $F_2(i, S_1)$. Далее перебирают всевозможные сочетания узлов по два элемента и вычисляют трехшаговые ЦФ, $F_3(i, S_2)$. Затем последовательно формируют сочетание $S_{k+1} = \{i_1, i_2, \dots, i_k, i_{k+1}\}$ по $k + 1$ элементов, запись этого сочетания, его нумерацию $j = S_{k+1}$ и вычисляют для всех $i \notin S_{k+1}$ (не принадлежащих сочетанию S_{k+1}), $i = 1, 2, \dots, n$, целевые функции по формуле (7.5).

Длина оптимального маршрута находится на $(n + 1)$ -м шаге:

$$Z_{\min} = F_{n+1}(0, N) = \min\{C_{0, f} + F_n(f, N \setminus f)\} \quad (7.9)$$

как кратчайшее расстояние из узла $i = 0$ в нулевой узел через множество N .

После отыскания и запоминания значений целевых функций начинается прокладка оптимального маршрута.

2. *Обратный ход* означает пошаговую прокладку оптимального маршрута. Вычисляют значение ЦФ $F_{n+1}(0, S_n)$, означающее стоимость оптимального маршрута. Одновременно находят номер узла f_{\min} , через который проходит оптимальный маршрут $0 \rightarrow f_{\min}$. Далее по порядку с помощью уравнения (7.5) пошагово находят последующие узлы. Формируют множество $S_{n-1} = S_n \setminus f_{\min}$. Вычисляют значение ЦФ $F_n(f_{\min}, S_{n-1})$ и направление дальнейшего движения $f_{\min} \rightarrow f_{\min 1}$ и т. д. Процесс прекращается в момент, когда во множестве S_n остается последний элемент. Этот элемент и будет последним пунктом посещения, после которого должен следовать нулевой элемент.

Характеристика метода ДП. Метод ДП является точным, а не приближенным методом нахождения оптимального маршрута. Найденный маршрут является гарантированно оптимальным. Однако для его реализации требуется огромный объем памяти компьютера. Основная трудность заключается в необходимости предварительного вычисления всевозможных значений шаговых целевых функций $F_{k+1}(i, S_k)$. Для этого, как отмечалось, нужно на первом шаге перебирать всевозможные сочетания узлов. Их общее количество

$$C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^{n-1} = 2^n - 2.$$

Здесь слагаемые содержат соответственно число сочетаний из n элементов по одному, по два и т. д., вплоть до $n - 1$ элемента. Для каждого сочетания, а их для $n = 20$ более миллиона, нужно перебирать все узлы i , не входящие в выбранное сочетание. Поэтому практическое применение метода ДП оказывается затруднительным.

Алгоритм метода L -кратчайших маршрутов. Метод решения. Алгоритм был предложен в работе [27] для планирования развозки разнообразных по тоннажу грузов с использованием автопарка различной грузоподъемности. Этот алгоритм составляет основу программного комплекса Route Master и его модификаций. Дадим его краткое описание.

Оптимальный маршрут отыскивается последовательно по шагам. Для промежуточного k -го шага введем в качестве параметра состояния

$$S = i, i = 1, 2, \dots, n,$$

номер i пункта назначения, из которого начинается движение (на данном шаге). Любой допустимый промежуточный маршрут (отрезок формируемого маршрута на k -м шаге) записывается в форме

$$M_k(S) = i \rightarrow i_{k-1} \rightarrow i_{k-2} \rightarrow \dots \rightarrow i_1 \rightarrow 0, \quad (7.10)$$

где все узлы должны быть различны. Общее число возможных маршрутов равно числу размещений из n элементов по k . Напомним, что размещением из n элементов по k называется такой набор, который содержит ровно k элементов и который отличается от другого набора либо по крайней мере одним элементом, либо порядком следования элементов. Размещение отличается от сочетания учетом порядка следования узлов. Для прокладки маршрутов порядок следования узлов определяет порядок объезда пунктов посещения. Каждое сочетание узлов порождает $k!$ размещений.

Каждому маршруту (7.10) соответствует своя стоимость перевозки (длина маршрута):

$$\varphi[M_k(S)] = C_{i, i_{k-1}} + C_{i_{k-1}, i_{k-2}} + \dots + C_{i_2, i_1} + C_{i_1, 0}. \quad (7.11)$$

Упорядочим маршруты в порядке возрастания целевой функции

$$M_k^1(S), M_k^2(S), \dots, M_k^r(S), \dots, M_k^L(S) \dots$$

Введем k -шаговую целевую функцию (ЦФ) r -го ранга

$$\varphi_k^r(S) = \varphi(M_k^r), \quad r = 1, 2, \dots, L,$$

определив ее как стоимость согласно формуле (7.11) маршрута $M_k^r(S)$ r -го ранга. Ранг маршрута определяет его место

в списке маршрутов, упорядоченных по длине. Значению $r = 1$ соответствуют минимальная стоимость $\varphi_k^1(S)$ и кратчайший маршрут $M_k^1(S)$, значению $r = 2$ — вторая в порядке возрастания стоимость перевозки и второй кратчайший маршрут $M_k^2(S)$ и т. д.

Алгоритм заключается в том, что на каждом шаге происходят упорядочение и запоминание L -кратчайших маршрутов (в порядке возрастания). Остальные маршруты (а точнее, отрезки) отсекаются и не участвуют в формировании оптимального маршрута. Здесь L — параметр алгоритма, определяющий количество сохраняемых маршрутов на каждом шаге или уровень отсечки.

Для иллюстрации рассмотрим пример. Пусть количество пунктов объезда $n = 20$ и при расчете маршрута принято $L = 50$. На первом шаге определяются и запоминаются одношаговые маршруты, состоящие только из одного звена:

$$M_1(S) = M_1(i) = i \rightarrow 0.$$

К каждому узлу подводится только по одному маршруту. Эти маршруты (точнее, одношаговые звенья) используются на втором шаге, где формируются маршруты вида

$$M_2(S) = M_2(i) = i \rightarrow M_1(i_1) = i \rightarrow (i_1 \rightarrow 0),$$

состоящие из двух звеньев. К каждому узлу i приписываются (подводятся) все уже сформированные одношаговые маршруты $M_1(i_1)$. Учитывая различие в узлах, количество двухшаговых маршрутов, подводимых к каждому узлу, $n - 1 = 19$. Это значение меньше принятого уровня $L = 50$. Поэтому все маршруты упорядочиваются по ЦФ и сохраняются. Сформированное множество двухшаговых маршрутов является базой на следующем, третьем, шаге, где каждому двухшаговому маршруту приписывается еще одно звено

$$M_3(S) = M_3(i) = i \rightarrow M_2(i_2) = i \rightarrow (i_2 \rightarrow i_1 \rightarrow 0).$$

На третьем шаге каждому узлу i приписывают $(n - 1) \times (n - 2) = 19 \cdot 18 = 342$ трехзвенных маршрута. Это число

больше, чем принятый уровень отсечки $L = 50$. Отсекаем $342 - 50 = 292$ маршрута. Отсечка происходит по мере формирования списка из $L = 50$ трехшаговых маршрутов. Для каждого нового маршрута определяют его ранг и место в списке. Заняв свое место, он сдвигает уже сформированные маршруты, увеличив их ранг на единицу. Маршруты, ранг которых больше $L = 50$, исключаются из списка и уже не участвуют в формировании дальнейших маршрутов с числом звеньев $k = 4$ и более.

На последующих шагах, поскольку весь список (вся «обойма») заполнен полностью, для формирования маршрутов, подводящих к каждому i -му узлу, просматривают $(n - 1) \times L = 19 \cdot 50$ маршрутов, но оставляют из них $L = 50$ кратчайших маршрутов. В процессе формирования списка маршрутов происходят его переформирование, изменение рангов и отсечка на каждом шаге. На n -м шаге сформированы n -шаговые маршруты, содержащие n различных узлов. На заключительном $(n + 1)$ -шаге отыскивается окончательно маршрут путем подключения к нулю $0 \rightarrow M_n(i)$ маршрутов только первого ранга, подведенных к i -му узлу. Перебором по переменной $i = 1, 2, \dots, n$ отыскивается окончательный маршрут.

Уравнение типа ДП для r -х целевых функций на k -м шаге имеет вид

$$\varphi_k^r(S) = \min_r \{C_{i,f} + \varphi_{k-1}^v(f)\}. \quad (7.12)$$

Члены последовательности, заключенной в фигурных скобках, формируются перебором по переменной $X = (f, v)$, где $f \in \{1, 2, \dots, n\}$ — номер пункта назначения, в который предполагается осуществить движение из заданного узла i , а $v \in \{1, 2, \dots, L\}$ — номер (ранг) v -го кратчайшего маршрута, исходящего из просматриваемого f -го узла. Символ $\min_r \{\dots\}$ здесь и далее означает r -е по рангу значение числовой последовательности, заключенной в фигурные скобки.

При отыскании минимумов в выражении (7.12) принимают во внимание лишь те значения переменных X , при которых выполнено условие

$$i \notin M_{k-1}^v(f). \quad (7.13)$$

Условие (7.13) исключает возможность заезда в узел i во второй раз.

Начальные условия процедуры оптимизации определяются при $k = 1$. Все начальные значения r -х целевых функций $r = 2, 3, \dots, L$ полагаются равными бесконечности, а ЦФ при $r = 1$ вычисляется согласно выражению

$$\varphi_1^r(S) = C_{i,0}, \quad r = 1, \quad (7.14)$$

т. е. определен лишь один из семейства L допустимых промежуточных маршрутов — $M_1^1(S) = i \rightarrow 0$.

Уравнения (7.12)–(7.14) решаются последовательно по переменной $k = 1, 2, \dots, n$. Оптимальный кольцевой маршрут вычисляется на заключительном $(n + 1)$ -м шаге как точка минимума функции

$$\varphi_{n+1}(0) = \min\{C_{0i} + \varphi_n^1(i)\}. \quad (7.15)$$

Выражение (7.15) означает, что первым пунктом при выезде из начального узла выбирается тот узел i_{\min} , на котором общая длина кольцевого маршрута является минимальной.

Алгоритм метода L -кратчайших маршрутов имеет очень существенное отличие от динамического программирования. Параметр состояния метода ДП — множество узлов S_k — заменен множеством кратчайших маршрутов, которое формируется и подводится к каждому узлу в процессе поиска наилучшего маршрута. Количество маршрутов L ограничено, а значит, объем памяти и вычислений существенно меньше. Метод является приближенным и не гарантирует оптимальность маршрута. Возможна потеря оптимального маршрута из-за отсечки на промежуточных шагах отдельных фрагментов. Однако, увеличивая значение параметра L , вероятность потери оптимального маршрута можно свести к минимуму. При $L \rightarrow \infty$ ни один из маршрутов не отсекается, метод становится алгоритмом перебора, оптимальный маршрут будет найден. Максимальные значения параметра L ограничиваются возможностями используемого компьютера.

Следует подчеркнуть, что ранее используемые (в главах 3–5) понятия семейства L -оптимальных по тарифам, расстоянию и времени доставки маршрутов на сети и алгоритмы их вычисления, в отличие от приведенного здесь алгоритма, являются точными. Они гарантируют нахождение оптимального (первого кратчайшего) маршрута, второго кратчайшего и т. д. маршрута. Изложенный здесь алгоритм определяет L -кратчайшие маршруты не среди всевозможных маршрутов, а только среди той части, которая формируется в процессе работы вычислительной процедуры.

Некольцевые маршруты объезда. В рассмотренной выше постановке коммивояжер (или курьер) после объезда всех пунктов посещения должен вернуться в начальный пункт, откуда маршрут и начинался. Маршрут представляет собой замкнутую кривую, или цикл. Его еще можно назвать кольцевым маршрутом объезда. К задаче о коммивояжере относится также отыскание оптимальных неколецевых маршрутов объезда. Эта задача формулируется следующим образом. Пусть имеются некоторый начальный пункт A_0 , n пунктов посещения A_1, A_2, \dots, A_n и конечный пункт назначения A_{n+1} . Требуется найти оптимальный маршрут из начального пункта A_0 в конечный пункт A_{n+1} с объездом (попутным) всех n пунктов посещения.

Содержательно при привязке к местности эта задача отличается от планирования кольцевых маршрутов. Однако метод и алгоритмы решения те же самые. Такие маршруты мы уже находили на предпоследнем шаге в процессе поиска кольцевых маршрутов. В алгоритме поиска использовались оптимальные маршруты из любого i -го узла в конечный (нулевой) с объездом всех других $n - 1$ пунктов. Эта задача та же самая.

Задача о развозке кормов. Однорейсовые маршруты доставки грузов от поставщиков потребителям. Небольшая компания продает небольшие партии грузов (кормов) и доставляет их клиентам своей сети обслуживания в пределах региона. Особенность технологии — отсутствие собственного склада отгрузки, где накапливаются обычно товарные запасы для будущих продаж. Получив заказы клиентов, ком-

пания посылает грузовик сначала поставщикам, покупает у них товар по минимальным ценам в объемах полученных суточных заказов, а далее развозит закупленные товары клиентам. Требуется найти оптимальный маршрут объезда, связывающий поставщиков и клиентов, при условии, что объемы перевозимых товаров небольшие, а для их размещения достаточно имеющегося грузовика. Особенность задачи заключается в дополнительном ограничении на порядок объезда пунктов посещения. Для того чтобы доставить заказ каждому включенному в план клиенту, нужно предварительно объехать всех его поставщиков и забрать предназначенные для него товары.

Решение сводится к задаче о коммивояжере с кольцевым маршрутом объезда и дополнительными ограничениями на порядок объезда.

Пусть N_s — количество поставщиков, $1, 2, \dots, N_s$ — коды поставщиков, n — общее количество пунктов посещения, $n - N_s$ — количество клиентов, $N_s + 1, \dots, n$ — коды клиентов. Привязку клиентских заказов к поставщикам зададим с помощью массива $KID [i, j]$, i -я строка которого содержит коды клиентов, заказы которых содержат товары i -го поставщика, $i = 1, 2, \dots, N_s$. По условию задачи код каждого клиента содержится по крайней мере в одной строке массива. Если заказ клиента содержит товары двух или нескольких поставщиков, то код этого клиента повторяется в строках массива несколько раз.

Основные уравнения для выбора оптимального маршрута (7.5), (7.6) и (7.12) в данной задаче сохраняются. Однако при поиске минимумов в них путем перебора всех узлов $f \in S_k$ нужно контролировать (разрешать или запрещать) переходы из i -го узла в f -й узел ($i \rightarrow f$ — просмотр), а также и полностью маршруты $i \rightarrow S_k \rightarrow 0$.

Переход $i \rightarrow f$, если оба узла являются поставщиками, всегда допустим. Если i -й узел — поставщик, а f -й — клиент, то переход $i \rightarrow f$ допустим, только если клиент не принадлежит поставщику, входящему в сочетание S_k .

Если i -й узел — клиент, а сочетание S_k содержит хотя бы одного его поставщика, то маршрут $i \rightarrow S_k \rightarrow 0$ становится

невозможным. Если же сочетание S_k содержит клиента, все поставщики которого принадлежат множеству поставщиков i -го клиента, то $i \rightarrow f$ — просмотр допустим.

Аналогичного порядка ограничения вводятся и на начальные условия.

Программный комплекс Route Master5 Com. Комплекс предназначен для планирования кольцевых маршрутов доставки грузов по схеме коммивояжера. Его практическое использование — планирование маршрутов мелких отправок, массогабаритные характеристики которых незначительны и требования к времени доставки несущественны. Помимо курьерских маршрутов подобные задачи планирования маршрутов возникают также в деятельности торговых и логистических компаний, например фармацевтических компаний, развозящих заказы по аптечной сети.

Исходные данные по количеству пунктов объезда, размеру региона обслуживания (км), числу L кратчайших маршрутов и номер индивидуального задания студента вводятся с помощью окна «Ввод исходных данных». В программе реализованы функции нахождения и сравнения маршрутов доставки, найденные различными методами:

- эвристическим методом — ручной прокладкой маршрута оператором по схеме расположения пунктов объезда;
- эвристическим методом — ручной прокладкой маршрута оператором по алгоритму «ближайшего соседа»;
- автоматическим поиском оптимального маршрута с помощью алгоритма динамического программирования (для компьютеров с оперативной памятью порядка 2 Гб и быстродействием 2 ГГц количество пунктов объезда не более 15);
- автоматическим поиском оптимального маршрута с помощью алгоритма L кратчайших маршрутов; алгоритм используется также как эксперт, выставляющий отметки по пятибалльной системе маршрутам, найденным эвристическими методами (опция «Провести контрольное планирование»).

Примеры сравнения маршрутов, найденных оператором эвристически по карте региона обслуживания и с помощью алгоритмов автоматического поиска, приведены в работе [32].

7.2. ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ МАРШРУТОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. МНОГОРЕЙСОВЫЕ МАРШРУТЫ

Формулировка задачи. Задача оптимального планирования в данном случае заключается в отыскании такого маршрута объезда n пунктов посещения, при котором охватывались бы все пункты, не один не посещался бы дважды и стоимость которого была бы минимальной. При этом в отличие от задачи, сформулированной в п. 7.1, необходимо учесть временные ограничения, накладываемые на маршрут объезда, например продолжительностью рабочего дня. Типичной является ситуация, когда для объезда всех пунктов посещения за один рейс потребуется время большее, чем продолжительность рабочего дня. Кроме того, максимальный ресурс времени $T_{\max} = T_{\text{рес}}$, отводимый на завоз грузов на терминал, может быть ограничен расписанием отправления авиарейсов при экспресс-доставке, подготовкой груза на вечерние или дневные рейсы магистрального транспорта и другими факторами.

Чтобы уложиться в отводимый временной ресурс, необходимо разбить план доставки на несколько рейсов. Каждый рейс представляет собой участок маршрута, на котором транспортное средство объезжает несколько пунктов и возвращается в исходный пункт отправления, укладываясь по времени в заданную продолжительность рейса. Исходными данными к этой задаче являются:

- матрица (7.1) стоимости перевозок (или расстояний) между пунктами назначения и отправления;
- матрица затрачиваемых на перевозку временных ресурсов

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_{00} & \dots & T_{0n} \\ \dots & T_{ii} & \dots \\ T_{n0} & \dots & T_{nn} \end{pmatrix}, \quad (7.16)$$

где $T_{ij} = T[i, j]$ — время, затрачиваемое на перевозку между i -м и j -м пунктами назначения; диагональные элементы T_{ii} матрицы \mathbf{T} характеризуют время выполнения погрузочно-

разгрузочных работ (ПРР) в i -м пункте назначения, включая и время оформления документов; элемент T_{00} полагаем равным нулю; матрица (7.16) может быть как симметрической, так и несимметрической.

Время на перевозку можно определить по средней скорости $v_{\text{ср}}$ движения ТС либо вводить в программу на основании статистических данных. Для оценки времени разгрузки (в задаче о вывозе) или погрузки (в задаче о завозе) может быть использована формула

$$T_{ii} = T_{i\text{п-р}} = t_0 + Q_i t_{\text{п-р}}, \quad (7.17)$$

где $t_{\text{п-р}}$ — среднее время разгрузки 1 т груза, мин/т; Q_i — масса груза для i -го получателя, т; t_0 — время на оформление документов.

Транспортные средства (ТС), привлекаемые к перевозкам, характеризуются стоимостью подачи C_0 (руб.), стоимостью C (руб./км) пробега на 1 км пути и стоимостью простоя под погрузочно-разгрузочными операциями $C_{\text{п-р}}$ (руб./ч).

Для того чтобы решение данной задачи существовало, необходимо выполнение условия (7.2) грузоместимости и для каждого пункта назначения выполнение неравенства

$$T_{0i} + T_{i0} + T_{ii} \leq T_{\text{res}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.18)$$

Условие (7.18) гарантирует возможность доставки груза за заданное время T_{res} (например, 8 ч) с помощью простейшего одноточечного маршрута «туда-обратно».

Решение задачи характеризуется параметрами:

K — количество рейсов, необходимое для выполнения всего плана перевозки;

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_j, \dots, \mu_k$ — количество пунктов назначения, запланированных для каждого рейса;

T_1, T_2, \dots, T_k — продолжительность каждого рейса, которая складывается из времени простоя под погрузочно-разгрузочными операциями и времени транспортировки;

номера получателей

$$0 = i_0^j \rightarrow i_1^j \rightarrow i_2^j \rightarrow \dots \rightarrow i_f^j \rightarrow \dots \rightarrow i_{\mu_j}^j \rightarrow i_{1+\mu_j}^j = 0, \quad (7.19)$$

включенных в j -й рейс, и порядок их объезда. В выражении (7.19) параметр i_f^j означает номер получателя, объезжаемого f -м по порядку на j -м рейсе. Для каждого из рейсов начальным и конечным пунктами назначения

$$i_0^j = i_{1+\mu_j}^j = 0, \quad j = 1, \dots, K,$$

является их общий пункт отправления. Всю введенную нами совокупность параметров

$$X = (K, \mu_1, \dots, \mu_K, T_1, \dots, T_K, \dots, i_f^j, \dots) \quad (7.20)$$

назовем планом (маршрутом) перевозки. Должно быть выполнено ограничение по продолжительности рейса

$$T_j = \sum_{f=1}^{\mu_j} T[i_f^j, i_f^j] + \sum_{f=1}^{1+\mu_j} T[i_{f-1}^j, i_f^j] \leq T_{\max}.$$

Суммарная стоимость плана доставки грузов определяется целевой функцией

$$\varphi(X) = \sum_{j=1}^K C_0 + \sum_{j=1}^K C \sum_{f=1}^{1+\mu_j} \rho[i_{f-1}^j, i_f^j] + \sum_{j=1}^K C_{\text{пр-п}} \left(\sum_{f=1}^{1+\mu_j} T[i_f^j, i_f^j] \right). \quad (7.21)$$

Требуется найти оптимальный план доставки грузов X , обеспечивающий минимум целевой функции (7.21), с учетом сформулированных здесь ограничений. Оптимальный план имеет наглядную геометрическую иллюстрацию. Необходимо разделить n точек плоскости на группы, соединив каждую точку группы линией — маршрутом объезда (для данного рейса). Построенный план напоминает K -лепестковый цветок, построенный из начала координат. Каждый лепесток соответствует определенному рейсу.

Решение методом динамического программирования. Метод динамического программирования (ДП) как метод L -кратчайших маршрутов построен на многошаговых про-

цедурах оптимизации. Оптимальный план, его параметры — начало и завершение рейса, номер следующего пункта посещения — определяются по шагам. Предположим, что на определенном текущем шаге прокладки маршрута план частично построен, часть узлов уже «обвязана» маршрутом. Введем множество $S_k = \{i_1, i_2, \dots, i_l = f, \dots, i_k\}$, составленное из k узлов, через которое еще предстоит проложить маршрут, и узел $i \in S_k$ — последний узел из уже включенных в формируемый маршрут узлов. В этом узле на данном шаге находится грузовик.

Далее возможны два типа маршрутов продолжения. Первый из них

$$i \rightarrow f \neq 0 \rightarrow S_k \setminus f \rightarrow 0$$

предполагает выбор сначала одного из узлов f , принадлежащих множеству S_k , и далее возврат в нулевой узел через множество $S_k \setminus f$. Множество $S_k \setminus f$ — это множество, содержащее $k - 1$ элементов, образованное из множества S_k вычеркиванием элемента f . Второй маршрут продолжения

$$i \rightarrow 0 \rightarrow S_k \rightarrow 0$$

предполагает возврат в нулевой узел из узла i и далее движение из нуля через множество S_k в конечный нулевой узел. Движение по второму маршруту означает окончание предыдущего, включающего узел i , рейса и начало нового.

Выбор того или иного маршрута определяется не только стоимостью рейса, как в задаче о коммивояжере, но и остаточным ресурсом времени в узле посещения. Введем параметр состояния $S = (i, t, S_k)$, включив в него (как это было в п. 7.1) начальный узел i , остаточное множество S_k узлов, через которое нужно проложить маршрут в нулевой узел, и новый параметр — остаточный ресурс времени t . Величина t означает тот запас времени, который остается у грузовика, находящегося на маршруте в i -м узле, до того момента, когда отводимый на весь рейс ресурс $T_{\max} = T_{\text{рес}}$ будет израсходован. С этим значением остаточного ресурса грузовик выходит из узла. Если, например, остаточный ресурс мал,

то продолжение маршрута во все другие узлы (или в некоторые, расположенные на дальнем расстоянии) оказывается невозможным физически. Рейс должен быть закончен. Если же остаточный ресурс позволяет заезд в какой-то пункт посещения, то заезд в него может оказаться как целесообразным, так и нецелесообразным. Для решения нужно оценивать выбор узла по соображениям стоимости.

Будем измерять остаточный ресурс дискретными величинами. При этом непрерывной переменной

$$t_{\text{непр}} = t\Delta t, \quad t = 0, 1, \dots; \quad \Delta t = T_{\text{рес}}/T_{\text{рес}}^{\text{д}} \quad (7.22)$$

соответствует дискретное значение времени с заранее выбранным шагом дискретизации по времени Δt . Здесь величина $T_{\text{рес}}^{\text{д}}$ показывает, на сколько шагов дискретизации разбивается имеющийся ресурс. Непрерывные и дискретные величины будут обозначаться одними и теми же символами.

Введем два типа шаговых целевых функций:

$F_{k+1}(i, t, S_k)$ — стоимость кратчайшего маршрута вида

$$(i, t) \rightarrow f \neq 0 \rightarrow S_k \setminus f \rightarrow 0$$

при условии, что из узла i выходит ТС, имеющее свободный (остаточный) временной ресурс t ;

$F_{k+1}(0, S_k)$ — стоимость кратчайшего маршрута

$$(0, T_{\text{max}}) \rightarrow S_k \rightarrow 0,$$

исходящего из нулевого узла. Маршруты, исходящие из нулевого узла, имеют максимальный свободный ресурс T_{max} . Функция $F_{k+1}(0, S_k)$ при условии, что множество S_k охватывает все множество узлов, представляет собой стоимость искомого оптимального маршрута.

Шаговые целевые функции (ЦФ) удовлетворяют уравнениям:

$$F_{k+1}(0, S_k) = \min\{C_0 + C_{\text{р0f}} + C_{\text{нр-р}}T_{\text{ff}} + \\ + F_k(f, T_{\text{max}} - T_{\text{0f}} - T_{\text{ff}}, S_k \setminus f)\}; \quad (7.23)$$

$$\begin{aligned}
& F_{k+1}(i, t, S_k) = \\
& = \min\{\min[C\rho_{if} + C_{\text{пр-р}}T_{ff} + F_k(f, t - T_{if} - T_{ff}, S_k \setminus f)]; \\
& \quad C\rho_{i0} + F_k(0, S_k)\}. \tag{7.24}
\end{aligned}$$

В формуле (7.23) минимум отыскивается только по узлам $f \in S_k$, оптимальное значение f_* соответствует первому пункту посещения формируемого рейса (начало рейса). Формула (7.24) содержит минимум по двум переменным. Первый (внутренний, выделенный квадратными скобками) минимум отыскивается перебором переменной $f \in S_k$. Перебор узлов $f \in S_k$ означает оценку возможности продолжения рейса. Переход $i \rightarrow f$ возможен только при условии $t - T_{if} - T_{ff} \geq 0$. Это условие должно выполняться даже с запасом

$$t - T_{if} - T_{ff} \geq T_{f0},$$

который гарантирует возврат в нулевой узел. Второй (внешний) минимум предполагает сравнение наилучшего продолжения в узел $f_* \neq 0$ и завершения рейса — возврат в нулевой узел. Из двух возможностей выбирают меньшее значение.

По формулам (7.23) и (7.24) прокладывается оптимальный маршрут. Алгоритм состоит из двух частей.

Прямой ход. Формируются и перебираются все сочетания S_k по k элементов, начиная от $k = 1$. Вычисляется все множество значений целевых функций $F_{k+1}(i, t, S_k)$, $F_{k+1}(0, S_k)$ при всех значениях параметров. Начальное значение целевой функции $F_{k+1}(0, S_k)$ при $k = 1$, $S_k = S_1 = \{j\}$

$$F_2(0, S_1) = C_0 + C(\rho_{0j} + \rho_{j0}) + C_{\text{пр-р}}T_{JJ}. \tag{7.25}$$

Начальные значения целевой функции $F_{k+1}(i, t, S_1)$ определяются выражением

$$\begin{aligned}
F_2(i, t, S_1) = \min\{C(\rho_{ij} + \rho_{j0}) + C_{\text{пр-р}}T_{JJ}; \\
C\rho_{i0} + F_2(0, S_1)\}, \tag{7.26}
\end{aligned}$$

где первое выражение под знаком минимума, отделенное символом «;», означает заход из узла i в узел J напрямую, а второе выражение учитывает возможность захода в узел J

через нулевой узел. Первое выражение учитывается только при условии $t - T_{ij} - T_{jj} \geq 0$.

После вычисления начальных условий (7.25) и (7.26) для целевых функций формируют и перебирают все сочетания по k узлов, $k \geq 2$ (см. п. 7.1). По формулам (7.23), (7.24) осуществляются расчет и запоминание всего множества значений целевых функций $F_{k+1}(i, t, S_k)$, $F_{k+1}(0, S_k)$, после чего прокладывается оптимальный маршрут.

Обратный ход. Осуществляется пошаговая прокладка оптимального маршрута с помощью уже найденных целевых функций. Вычисляется значение функции $F_{n+1}(0, N)$ — стоимость оптимального маршрута через множество $N = S_n = \{1, 2, \dots, n\}$, содержащее все узлы, подлежащие объезду. Одновременно по уравнению (7.23) находится номер узла f_* , через который проходит оптимальный маршрут $0 \rightarrow f_*$. Далее с помощью уравнения (7.24) отыскивается последующий узел. Формируются множество $S_{n-1} = S_n \setminus f_*$ и значение ресурса на выходе из этого узла $t_{\text{ost}} = T_{\text{max}} - T_{0f_*} - T_{f_*f_*}$. Вычисляется значение целевой функции $F_n(f_*, t_{\text{ost}}, S_{n-1})$ и определяется направление дальнейшего движения $f_* \rightarrow f_{*1}$. Процесс прекращается в момент, когда во множестве S_k остается последний пункт посещения, после которого должен следовать нулевой узел. Узлы, найденные в процессе вычисления оптимального маршрута, могут оказаться нулевыми.

Данный алгоритм был реализован в виде отдельной опции описываемого ниже программного комплекса.

Как уже отмечалось, метод динамического программирования гарантирует оптимальность найденного маршрута. Однако вычислительные трудности, как уже отмечалось в задаче о коммивояжере, ограничивают возможности его применения на практике. Учет временного фактора и необходимость дополнительного перебора значений остаточного ресурса времени t усугубляют вычислительные проблемы.

Алгоритм метода L -кратчайших маршрутов. Оптимальный маршрут формируется последовательно обратными шагами. На каждом обратном k -м шаге формируется множество промежуточных маршрутов (точнее, k -шаговые отрезки формируемого маршрута), которые записываются в форме

$$M_k(S) = M_k(i, t) = i \rightarrow i_{k-1} \rightarrow i_{k-2} \rightarrow \dots \rightarrow i_1 \rightarrow 0. \quad (7.27)$$

Маршруты (7.27) связывают параметры состояния $S = (i, t)$ и $S_0 = (0, T_{\max})$ маршрута грузовика (узел i и свободный остаточный ресурс времени t) с конечным нулевым узлом. Узлы, входящие в маршрут (7.27), должны быть различны и, в отличие от задачи п. 7.1, могут включать один или несколько нулевых узлов. Упорядочим маршруты

$$M_k^1(S), M_k^2(S), \dots, M_k^r(S), \dots, M_k^L(S) \dots$$

в порядке возрастания целевой функции. Целевая функция $\varphi_k^r(S, M_k^r)$ r -го ранга определяется как длина маршрута вида (7.27), стоящего в этом списке на r -м месте. Уравнение для ЦФ r -го ранга на k -м шаге из состояния $S \neq S_0$ имеет вид

$$\varphi_k^r(S, M_k^r) = \min_r \left\{ C_{if} + \varphi_{k-1}^v(f, t - T_{if} - T_{ff}, M_{k-1}^v); \right. \\ \left. C_{i0} + \varphi_{k-1}^v(0, T_{res}, M_{k-1}^v(S_0)) \right\}, \quad (7.28)$$

где символ $\min_r \{ \dots \}$ означает, как и в выражении (7.12), r -е наименьшее значение последовательности, заключенной в фигурные скобки.

Члены последовательности формируются путем перебора по переменным: $X = (f, v)$ — номеру узла $f = 1, 2, \dots, n$; рангу $v = 1, 2, \dots, L$ целевых функций.

Слагаемое

$$\varphi_{k-1}^v(f, t - T_{if} - T_{ff}, M_{k-1}^v)$$

означает стоимость маршрута, исходящего из узла f (в котором просматривается возможность перехода) с измененным значением временного ресурса. Временной ресурс изменен на время движения по направлению $i \rightarrow f$ и выполнения погрузочно-разгрузочных работ в f -м узле. Элементы последовательности

$$C_{i0} + \varphi_{k-1}^v(0, T_{res}, M_{k-1}^v(S_0))$$

означают стоимость возврата в исходный пункт с учетом приписывания к дуге $i \rightarrow 0$ маршрута $M_{k-1}^v(S_0)$ ранга v , исходящего из нулевого узла. Переход $i \rightarrow 0$ означает в процессе поиска плана окончание рейса.

При поиске минимумов в выражении (7.28) принимаются во внимание лишь те значения переменных X , при которых исключается повторный заезд в i -й узел. Кроме того, все маршруты M_k^r , формирующие множество запоминаемых маршрутов, должны различаться между собой.

Найденный согласно выражению (7.28) оптимальный маршрут определяется путем присоединения к уже найденному $(k-1)$ -шаговому маршруту («припасовывание») нового отрезка

$$M_k^r = i \rightarrow M_{k-1}^v(f_{\text{opt}}, t - T_i f_{\text{opt}} - T_{f_{\text{opt}}} f_{\text{opt}}). \quad (7.29)$$

Здесь параметры $X_{\text{opt}} = (f_{\text{opt}}, v_{\text{opt}})$ — оптимальные значения переменных f, v . Для начального состояния S_0 на k -м шаге уравнения ЦФ имеют вид

$$\varphi_k^r(S_0, M_k^r) = \min_r \{C_{0f} + \varphi_{k-1}^v(f, T_{\text{res}} - T_{0f} - T_{ff}, M_{k-1}^v)\}, \quad (7.30)$$

где переменная оптимизации $X = (f, v)$ принимает те же значения, что и в выражении (7.28). Найденный из состояния S_0 оптимальный маршрут r -го ранга записывается следующим образом:

$$M_k^r(S_0) = 0 \rightarrow M_{k-1}^{v_{\text{opt}}} (f_{\text{opt}}, T_{\text{res}} - T_{0f_{\text{opt}}} - T_{f_{\text{opt}}} f_{\text{opt}}). \quad (7.31)$$

Эта операция означает формирование начала рейса. Начальные условия для процедуры оптимизации определяются при $k = 1$. Все начальные значения r -х целевых функций равны бесконечности, за исключением ЦФ первого ранга:

$$\varphi_1^1(S) = \varphi_1^1(i, t) = C_{i0}, t \geq T_{i0}. \quad (7.32)$$

Поиск осуществляется за $k = 2n$ шагов. Это позволяет учесть тот случай, когда в силу временных ограничений

для объезда каждого пункта требуется отдельный рейс. Как правило, решение включает меньшее, чем n , число рейсов. При значении $k \geq n + 1$ начинается поиск оптимальных маршрутов. Для этого проводится проверка на допустимость маршрута $M_k^1(S_0)$ — самого короткого из замкнутых рейсов, исходящих из нулевого узла.

Это делается путем подсчета количества нулей r_0 в маршруте. Если $r_0 = k - n$, то маршрут допустимый и охватывает все пункты назначения. Этот маршрут и его длина $\varphi_k^1(S_0)$ запоминаются и используются для сравнения с аналогичными маршрутами, определенными на следующих шагах. При $k = 2n$ поиск прекращается. Найденный последним маршрут является оптимальным маршрутом объезда n пунктов назначения с учетом ограничений по времени.

Программный комплекс планирования доставки грузов Route Master ComT. Примеры. Приведенные здесь математические модели и алгоритмы реализованы в виде программного комплекса Route Master ComT. Программный комплекс разработан на кафедре «Интермодальные перевозки и логистика» Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. Комплекс предназначен для планирования доставки мелких отправок, массогабаритные характеристики которых незначительны, но требования к времени доставки существенны. Перевозки такого типа являются начальным и конечным этапами мультимодальной перевозки «от двери до двери». В силу малых габаритных размеров принимаемых отправок (почтовая корреспонденция, посылки, биопрепараты и др.) их тоннаж и общее количество, размещаемое в грузовик, не являются столь сильными факторами, влияющими на маршруты, как время выполнения курьерского рейса по завозу отправок на терминал. Время курьерских рейсов, привязанное к расписанию межтерминальных авиационных или автомобильных маршрутов, ограничиваемое грузовыми операциями терминальной обработки, временем движения на маршруте и забора груза у грузоотправителей (или сдачи груза грузополучателям), является основным ограничением, которое необходимо учитывать в задачах планирования.

Исходные данные о количестве пунктов объезда, размере региона обслуживания, количестве кратчайших маршрутов вводятся с помощью окна «Ввод исходных данных» главного меню программы. С помощью отдельной формы вводятся характеристики транспортного средства: стоимость подачи ТС под загрузку (руб.), тариф на перевозку (руб./км), стоимость простоя под погрузкой (руб./ч) и средняя скорость (км/ч). С помощью специальной формы подключается карта региона обслуживания, на которой размещаются адреса забора и координаты терминала доставки грузов. По мере размещения пунктов объезда на карте вычисляются их декартовы координаты X , Y (км) в системе координат, связанной с выбранной картой, и заполняются соответствующие массивы в программе.

В программе реализованы пять алгоритмов поиска оптимального маршрута, представленных в виде соответствующих опций. Первые две опции («Динамическое программирование...» и «Метод $L_{кр}$ маршрутов без учета...») решают классическую задачу о коммивояжере (без ограничений на время рейса), а остальные три опции («Динамическое программирование... с учетом T рейса», «Метод $L_{кр}$ маршрутов..., \min целевой функции», «Метод $L_{кр}$ маршрутов..., \min по числу рейсов») учитывают ограничение на время выполнения рейсов. Алгоритм L -кратчайших маршрутов имеет два варианта исполнения. В первом (опция «Метод $L_{кр}$ маршрутов..., \min целевой функции») маршруты, входящие в список, упорядочиваются только по значениям их длин. Во втором (опция «Метод $L_{кр}$ маршрутов..., \min по числу рейсов») список маршрутов разбивается на множества с одинаковым количеством рейсов. Приоритет отдается маршрутам с минимальным количеством рейсов. Маршруты внутри множества с одинаковым числом рейсов упорядочиваются по целевой функции.

На рис. 7.2 приведен пример оптимального плана забора грузов у отправителей Ленинградской области, найденного программой методом ДП с ограничением на время рейса $T_{max} = 8$ ч. План содержит $n = 12$ клиентских заказов. Средняя скорость на маршруте $v_{cp} = 50$ км/ч, время на забор грузов у клиента $T_{ii} = 20$ мин. Стоимости простоя под погрузкой

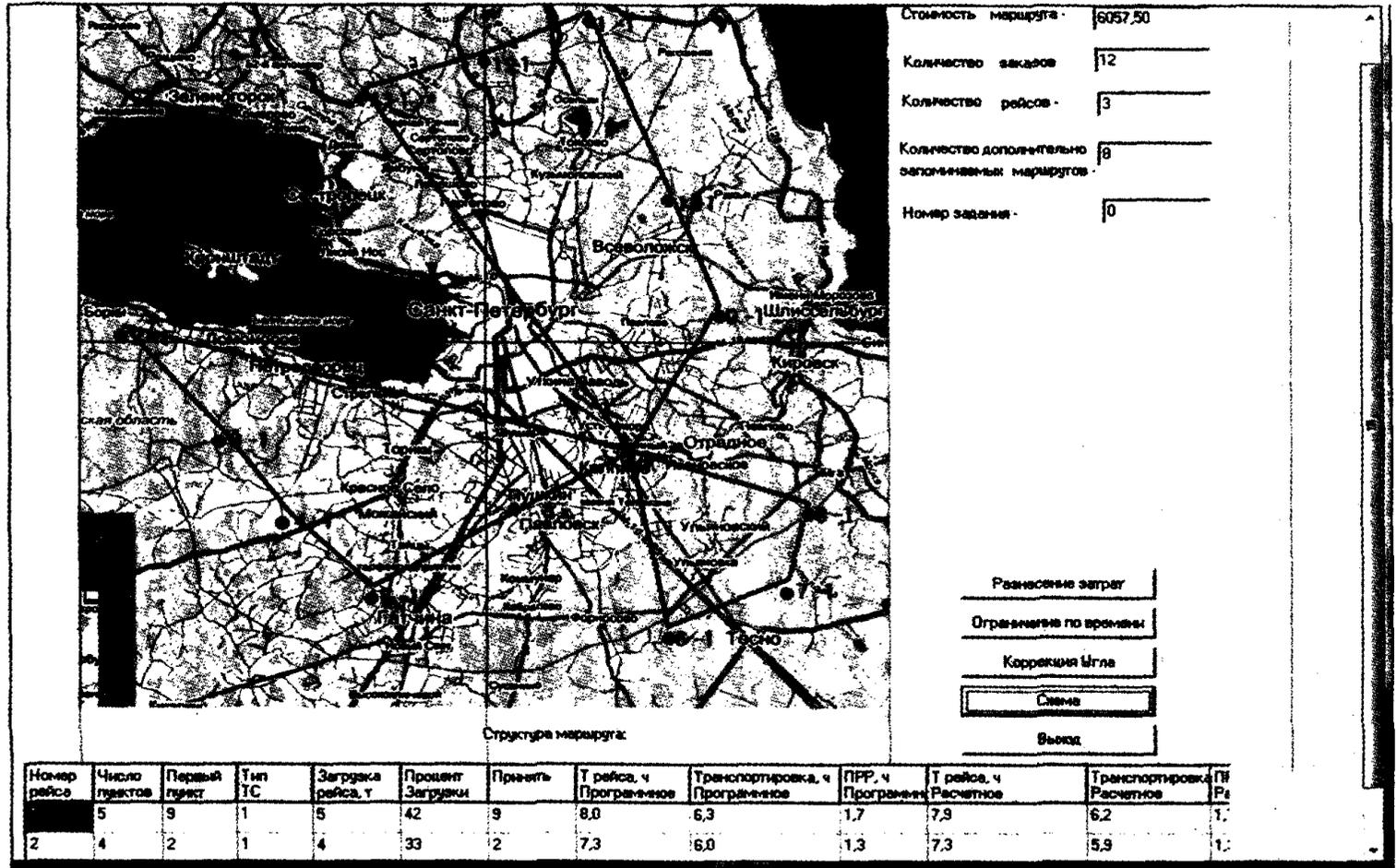


Рис. 7.2. Оптимальный план завоза мелких партий грузов на грузовой терминал, найденный методом динамического программирования

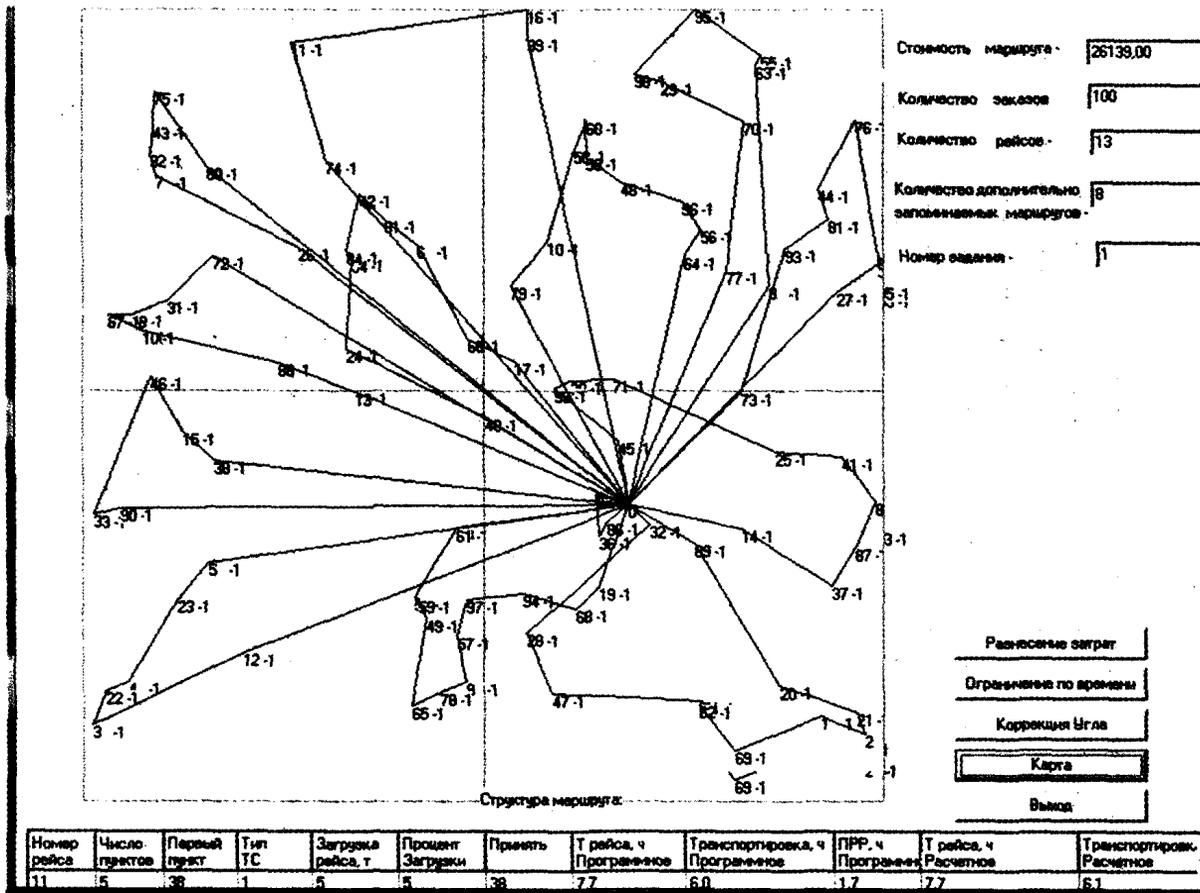


Рис. 7.3. План перевозок для $n = 100$ заказов, найденный алгоритмом L -кратчайших маршрутов

$C_{\text{пр-р}}$ (руб./ч) и подачи C_0 (руб.) нулевые, стоимость пробега $C = 8$ руб./км. Шаг дискретизации по времени $\Delta T = 20$ мин. Стоимость найденного плана 6057 руб. План содержит 3 рейса с планируемой продолжительностью соответственно 8,0; 7,3 и 4,0 ч. Стоимость оптимального без ограничения по времени рейса в данном примере 4380 руб., а его продолжительность — 15 ч.

С точки зрения транспортной компании может оказаться необходимым максимально уменьшать допустимое время рейса. Это часто диктуется складывающейся текущей оперативной ситуацией, например расписанием отправки вечерних авиарейсов или межтерминальных автомобильных маршрутов. Существует естественное физическое ограничение (7.18) на минимальное значение параметра T_{max} . В данном примере значения параметра T_{max} менее 6 ч оказались неприемлемыми. Плана, охватывающего всех клиентов, с таким значением параметра просто не существует. При значении $T_{\text{max}} = 6$ ч оптимальный план в условиях данного примера содержит 6 рейсов с продолжительностями 6 ч (3 рейса), 5; 4,7 и 4,3 ч соответственно. Его стоимость возросла до 11 226 руб.

Привязка комплекса к картографической информации осуществляется заданием матрицы расстояний (ρ_{ij}) между пунктами забора грузов. По клиентской базе предварительно, используя карту, прокладываются кратчайшие маршруты, связывающие клиентов и терминал компании, и их кратчайшие по карте расстояния. Из этих расстояний формируется общая клиентская матрица. Текущий план включает, как правило, лишь часть заказчиков. Матрица расстояний, необходимая для расчетов в комплексе Route Master ComT, формируется частичной выборкой из общей клиентской матрицы.

На рис. 7.3 приведена схема плана для значительно большего числа заказчиков ($n = 100$). План рассчитан методом L -кратчайших маршрутов при исходных данных предыдущего примера и $T_{\text{max}} = 8$ ч. Стоимость плана 26 100 руб; план содержит 13 рейсов со средним числом 7,7 заказа на рейс и средним временем рейса 7,1 ч. Максимальное количество заказов составило 13 заказов на рейс.

7.3. ПЛАНИРОВАНИЕ МНОГОРЕЙСОВЫХ МАРШРУТОВ ДОСТАВКИ С УЧЕТОМ ТОННАЖА ОТПРАВОК. СОВМЕСТНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ РЕЙСОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО РЕЙСАМ

Постановка задачи оптимального планирования. Рассматриваемая задача планирования включает как доставку заказов в n пунктов назначения из одного распределительного центра, так и обратную задачу завоза грузов от n отправителей на грузовой терминал для консолидации, сортировки и передачи на магистральный транспорт. В отличие от задачи о коммивояжере грузовая партия, полученная от отправителя, не является мелкопартионной. Она может иметь значительный тоннаж, сравнимый с грузоподъемностью используемого парка транспортных средств (ТС). Планирование может осуществляться менеджером (логистом) транспортного отдела, отдела перевозок или диспетчером склада ежедневно на основании поступающего из клиентского отдела или отдела продаж суточного плана. Каждый пункт забора (или доставки) груза характеризуется параметрами

$$\Pi_i = (Q_i, r_i), \quad i = 1, \dots, n,$$

где Q_i — количество грузов (тоннаж заказа) в i -м пункте забора; $r_i = (x_i, y_i)$ — координаты i -го пункта на плоскости (адрес забора).

Все грузы совместимы между собой при перевозке одним транспортным средством (ТС), их количество Q_i измеряется в одних и тех же единицах (тонны, ящики, поддоны и т. д.).

Планирующий менеджер располагает парком из m типов транспортных средств. Каждый тип ТС характеризуется параметрами: G_i — грузоподъемностью (или грузовместимостью), измеряемой в тех же единицах, что и количество грузов; C_i — стоимостью перевозки груза на 1 км пути, руб./км; C_{01} — стоимостью подачи под загрузку грузовика 1-го типа, руб. Мы примем, что соотношение параметров Q_i и G_i таково, что для каждого из отправителей (получателей) найдется по крайней мере одно ТС из парка предприятия достаточной грузовместимости:

$$\max_{l=1, \dots, m} \{G_l\} \geq \max_{i=1, \dots, n} \{Q_i\}.$$

Это условие означает, что для каждой из предъявленных к перевозке партий груза можно подобрать из имеющегося парка грузовик, который сможет ее доставить полностью, без разбиения на более мелкие партии. Может оказаться, что грузоподъемность одного ТС, например 1-го типа, достаточна для перевозки всей массы грузов, т. е. выполнено условие

$$G_1 \geq \sum_{i=1}^n Q_i.$$

В таком случае одним из допустимых планов является кольцевой, или однорейсовый, маршрут. Задача планирования кольцевых маршрутов рассматривалась в п. 7.1. Оптимальное среди однорейсовых маршрутов решение (задача о коммивояжере) может в данной задаче в зависимости от соотношения стоимости перевозки дать как оптимальный, так и неоптимальный план.

Другой крайний случай реализуется, когда соотношение между параметрами Q_i и G_l таково, что исключается загрузка в одно ТС груза для двух и большего числа пунктов назначения. Решение в этом случае очевидно. Оптимальный план содержит $K = n$ рейсов — маршрутов заезда в каждый из пунктов назначения с возвратом в исходный пункт (т. е. маршруты «туда-обратно»). В общем, основном для наших целей, случае число рейсов удовлетворяет условию

$$1 < K < n.$$

Введем, как это было в п. 7.2, подлежащие определению параметры плана доставки: K — количество рейсов; $j = 1, 2, \dots, K$ — номер рейса; μ_j — количество получателей, включаемое в план j -го рейса; i_j^j — номер получателя, объезжаемого f -м по порядку на j -м рейсе. Все эти параметры удовлетворяют условиям, сформулированным в п. 7.2. Дополнительно в этой задаче потребуется параметр $l_j \in \{1, 2, \dots, m\}$ — тип транспортного средства, закрепленного за j -м рейсом. Всю

введенную нами совокупность параметров плана доставки обозначим вектором

$$\mathbf{X} = (K, \mu_1, \dots, \mu_K, l_1, \dots, l_k, \dots, i_f^j, \dots).$$

Длина маршрута j -го рейса определяется выражением

$$\sum_{f=1}^{1+\mu_j} r[i_{f-1}^j, i_f^j],$$

где $r[i_{f-1}^j, i_f^j]$ — расстояние между последовательно объезжаемыми получателями в одном рейсе.

Для каждого рейса должно быть выполнено условие грузозместимости

$$\sum_{f=1}^{\mu_j} Q_{i_f^j} \leq G_{l_j}. \quad (7.33)$$

Суммарная стоимость плана доставки грузов определяется целевой функцией

$$\varphi(\mathbf{X}) = \sum_{j=1}^K \left(C_{0l_j} + C_{l_j} \sum_{f=1}^{1+\mu_j} r[i_{f-1}^j, i_f^j] \right). \quad (7.34)$$

Задача заключается в определении оптимального плана \mathbf{X} , минимизирующего целевую функцию (7.34) при сформулированных ограничениях по тоннажу и условиях объезда.

В дальнейшем примем, что непрерывные величины — количество груза Q_i и грузозместимость ТС G_l — переведены в дискретные с определенным, заранее выбранным шагом дискретизации. Подобная операция встречалась в предыдущем разделе.

Точное решение методом динамического программирования. Введем множество $S_k = \{i_1, i_2, \dots, i_l = f, \dots, i_k\}$, составленное из k произвольно выбранных узлов, узел i , лежащий вне этого множества, и матрицу расстояний

$$R = (r_{i,j}), \quad i, j \in \{0, 1, \dots, n\},$$

полагая начало координат связанным с исходным пунктом. Будем рассматривать два типа маршрутов:

$$i \neq 0 \rightarrow S_k \rightarrow 0, \quad i = 0 \rightarrow S_k \rightarrow 0,$$

проложенных из узла i через множество S_k в конечный нулевой узел. Количество таких маршрутов $k!$. Сведение задачи к рассмотрению такого типа маршрутов характерно для метода ДП (см. п. 7.1 и 7.2). Начальный узел i и множество узлов S_k в задаче о коммивояжере рассматривались как параметры состояния грузовика на маршруте. В параметр состояния мы включали все величины, от которых зависит маршрут дальнейшего движения. Введем для узла $i \neq 0$ в параметр состояния

$$S = (i, l, j, S_k)$$

дополнительные величины: $l = 1, 2, \dots, m$ — тип грузовика, который находится в узле на маршруте; $j = 0, 1, \dots$ — остаточный свободный ресурс грузоподъемности, которым располагает грузовик при выезде из i -го узла. Этот параметр аналогичен остаточному ресурсу времени, который определял маршрут в задаче о коммивояжере (см. п. 7.2). Здесь также маршрут дальнейшего движения зависит от значения параметра j . Если остаточный ресурс мал и не позволяет разместить грузы, находящиеся в узлах множества S_k , то рейс должен быть закончен. Если же значение ресурса j позволяет разместить грузы хотя бы еще одного заказчика из множества S_k , то необходимо оценить целесообразность захода в эти узлы. Мы примем, что остаточный ресурс принимает дискретные значения, для чего все грузовые параметры — тоннаж грузов, грузоподъемность ТС — должны быть дискретизованы с заранее выбранным шагом дискретизации.

Введем два типа целевых функций: $F_{k+1}(i, l, j, S_k)$ — стоимость (длину) кратчайшего маршрута при условии, что из узла i будет выходить ТС l -го типа, имеющее свободный ресурс грузоподъемности $j = 0, 1, 2, \dots$, и $F_{k+1}(0, S_k)$ — стоимость (длину) кратчайшего маршрута без фиксации

определенного типа грузовика и свободного ресурса грузозместимости ТС. Функция $F_{k+1}(0, S_k)$ при условии, что множество S_k охватывает все множество узлов, представляет собой стоимость искомого оптимального маршрута. Значение этой целевой функции является минимальным не только по выбору маршрута, но и по выбору парка ТС, выполняющего оптимальный маршрут. Эти функции удовлетворяют следующим уравнениям ДП:

$$F_{k+1}(i, l, j, S_k) = \min\{[C_{l\rho_{if}} + F_k(f, l, j - Q_f, S_k \setminus f)]; \\ C_{l\rho_{i0}} + F_{k+1}(0, S_k)\}; \quad (7.35)$$

$$F_{k+1}(0, S_k) = \min\{C_{0l\rho_{0f}} + F_k(f, l, G_l - Q_f, S_k \setminus f)\}, \quad (7.36)$$

где минимум вычисляется по-разному. В формуле (7.35) минимум отыскивается только по узлам, принадлежащим множеству S_k . Просматриваются два типа переходов из узла i : продолжение рейса через f -й узел множества S_k и (или) возможность возврата в исходный нулевой узел (окончание рейса) с продолжением маршрута по схеме $0 \rightarrow S_k \rightarrow 0$. Среди этих маршрутов выбирают оптимальный кратчайший маршрут. В формуле (7.36) минимум вычисляется по двум типам переменных: типу $l = 1, 2, \dots, m$ транспортного средства, посылаемого из нулевого узла, и (при выбранном типе l) по номеру f -го узла множества S_k . Множество $S_k \setminus f$ (как это было и ранее в п.7.1 и 7.2) означает множество, содержащее $(k - 1)$ элементов, образованное из множества S_k вычеркиванием элемента f .

По этим формулам прокладывается оптимальный маршрут. Согласно выражению (7.35) из узла i необходимо идти в тот узел $j_* \in S_k$ или $j_* = 0$, при котором достигается минимум в правой части выражения (7.35). Формула (7.36) позволяет определить также оптимальный тип ТС, посылаемого из нулевого пункта.

Алгоритм метода ДП, подобно алгоритму задачи о коммивояжере, состоит из двух частей.

Прямой ход. Формируется, записывается и кодируется сочетание S_k по k элементов, вычисляются для всех $i \notin S_k$

$i = 0, 1, 2, \dots, n$ целевых функций по формулам (7.35) и (7.36). После отыскания и запоминания значений целевых функций начинается прокладка оптимального маршрута.

Обратный ход. Осуществляется подобно тому, как это делалось в задаче о коммивояжере (п.7.1 и 7.2), пошаговая прокладка с помощью целевых функций оптимального маршрута. Отличие заключается в том, что при прокладке из нулевого узла определяется не только следующий узел, который является первым пунктом (началом) посещения рейса, но и оптимальный тип транспортного средства, выполняющего формируемый рейс.

Найденный маршрут гарантированно оптимальный. Однако вычислительные трудности при его применении дополнительно усугубляются запоминанием и перебором двух переменных: типа ТС и остаточной грузоподъемности.

Метод L -кратчайших маршрутов. Модель оптимизации, основные соотношения. Задача оптимизации решается последовательно по шагам. Для каждого промежуточного k -го шага введем параметры состояния

$$S = (i, l, j), \quad (7.37)$$

где $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ — номер пункта назначения, из которого начинается движение на k -м шаге; $l \in \{1, \dots, m\}$ — тип исходящего транспортного средства; $j \in \{0, 1, \dots, G_l\}$ — располагаемый ресурс грузоподъемности (свободная грузоподъемность), с которым начинается движение ТС из i -го узла на данном шаге; G_l — дискретное значение грузоподъемности ТС.

Среди k точек, составляющих фрагмент маршрута, может находиться и несколько нулевых, означающих заход в ДЦ. Промежуточный шаг, а также конечный шаг процедуры оптимизации могут начинаться из состояния

$$S_0 = S_{i=0, l, j=G_l}$$

с полным ресурсом грузоподъемности G_l выбранного l -го типа транспортного средства.

Каждому маршруту, исходящему на k -м шаге из состояний S или S_0 , соответствует своя стоимость доставки. Число

возможных допустимых маршрутов конечно. Упорядочим их в порядке возрастания целевой функции — стоимости k -шагового маршрута. Определим ранг r как его номер в порядке возрастания целевой функции. Маршрут r -го ранга, формируемый на каждом k -м шаге, далее называется r -м кратчайшим маршрутом. Обозначим его M_k^r . После упорядочивания маршруты, а точнее, фрагменты маршрутов, ранга выше заданного L отбрасывают и не учитывают далее в процедуре оптимизации. Введем k -шаговую целевую функцию r -го ранга

$$\varphi_k^r(S) = \varphi(i, l, j; M_k^r), \quad r = 1, 2, \dots, L, \quad (7.38)$$

определив ее как стоимость r -го маршрута M_k^r , исходящего из состояния S на k -м шаге. Значению $r = 1$ соответствуют минимальная стоимость и оптимальный (первый кратчайший) маршрут M_k^1 , значению $r = 2$ — вторая в порядке возрастания стоимость и второй кратчайший маршрут M_k^2 и т. д. Наибольшее значение L ранга r является параметром алгоритма. Если множество допустимых маршрутов окажется пустым либо количество маршрутов окажется меньше L , то соответствующие целевые функции полагаются равными бесконечности.

Для начального состояния S на k -м шаге найденный промежуточный маршрут, соответствующий целевой функции (7.38), запишем в форме

$$M_k^r(S) = \begin{pmatrix} i \\ l \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} i_{k-1} \\ l_{k-1} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} i_{k-2} \\ l_{k-2} \end{pmatrix} \rightarrow \dots \rightarrow \begin{pmatrix} i_1 \\ l_1 \end{pmatrix} \rightarrow 0. \quad (7.39)$$

Маршрут $M_k^r(S)$, определяемый значением параметра r , включает последовательную запись объезжаемых (на $k - 1$ -м и $k - 2, \dots, 1$ -м шагах) пунктов и используемых на этом маршруте типов транспортных средств. Числа i, i_{k-1}, \dots, i_1 различаются между собой, за исключением нулевых значений, которых может быть несколько. Число нулевых значений при вычислении маршрутов M_k^r равно числу найденных полных рейсов. Два подряд нулевых значения переменных i_k исключаются при решении. Поскольку ТС может меняться

лишь в начальном состоянии S_0 , то значения переменных l_{k-1}, \dots, l_1 в записи (7.39) сохраняют постоянные значения между двумя соседними нулями последовательности узлов. Значения последовательности l_k могут изменяться (но не обязательно) лишь при нулевых значениях переменных i_k .

При вычислениях на каждом шаге рассчитываются и записываются кратчайшие маршруты M_k^r , соответствующие конечным значениям целевой функции $\varphi_k^r(S)$. Маршруты рангов, больших L , на последующем шаге не используются.

Для произвольных значений $k \geq 2$ и состояния $S \neq S_0$ уравнение для целевых функций имеет вид

$$\varphi_k^r(S) = \min_r \left\{ C_l \rho_{i,f} + \varphi_{k-1}^v(f, l, j - Q_f; M_{k-1}^v); \right. \\ \left. C_l \rho_{i,0} + \varphi_{k-1}^v[S_0; M_{k-1}^v(S_0)] \right\}, \quad (7.40)$$

где символ $\min_r \{ \dots \}$ обозначает r -е наименьшее значение последовательности, заключенной в фигурных скобках. Члены этой последовательности в первой строчке формируются путем перебора стоимости по двум переменным $f \in \{1, \dots, n\}$, $v \in \{1, \dots, L\}$. Для каждого варьируемого узла f просматривается L исходящих из него маршрутов. Вторая строчка в формуле (7.40) содержит стоимости перехода $i \rightarrow 0$ и исходящих из нулевого узла $(k-1)$ -шаговых маршрутов $M_{k-1}^v(S_0)$. При отыскании минимумов в выражении (7.40) принимаются во внимание лишь те значения переменных X , при которых выполнены условия

$$j \geq Q_f, \quad i \notin \{M_{k-1}^v\}, \quad i \notin \{M_{k-1}^v(S_0)\}. \quad (7.41)$$

Учет условий (7.41) гарантирует допустимость маршрутов, исключая возможность заезда в данный пункт дважды и загрузку ТС сверх грузместимости. Если при некоторых r и S множество значений переменной X оказывается пустым, то значение целевой функции полагается равным бесконечности. Таким образом, на каждом шаге из состояния $S \neq S_0$ анализируются две возможности: вернуться в ДЦ (что соответствует значению $f = 0$) или продолжить движение в другие пункты назначения ($f \geq 1$). Оптимальный k -шаговый

маршрут вычисляется путем приписывания к уже найденным (и запомненным в программе) $(k - 1)$ -шаговым маршрутам нового отрезка, полученного в процессе перебора согласно уравнению (7.40).

При $k \geq 2$ и $S = S_0$ уравнения для целевой функции имеют вид

$$\varphi_k^r(S_0) = \min_r \{C_{0l} + C_l r_{0,f} + \varphi_{k-1}^v(f, l, G_l - Q_f; M_{k-1}^v)\}, \quad (7.42)$$

где переменная оптимизации $X = (f, v, l)$ включает дополнительно к выражению (7.40) параметр l — тип транспортного средства. Ограничения типа (7.41) на переменную X имеют вид $G_l \geq Q_f$.

Начальные условия для процедуры оптимизации определяются при $k = 1$. Все начальные значения r -х целевых функций равны бесконечности, за исключением случая

$$\varphi_r^1(S) = G_l \rho_{i,0}, \quad r = 1, \quad S \neq S_0. \quad (7.43)$$

Уравнения (7.40)–(7.43) решаются последовательно по переменной k .

При значении $k \geq n + 1$ из состояния S_0 начинается поиск оптимальных планов. Процедура описана в п. 7.2. Вычисления прекращаются при $k = 2n$, что обеспечивает включение в число анализируемых планов n -лепесткового маршрута. Оптимальность найденного маршрута достигается выбором большого значения параметра L .

Программный комплекс планирования доставки грузов Route Master. Описанная модель была положена в основу алгоритма и компьютерного программного комплекса Route Master для оптимизации доставки грузов.

Главное меню комплекса. Описание основных функций. При запуске загрузочного файла (программа Route Master) появляется главная форма программы, в верхней части которой расположено меню, позволяющее реализовывать следующие режимы.

1. Ввод исходных данных. В этом режиме последовательно вводятся параметры: количество n полученных заявок от клиентов, количество m используемых для доставки грузов

типов транспортных средств, число L -кратчайших маршрутов, шаг дискретизации Δq массовых характеристик грузов и грузоподъемности ТС, размер a региона обслуживания, параметры массивов грузоподъемности $G[l]$ и стоимости перевозок $C[l]$, данные о грузе (заполнение массива $Q[n]$), координаты пунктов назначения (заполнение массивов $x[i]$ и $y[i]$).

2. Автоматический поиск маршрута (процедура поиска оптимального маршрута). В этом режиме реализованы следующие опции.

2.1. Поиск оптимального маршрута методом динамического программирования. Ввиду большого объема требуемой оперативной памяти эта опция ограничена значением параметра $n \leq 12$.

2.2. Поиск оптимального плана изложенным выше методом L -кратчайших маршрутов (алгоритм минимизации по целевой функции).

2.3. Поиск оптимального плана методом L -кратчайших маршрутов (алгоритм минимизации с упорядочением множества формируемых маршрутов по числу рейсов). Существуют разные способы формирования и упорядочивания множества кратчайших маршрутов. В п. 7.2 поясняется разница между алгоритмом «Min по целевой функции» и алгоритмом «Min по числу рейсов».

3. Ручная прокладка маршрута оператором. Маршрут прокладывается оператором эвристически по плану расположения пунктов назначения с указанием на мониторе тоннажа (объема) заказа.

4. Режим экзаменатора (соревнования с компьютером), когда после ручной прокладки запускается автоматический поиск и программа-экзаменатор выставляет оператору оценку (путем сравнения полученных значений стоимости плана).

5. Вывод одного из найденных вариантов оптимального маршрута на экран в виде рисунка с дополнительной информацией.

На рис. 7.4 и 7.5 приведены примеры планов развозки грузов для $n = 15$ клиентов автопарком с $m = 2$ типами грузовиков грузоподъемностью $G_1 = 5$ т (ЗИЛ) и $G_2 = 10$ т (КамАЗ); стоимость пробега $C_1 = 1$ дол./км, $C_2 = 1,5$ дол./км. Планы

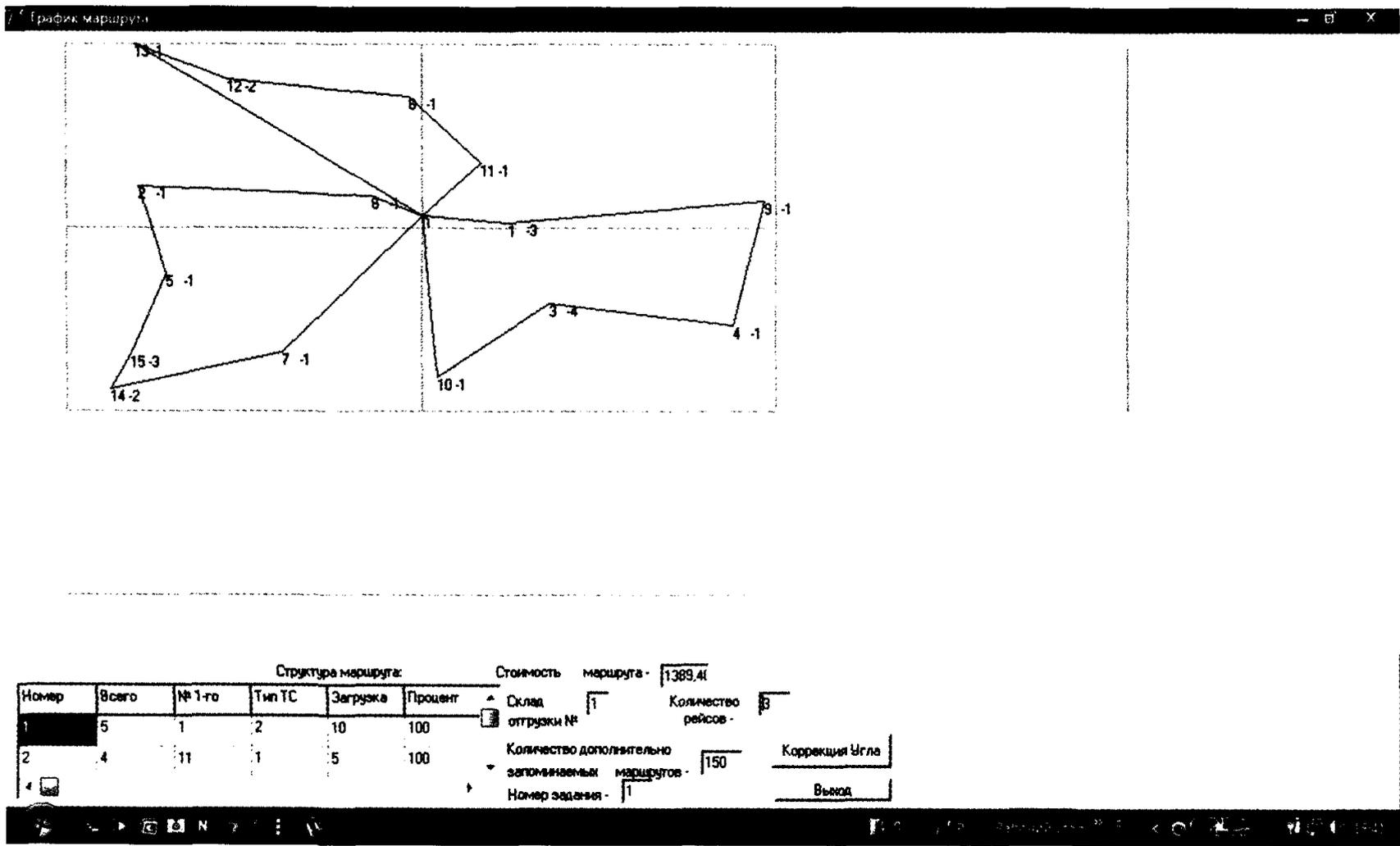


Рис. 7.4. Маршрут, найденный в программе оператором вручную

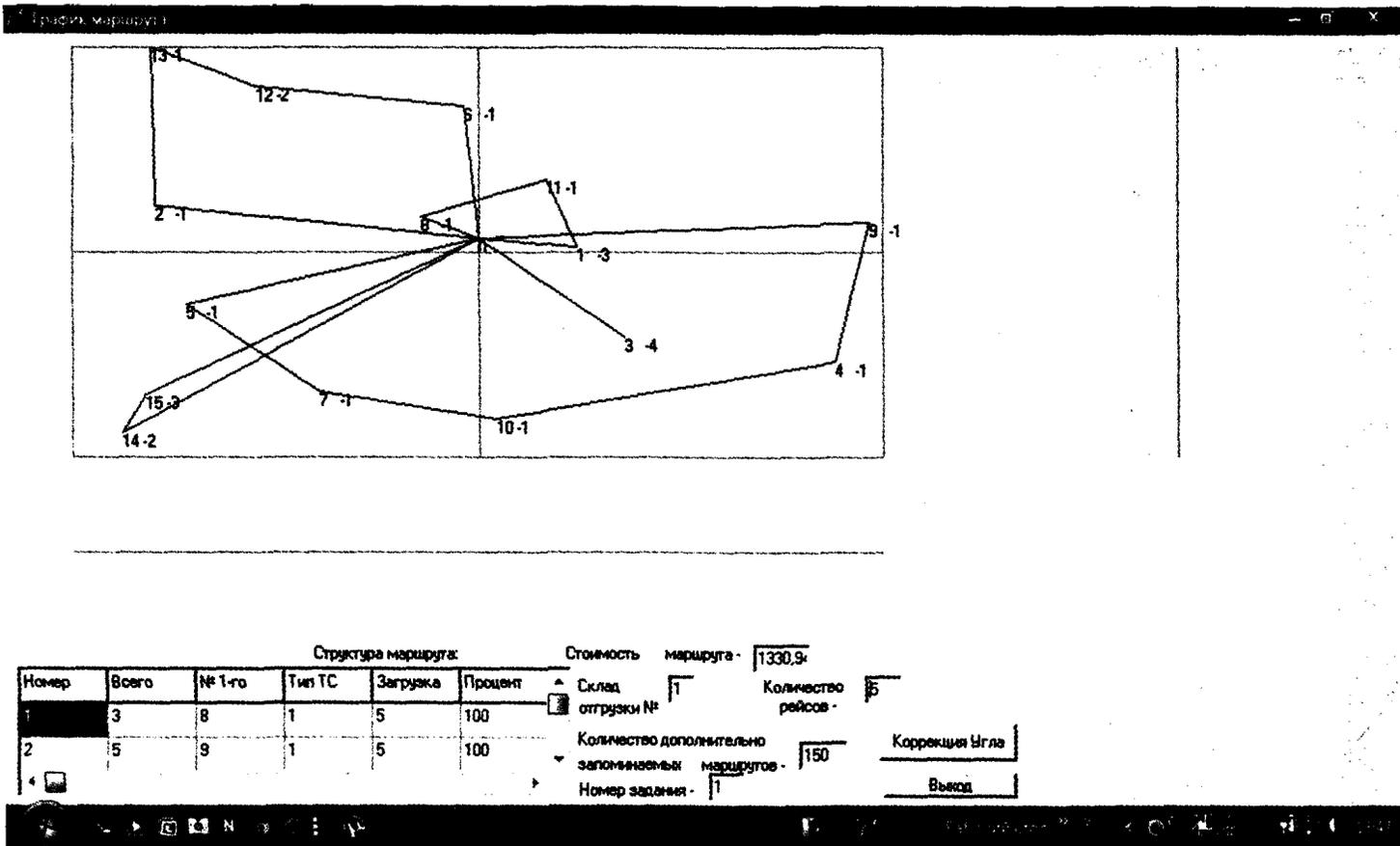


Рис. 7.5. Маршрут, найденный программой в автоматическом режиме. Алгоритм L -кратчайших маршрутов

найденны двумя способами: оператором вручную (рис. 7.4, стоимость плана 1390 дол.) и программой в автоматическом режиме (рис. 7.5, стоимость плана 1330 дол., $L = 150$, пять рейсов, все выполняются ЗИЛом). План рис. 7.4, найденный оператором, содержит три рейса, два из которых выполняются КамАЗом, а один — ЗИЛом. Программа оценила план, найденный оператором, как «удовлетворительный».

Планирование развозки с большим количеством заказов ($n \approx 100 \div 200$). Для составления суточных планов развозки на персональных компьютерах, которыми сегодня располагают обычные транспортные компании (объем оперативной памяти порядка нескольких гигабайтов, тактовые частоты процессора 1–3 ГГц), приходится ограничивать параметр L значениями (порядка 5–10), определяемыми возможностями компьютера. Для повышения качества планирования разработана следующая эвристическая процедура.

Вначале вычисляется с использованием «малых» значений параметра L опорный план развозки. Этот план принимается за нулевое приближение. Далее он подвергается посекторному контролю и улучшению. Процедура состоит в следующем. Плоскость разбивают на определенное (6–12) количество секторов с вершиной в начале координат (нулевом узле). Выбирают первый сектор. Отбирают и выделяют рейсы опорного плана, которые содержат хотя бы один узел, попадающий в выбранный сектор. Все выделенные рейсы «расформировывают», а для входящих в них узлов вычисляют новый план. Поскольку выделенные узлы составляют малую часть всех заказов, то при вычислении выбирают большее значение параметра L , чем было при расчете опорного плана. Стоимость нового плана сравнивают с суммарной стоимостью выделенных рейсов. Если найденный план дешевле, то заменяют проверяемую часть опорного плана новым фрагментом.

Описанную процедуру повторяют для всех секторов.

На рис. 7.6. и 7.7 приведены примеры работы процедуры для $n = 100$ заказов. Найденный опорный план имеет стоимость 7061 дол., содержит 34 рейса, из которых 22 рейса имеют 100% -ную загрузку, а 12 рейсов — 80% -ную. На рис. 7.6 представлен фрагмент плана, найденный процедурой

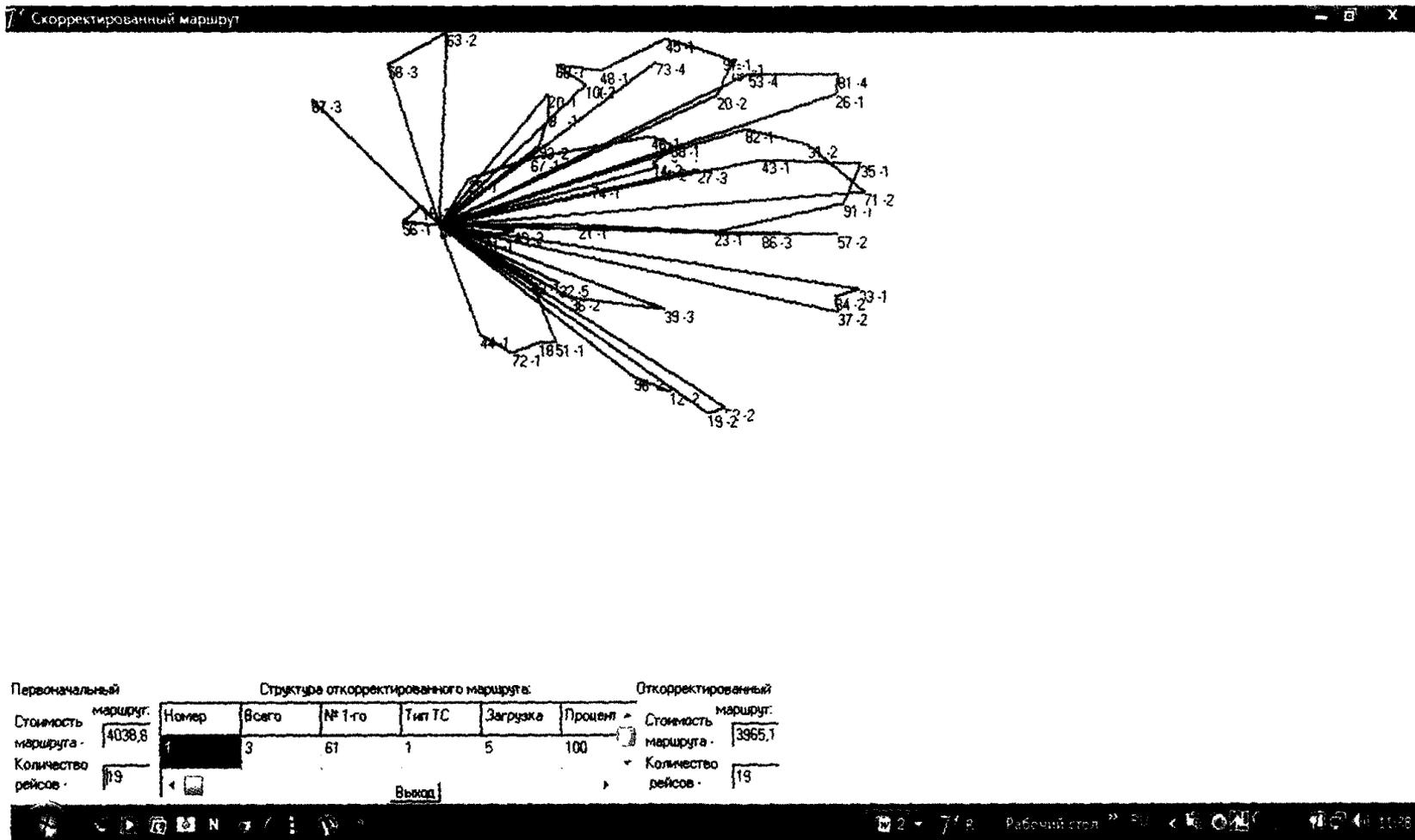
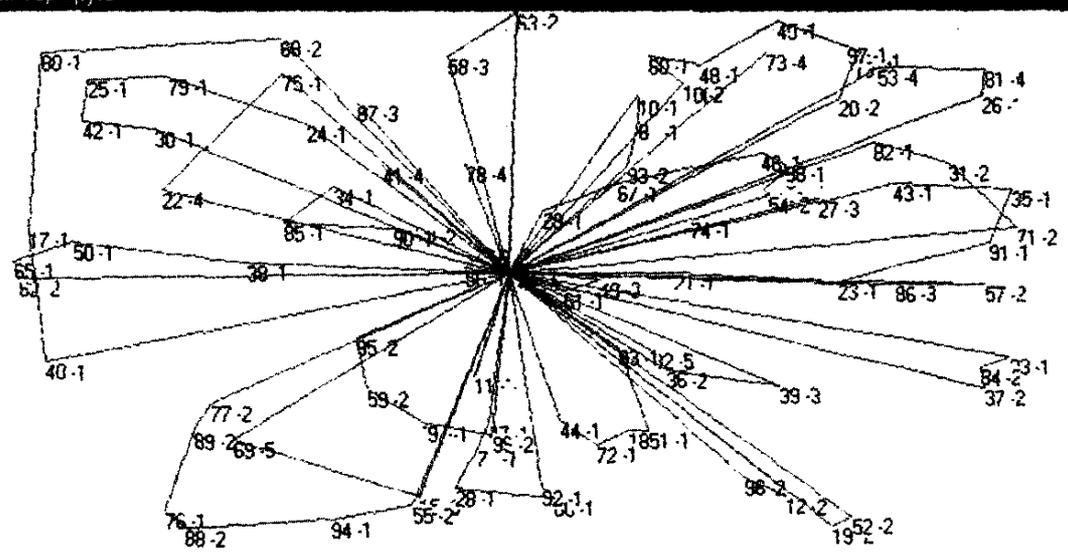


Рис. 7.6. Улучшение фрагмента плана процедурой коррекции



Структура маршрута:

Номер	Всего	№ 1-го	Тип ТС	Загрузка	Процент
30	3	53	2	9	90
31	1	73	1	4	80

Стоимость маршрута: 6749,1:

Склад Количество рейсов: 31

отгрузки №

Количество дополнительно запоминаемых маршрутов: 10

Коррекция Угла

Номер задания: 1

Выход

Рис. 7.7. План развозки n = 100 заказов

секторного улучшения. На рис. 7.7 приведен окончательный план, найденный программой Route Master. Его стоимость — 6742 дол., план содержит 31 рейс, из которых 22 рейса имеют 100%-ную загрузку, 2 рейса — 90%-ную, 4 рейса — 80%-ную, а загрузка 3 рейсов 60 %.

Улучшение плана, если оно необходимо, осуществляется программой автоматически.

7.4. ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ЗАВОЗА И ВЫВОЗА ГРУЗОВ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

Для решения задач завоза-вывоза грузов в п. 7.1–7.3 рассматривались методы, алгоритмы и программные средства, позволяющие планировать перевозки из одного распределительного центра. В настоящем разделе рассматривается задача оптимального планирования доставки грузов одновременно из нескольких дистрибьюционных центров. Такая задача возникает в тех случаях, когда торговые или логистические компании, поставляющие товары своим клиентам, имеют единый центр приема и обработки заказов, который распределяет заказы по исполняющим их распределительным центрам либо складам отгрузки и планирует подачу транспорта и рейсы доставки.

Математическая формулировка задачи. Рассматривается задача планирования доставки грузов в n пунктов назначения из $P_{\text{скл}}$ складов (распределительных центров) отгрузки. Планирование выполняется менеджером (логистом) клиентского отдела, отделов логистики, перевозок или диспетчером грузового терминала. Каждый пункт доставки характеризуется параметрами

$$P_i = (Q_i, r_i), \quad i = 1, \dots, n,$$

где Q_i — количество грузов, доставляемое в i -й пункт назначения; $r_i = (x_i, y_i)$ — координаты i -го пункта на плоскости.

Все грузы совместимы между собой при перевозке одним транспортным средством (ТС), их количество Q_i измеряется

в одних и тех же единицах (тонны, ящики, поддоны и т. д.).
 Заданы матрица расстояний

$$R_{\text{пд}} = (\rho_{\text{пд}i,j}), \quad i, j \in \{1, \dots, n\},$$

между i -м и j -м пунктами доставки (индекс ПД), координаты мест расположения складов ($x_{p, \text{скл}}$, $y_{p, \text{скл}}$), $p = 1, 2, \dots$, $P_{\text{скл}}$ и аналогичная матрица

$$R_{\text{о. пд}} = (\rho_{\text{с. пд} p,j}), \quad p \in \{1, \dots, P_{\text{скл}}\}, \quad j \in \{1, \dots, n\},$$

расстояний между p -м складом и j -м пунктом доставки.

Каждый p -й склад отгрузки располагает собственным парком из M_p типов транспортных средств, который, вообще говоря, может отличаться от парка другого склада. Тип ТС p -го склада характеризуется параметрами: G_l^p — грузоподъемностью (или грузоместимостью), измеряемой в тех же единицах, что и количество грузов; C_l^p — стоимостью перевозки груза на 1 км пути, руб./км. Здесь $l = \{1, 2, \dots, M_p\}$ — номер типа транспортного средства по нумерации склада отгрузки.

Введем подлежащие определению параметры плана перевозки: K_p — количество рейсов, отгружаемых с p -го склада; $j = 1, 2, \dots, K_p$ — номер рейса; μ_{jp} — количество получателей, включаемое в план j -го рейса p -го склада (далее кратко — « jp -й рейс»); j_f^p — номер получателя, объезжаемого f -м по порядку на jp -м рейсе. Все эти параметры удовлетворяют условиям:

$$0_p = i_0^{jp} \rightarrow i_1^{jp} \rightarrow i_2^{jp} \rightarrow \dots \rightarrow i_f^{jp} \rightarrow \dots \rightarrow i_{\mu_{jp}}^{jp} \rightarrow i_{1+\mu_{jp}}^{jp} = 0_p; \quad (7.44)$$

$$n = \sum_{p=1}^{P_{\text{скл}}} \sum_{j=1}^{K_p} \mu_{jp}; \quad (7.45)$$

$$\{1, \dots, n\} = \bigcup_{j=1}^k \{i_1^{jp}, i_2^{jp}, \dots, i_{\mu_{jp}}^{jp}\}, \quad (7.46)$$

которые означают объезд всех пунктов назначения. Здесь все числа — номера пунктов посещения — должны быть

различными; нулевой узел 0_p соответствует p -му складу отгрузки. Введем параметр $l_{jp} \in \{1, 2, \dots, M_p\}$ — тип транспортного средства, закрепленного за j -м рейсом p -го склада отгрузки. Всю введенную нами совокупность параметров плана доставки обозначим вектором

$$X = \bigcup_{p=1}^P (K_p, \mu_{1p}, \dots, \mu_{jp}, \dots, l_{1p}, \dots, l_{jp}, \dots, i_f^j, \dots).$$

Длина маршрута jp -го рейса определяется выражением

$$\sum_{f=1}^{1+\mu_{jp}} \rho [i_{f-1}^{jp}, i_f^{jp}],$$

где $\rho [i_{f-1}^{jp}, i_f^{jp}]$ — расстояние между последовательно объезжаемыми получателями в jp -м рейсе. Для каждого рейса должно быть выполнено условие грузовместимости, аналогичное неравенству (7.33). Суммарная стоимость плана доставки грузов определяется целевой функцией

$$\varphi(X) = \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^{K_p} C_{l_j}^p \sum_{f=1}^{1+\mu_{jp}} \rho [i_{f-1}^{jp}, i_f^{jp}]. \quad (7.47)$$

Задача заключается в определении оптимального плана X , минимизирующего целевую функцию (7.47) при ограничениях (7.44)–(7.46).

В дальнейшем примем, что непрерывные величины — количество груза Q_i и грузоместимость ТС G_l^p — переведены в дискретные с определенным, заранее выбранным шагом дискретизации.

Уравнения метода динамического программирования для нескольких складов отгрузки. Введем, как и в п.7.1–7.3 для случая одного склада отгрузки, множество $S_k = \{i_1, i_2, \dots, i_l = f, \dots, i_k\}$, составленное из k произвольно выбранных узлов, и узел i , лежащий вне этого множества. Схему формирования маршрутов поясняет рис. 7.8. Формируемый рейс, проходящий через узел i , осуществляется l -м типом ТС и

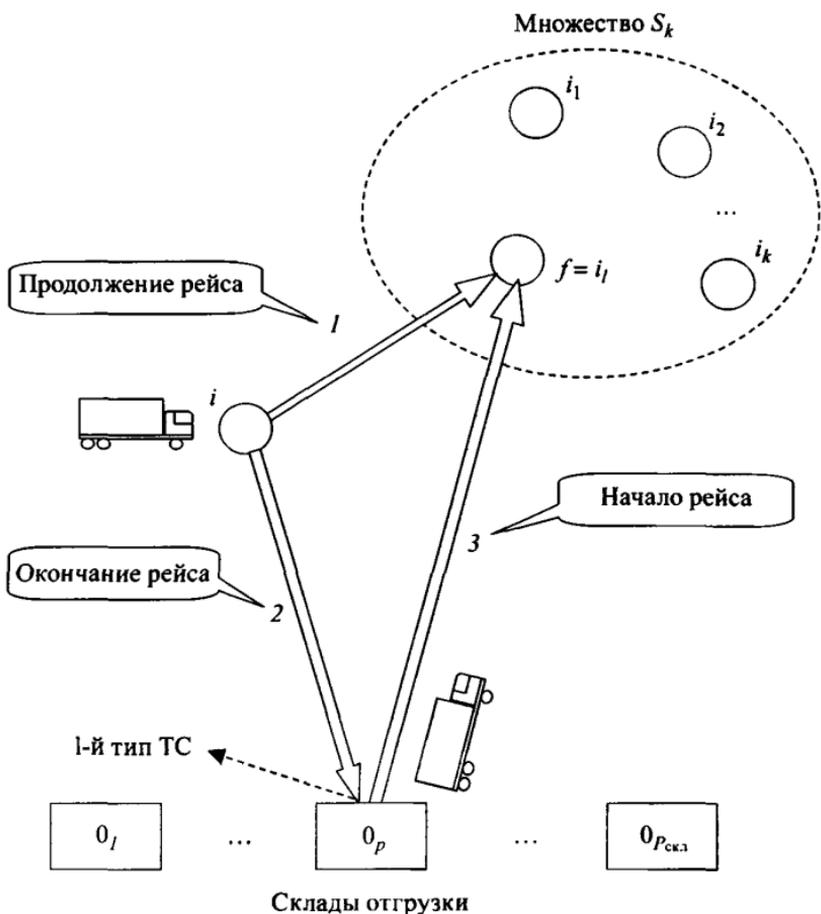


Рис. 7.8. Схема формирования маршрута

начинается в одном из $P_{скл}$ складов отгрузки. Рейс является частью общего оптимального плана. План состоит из одного или нескольких рейсов, исходящих, возможно, из разных складов отгрузки. Рейс плана должен охватить все узлы множества S_k . Данный рейс проходит по маршруту

$$i \neq 0_p \rightarrow S_k \rightarrow 0_p.$$

Длина этого маршрута определяет $(k+1)$ -шаговую целевую функцию $F_{k+1}(p, l, i, j, S_k)$ — стоимость (длину) кратчайшего маршрута, начинающегося из p -го склада отгрузки, выполняемого l -м типом ТС при условии, что на марш-

руте при выходе из узла i ТС будет иметь свободный ресурс грузоподъемности $j = 0, 1, 2, \dots$. Набор аргументов целевой функции представляет собой параметр состояния

$$S = (p, l, i, j, S_k),$$

список компонентов которого расширяется по мере усложнения задачи. В отличие от задачи п. 7.3 здесь появилась новая переменная p — номер склада отгрузки. Склад отгрузки и тип ТС определяются при формировании маршрута вида

$$i = 0_p \rightarrow S_k \rightarrow 0_p.$$

Этому маршруту отвечает целевая функция $F_{k+1}(S_k)$ — стоимость (длина) кратчайшего маршрута, охватывающего все узлы множества S_k и все рейсы, отправляющиеся из всех складов отгрузки. Если множество S_k невозможно или нецелесообразно охватить одним рейсом, оптимальный маршрут будет содержать несколько рейсов, являясь, по существу, планом. Если же множество S_k охватывает все множество узлов, функция $F_{k+1}(S_k)$ представляет собой стоимость искомого оптимального плана.

Функции $F_{k+1}(p, l, i, j, S_k)$, $F_{k+1}(S_k)$ удовлетворяют следующим уравнениям динамического программирования:

$$F_{k+1}(p, l, i, j, S_k) = \min\{\min[C_l^p \rho_{\text{пд } i, f} + F_k(p, l, f, j - Q_f, S_k \setminus f)]; C_l^p \rho_{\text{с. пд } i, p} + F_{k+1}(S_k)\}; \quad (7.48)$$

$$F_{k+1}(S_k) = \min\{C_l^p \rho_{\text{с. пд } p, f} + F_k(p, l, f, G_l^p - Q_f, S_k \setminus f)\}. \quad (7.49)$$

В этих формулах минимум вычисляется по-разному. В формуле (7.48) внутренний минимум отыскивается только по узлам $f \in S_k$; при переборе узлов f для продолжения рейса находится оптимальный узел перехода f_* . Одновременно учитывается условие грузоподъемности

$$j - Q_f > 0,$$

которое определяет возможность захода в f -й узел. Переход из узла i на продолжение рейса через f -й узел множества S_k иллюстрирует стрелка 1 на рис. 7.8. Внешний минимум в формуле (7.48) оценивает возможность возврата (стрелка 2 на рис. 7.8) в исходный нулевой узел 0_p . Узел 0_p соответствует p -му складу отгрузки, из которого начинался формируемый рейс. Из этих двух возможностей в формуле (7.48) выбирают оптимальный кратчайший маршрут. В формуле (7.49) (стрелка 3 на рис. 7.8) минимум вычисляется одновременно по трем переменным: номеру p склада отгрузки, типу $l = 1, 2, \dots, M_p$ транспортного средства, посылаемого из нулевого узла 0_p , и номеру f узла множества S_k (при выбранном типе l). В результате для заданного множества S_k выбирают оптимальные значения следующих параметров: номера склада отгрузки, типа транспортного средства и номера первого узла посещения, означающего начало рейса. Множество $S_k \setminus f$ означает множество, содержащее $k - 1$ элементов и образованное из множества S_k вычеркиванием элемента f .

По формулам (7.48) и (7.49) прокладывается оптимальный маршрут. Согласно выражению (7.48) из узла i необходимо идти в тот узел $f_* \in S_k$ или $f_* = 0_p$, при котором достигается минимум в правой части выражения (7.48). Формула (7.49) позволяет определить оптимальные склад отгрузки, тип ТС, посылаемого из этого склада, и номер $f_* \in S_k$ первого пункта посещения.

Алгоритм динамического программирования для нескольких складов отгрузки. Алгоритм состоит из двух частей.

Прямой ход. Здесь вычисляется все множество значений целевых функций $F_{k+1}(p, l, i, j, S_k)$, $F_{k+1}(S_k)$ при всех значениях своих параметров. С этой целью формируются и перебираются все сочетания S_k по k элементов, начиная от $k = 1$. При $k = 1$ сочетание имеет вид

$$S_1 = f, \quad f = 1, 2, \dots, n.$$

Начальное значение целевой функции $F_{k+1}(S_1)$

$$F_2(S_1) = \min\{2C_l^p \rho_{с. пд. f}\}.$$

Здесь минимум вычисляется по переменным p и l ; при вычислении минимума по переменной l должны учитываться лишь те типы ТС, которые позволяют завозить грузы в узел f по условию грузоместимости.

Начальные значения целевой функции (7.48) определяются выражением

$$F_2(p, l, i, j, S_1) = \min\{C_l^p(\rho_{\text{пд},i,f} + \rho_{\text{с. пдр},f}); \\ C_l^p \rho_{\text{с. пдр},i} + F_2(S_1)\},$$

где первое слагаемое под знаком минимума означает заход из узла i в узел f напрямую, а второе слагаемое учитывает возможность захода через нулевой узел. При этом первое слагаемое учитывается, только если выполняется неравенство $j \geq Q_f$.

После вычисления начальных условий для целевых функций начинается формирование и перебор всех сочетаний по k узлов, $k \geq 2$. Все формируемые сочетания в программном комплексе Route Master записываются в массив Combinations. Размерность этого массива

$$1C_n^1 + 2C_n^2 + 3C_n^3 + \dots + nC_n^k.$$

Здесь C_n^k — число сочетаний из n элементов по k . Каждому новому сочетанию S_k присваивается новый порядковый номер J , которым оно однозначно кодируется. Это позволяет для записи соответствующих целевых функций использовать массивы $F_{k+1}(p, l, i, j, J)$, $F_{k+1}(J)$. Для расчетов (при $k \geq 2$) используются формулы (7.47) и (7.48), позволяющие свести вычисления к уже найденным значениям целевых функций по сочетаниям $S_k \setminus f$ меньшей размерности. Для вызова этих значений ЦФ из памяти необходимо предварительно установить номер сочетания $S_k \setminus f$. Это осуществляется просмотром массива Combinations до отыскания в нем сочетания $S_k \setminus f$.

После отыскания и запоминания всего множества значений целевых функций $F_{k+1}(p, l, i, j, S_k)$, $F_{k+1}(S_k)$ начинается прокладка оптимального маршрута.

Обратный ход. Осуществляется пошаговая прокладка оптимального маршрута с помощью уже найденных целевых функций. Вычисляется значение функции $F_{n+1}(S_n)$, означающее стоимость оптимального маршрута. Множество $S_n = N = \{1, 2, \dots, n\}$ содержит все подлежащие объезду узлы. Одновременно по уравнению (7.49) находятся номер p_* оптимального склада отгрузки, оптимальный тип l_* транспортного средства, который понадобится для осуществления маршрута, оптимальный номер узла f_* , через который проходит оптимальный маршрут $0_{p_*} \rightarrow f_*$. Далее с помощью уравнения (7.48) отыскивается последующий узел. Формируется множество $S_{n-1} = S_n \setminus f_*$. Вычисляется значение свободного остатка грузоподъемности $ostf_*$, с которым грузовик выходит из узла f_* , новое значение целевой функции $F_{k+1}(p_*, l_*, f_*, ostf_*, S_{n-1})$ и направление дальнейшего движения $f_* \rightarrow f_{*1}$ и т. д. Процесс прекращается в момент, когда во множестве S_n остается последний элемент, который и будет последним пунктом посещения, после которого должен следовать нулевой узел. В процессе прокладки маршрута будут меняться склады отгрузки и типы транспортных средств.

Пример решения в программе Route Master. Оценивался на тестовых примерах выигрыш в транспортных затратах, который компания получит, организовав развозку (для одного и того же клиентского плана) из двух складов, по сравнению с вариантом отгрузки с одного склада. Тестовый план содержит $n = 12$ заказов. На площади $[-100; 100] \times [-100; 100]$ км с помощью датчика случайных чисел [49] смоделированы различные варианты расположения клиентов и объема тоннажа заказов. Для обоих складов использован одинаковый парк ТС с $m = 2$ типами грузовиков. Первый тип — ЗИЛ — имеет грузоподъемность 5 т, стоимость 1 км его пробега — 0,8 дол., второй тип грузовика — КамАЗ — грузоподъемность 10 т, стоимость 1 км пробега — 1,2 дол. Для варианта развозки с одного склада предполагается, что склад расположен в начале координат — в центре области указанных выше размеров 200×200 км. Во втором случае при развозке с двух складов первый склад имеет координаты $(-50 \text{ км}, 0)$, а второй — координаты $(50 \text{ км}, 0)$. Стоимость оптимального плана развозки из одного склада —

1051,83 дол. Этот план включает пять рейсов: два рейса КамАЗа (со 100%-ным и 70%-ным использованием грузоподъемности) и три рейса ЗИЛа (из которых два рейса используют грузоподъемность на 100 %, а один — на 60 %). Суммарная стоимость оптимального плана развозки из двух складов — 898,56 дол. План отгрузки со склада 1 стоимостью 729,98 дол. включает четыре рейса: два рейса КамАЗа (со 100 и 70%-ным использованием грузоподъемности) и два рейса ЗИЛа (оба рейса используют грузоподъемность на 100 %). План отгрузки со склада 2 стоимостью 168,57 дол. включает один рейс, выполняемый ЗИЛом со 100%-ным использованием грузоподъемности. Выигрыш плана отгрузки с двух складов

$$\Delta = 1051,83 - 898,56 = 153,27 \text{ дол.},$$

или 17 % при использовании одного и того же парка ТС.

**7.5. РАЗНЕСЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК
ПРИ ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ГРУЗОВ.
РАЗНЕСЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКУ
МЕЖДУ ОТДЕЛЬНЫМИ КЛИЕНТАМИ
ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ МНОГОАДРЕСНЫХ РЕЙСОВ**

Решение вопросов транспортной логистики (выбора маршрута, транспортно-технологической схемы, оптимального сочетания видов транспорта), планирования и организации поставок товаров требует учета всех составляющих логистических издержек, связанных с транспортировкой товаров, в целях оценки их влияния на себестоимость и цену товаров. Доставка товаров, осуществляемая логистическими провайдерами, операторами и экспедиторами интермодальных перевозок, представляет собой последовательность операций, выполняемых над товарными партиями консолидированных и неконсолидированных грузов. Партии товаров могут содержать грузы нескольких неделимых заказов, каждый из которых, в свою очередь, включает ряд товарных позиций (артикулов) в том или ином количестве. Заказы могут быть как однородными по составу (однопро-

дуктовыми), так и неоднородными (многопродуктовыми), когда в состав заказа входит несколько товарных позиций в различных количествах. В процессе перевозок различные заказы могут консолидироваться перевозчиками и экспедиторами. При этом цена за перевозку может выставляться за консолидированную грузовую партию. В целях учета и оптимизации логистических издержек для предприятия чрезвычайно важно разносить все затраты на единицу продукции (заказ, артикул или определенную товарную позицию).

Торговая компания, осуществляющая разнесение на момент поступления товаров на склад, может правильно учесть фактическую себестоимость товаров, установить обоснованную цену продажи. Промышленная фирма, выполняющая разнесение, способна правильно скалькулировать себестоимость выпускаемой продукции. Экспедитор-консолидатор, осуществляющий разнесение затрат на разные грузовые партии, может обоснованно выставить счет грузоотправителям по фактическим затратам на перевозку. Перевозчик сборных грузов, когда в одном рейсе перевозятся грузы нескольких грузополучателей (или отправителей), определяет стоимость доставки по каждому заказу также разнесением стоимости всего сборного рейса.

Формулировка задачи, основные формулы. Способы разнесения затрат. Рассмотрим способы и модели разнесения затрат на единицу товара при выполнении различных логистических операций с партиями неконсолидированных и консолидированных (по заказам) грузов. При разнесении затрат приходится иметь дело с характеристиками различных грузовых единиц:

- единицы товара заданного наименования (розничная единица, штуки, комплекты, ящики, пакеты и др.);
- части заказа, состоящей из единиц товара одного и того же наименования, измеряемой в принятых единицах;
- заказа по многопродуктовой поставке, состоящего из N наименований товаров, каждый из которых представляет однородную часть заказа;
- консолидированной грузовой партии, состоящей из M заказов, возможно, различных грузоотправителей или получателей.

Будем называть любой из этих элементов материального потока *единицей* или *составляющей разнесения*. Каждая из этих единиц характеризуется набором параметров — стоимостью C , количеством n , весом P , объемом V , занимаемой площадью S , массовой ρ и объемной ρ_v плотностями. Массовая и объемная плотности связаны соотношениями

$$\rho = P/V; \rho_v = V/P = 1/\rho. \quad (7.50)$$

Над каждой составляющей в процессе интермодальной перевозки осуществляются разные логистические операции: перевозка (авиационная, автомобильная, железнодорожная, водная), хранение, погрузка, разгрузка, консолидация, за-тарка и т. д. Стоимость логистической операции, подлежащей разнесению, обозначим Z . Операция разнесения величины Z по L составляющим представляется в виде суммы

$$Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_L; Z_k = \alpha_k Z \quad (7.51)$$

L слагаемых с весовыми коэффициентами α_k , где каждый весовой коэффициент α_k означает долю, отводимую k -й составляющей. Весовые коэффициенты обладают следующими свойствами:

$$\alpha_k > 0; \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_L = 1. \quad (7.52)$$

Весовые коэффициенты измеряют в процентах. Например, при разнесении суммы $Z = 1000$ руб. на $L = 2$ единицы разнесения (заказа) и коэффициентах $\alpha_1 = 20\%$, $\alpha_2 = 80\%$ на первый заказ приходится $Z_1 = \alpha_1 Z = 0,2 \cdot 1000 = 200$ руб., а на второй заказ — $Z_2 = \alpha_2 Z = 0,8 \cdot 1000 = 800$ руб.

Методы разнесения различаются способами выбора весовых коэффициентов α_k . Рассмотрим их подробнее.

Равномерное разнесение. Все весовые коэффициенты равны между собой:

$$\alpha_k = 1/L. \quad (7.53)$$

Физически равномерное разнесение применяется только к однопродуктовым заказам, состоящим из единиц товаров одного наименования.

Разнесение по объему. Весовые коэффициенты определяются формулой

$$\alpha_k = V_k/V_{\Sigma}, \quad V_{\Sigma} = V_1 + V_2 + \dots + V_L. \quad (7.54)$$

Способ применяется для разнесения по составляющим с примерно одинаковыми массовыми плотностями. Способ не является обоснованным, например, при разнесении стоимости авиационной перевозки, когда по одной накладной перевозится грузовая партия, состоящая из тяжелых мало-размерных единиц и легких единиц с крупными габаритными размерами.

Разнесение по весу. Весовые коэффициенты выбирают пропорционально весам составляющих

$$\alpha_k = P_k/P_{\Sigma}, \quad P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + \dots + P_L. \quad (7.55)$$

Этот метод чаще применяется, поскольку он соответствует во многих случаях практике задания грузовых транспортных тарифов. Заметим, если составляющие разнесения имеют равные между собой плотности, то формулы (7.54) и (7.55) дают одинаковый результат. Разнесение по весу, так же как и по объему, не является обоснованным при перевозках грузовых партий с существенно различающимися плотностями их составляющих.

Разнесение по платному весу. Платный вес иногда называют приведенным. Это понятие связано с используемым при авиационных перевозках объемным весом P_V . В резолюции 502 ИАТА отмечается, что перевозки авиагрузов, объемная плотность которых больше $6000 \text{ см}^3/\text{кг}$, оплачиваются из расчета, что каждые 6000 см^3 весят 1 кг. Это означает введение условного объемного веса

$$P_V [\text{кг}] = V [\text{см}^3]/6000 = V\rho_{\text{гр}}, \quad (7.56)$$

где плотность $\rho_{\text{гр}} = 1/6000 \text{ кг/см}^3 = 166,67 \text{ кг/м}^3$.

Платный вес определяется по формуле

$$P_{\text{пл}} = \max\{P, P_V\} \quad (7.57)$$

как наибольшее из двух чисел — фактического и объемного весов. Легкие грузы, плотность которых

$$\rho < \rho_{гр}, \quad (7.58)$$

учитываются по объемному весу, тяжелые, с плотностью больше $\rho_{гр}$, — по фактическому весу. При авиаперевозках тариф на перевозку грузовой партии рассчитывается исходя из платного веса и тарифов перевозчика, устанавливаемых к килограмму платного веса. Плотность $\rho_{гр}$ представляет условную границу, разбивающую грузы на группы легких (или объемных) и тяжелых грузов. Разнесение по платному весу является наиболее распространенным при перевозках. Однако значения плотностей $\rho_{гр}$, по которым рассчитывается объемный вес, принимаются различными на разных видах транспорта, логистических операциях и разными перевозчиками.

Разнесение по занимаемой площади. Весовые коэффициенты выбирают пропорционально занимаемой площади хранения

$$\alpha_k = S_k/S_{\Sigma}, \quad S_{\Sigma} = S_1 + S_2 + \dots + S_L. \quad (7.59)$$

Используется для разнесения затрат при хранении товаров на складах.

Разнесение по стоимости. Весовые коэффициенты выбирают пропорционально стоимости единиц разнесения

$$\alpha_k = C_k/C_{\Sigma}, \quad C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_L. \quad (7.60)$$

Используется, например, для разнесения общих затрат (брокерское вознаграждение) на таможенное оформление.

Учет стоимости вложенных в закупку средств. Средства, полученные, например, по кредиту банка, учитывают по формуле

$$C_{рес} = \alpha C(T - T_{пл})/100, \quad (7.61)$$

где C — цена товара в пункте поставки; $T_{пл}$ — момент платежа (получения кредита); T — момент учета стоимости ресурса; α — банковский суточный кредитный процент.

Пример расчетов. Российская компания, выпускающая электронную технику (г. Киров), заключила три контракта с зарубежными поставщиками на поставку комплектующих. Контракт 1 (заказ 1) с тайваньским поставщиком на условии «франко — перевозчик» (FCA, аэропорт Тайбэй), контракт 2 (заказ 2) с американским поставщиком на условии «франко — перевозчик» (FCA, морской порт Нью-Йорка) и контракт 3 (заказ 3) с германским поставщиком на условии «франко — склад поставщика» (ExW, Берлин). В табл. 7.1–7.3 приведены товарные характеристики заказов 1–3. Покупатель (кировская компания) заключила по всем трем контрактам договор с логистическим провайдером.

Т а б л и ц а 7.1

Характеристики товаров заказа 1

Код товара	Наименование	Количество, ед.	Цена, дол./ед.	Вес, кг/ед.	Объем, м ³ /ед.
1	Концентратор EH-1601	150	52	1,37	0,006
2	Концентратор EH-500	100	22	0,73	0,003
3	Коммутатор ENW-3502	306	24	0,25	0,001

Т а б л и ц а 7.2

Характеристики товаров заказа 2

Код товара	Наименование	Количество, ед.	Цена, дол./ед.	Вес, кг/ед.	Объем, м ³ /ед.
1	Монитор ViewSonic17	160	350	17,0	0,150
2	Источник питания 460	300	40	3,5	0,004

Т а б л и ц а 7.3

Характеристики товаров заказа 3

Код товара	Наименование	Количество, ед.	Цена, дол./ед.	Вес, кг/ед.	Объем, м ³ /ед.
1	Корпус AT 200W без БП	150	36	8,0	0,070
2	Корпус AT 200W с БП	100	40	10,0	0,070
3	Корпус ATX 230W с БП	120	50	12,0	0,100
4	Материнская плата SY-62B	130	80	0,7	0,003

ром (Санкт-Петербург) на перевозку на свой склад в г. Кирове. Провайдер предложил следующую схему доставки товаров (рис. 7.9). Заказ 1 транспортируется логистическим провайдером авиационным транспортом по маршруту Тайбэй—Санкт-Петербург, заказ 2 перевозится морским транспортом в 20-футовых контейнерах из Нью-Йорка в Санкт-Петербург, заказ 3 транспортируется автомобилем из Берлина. Все три заказа собираются на складе провайдера в Санкт-Петербурге и далее транспортируются консолидированной отправкой на склад заказчика в г. Кирове.

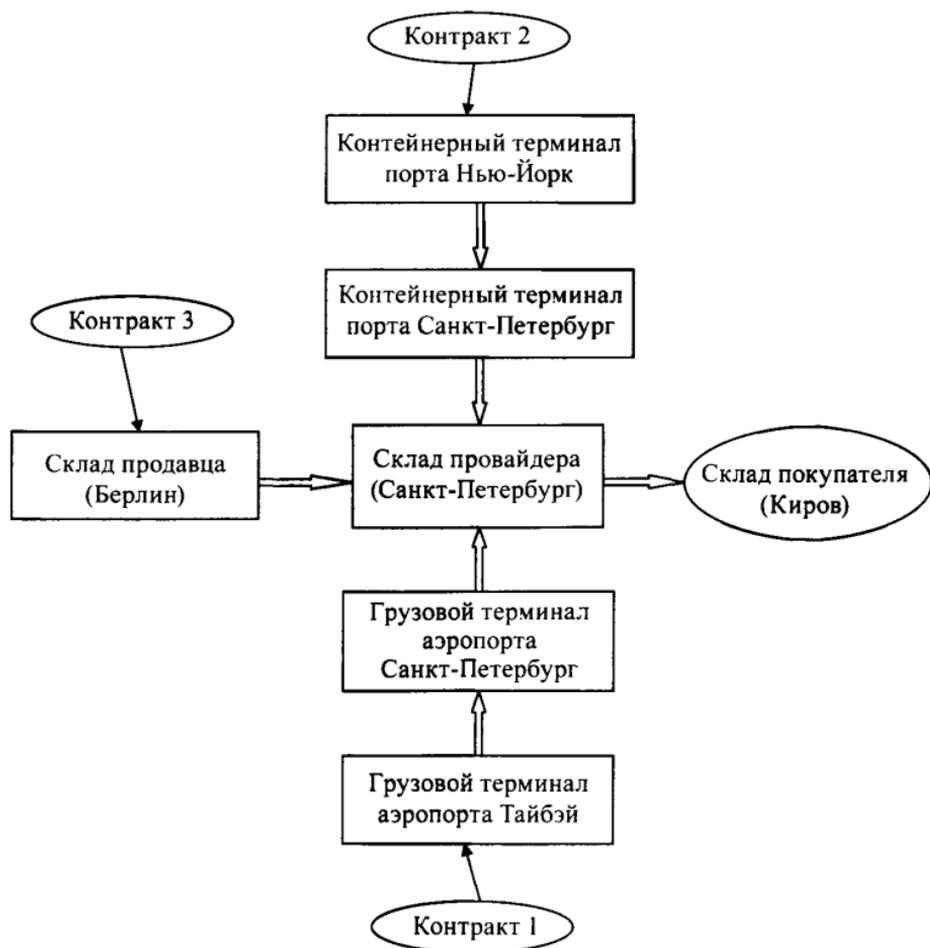


Рис. 7.9. Схемы перевозок, организуемых логистическим провайдером по контрактам 1–3

Рассмотрим пример расчета по разнесению затрат для варианта интермодальной перевозки (включающей авиаперевозку по маршруту Тайбэй— Санкт-Петербург, складирование в Санкт-Петербурге, автомобильную перевозку Санкт-Петербург—Киров) заказа 1. Параметры заказа приведены в табл. 7.1. Заказ состоит из 150 концентраторов EH-1601, 100 концентраторов EH-500, 306 коммутаторов ENW-3502-2T. Банковский кредитный процент принят в размере 0,05 % в сутки.

Авиаперевозка по маршруту Тайбэй—Санкт-Петербург. Стоимость логистической операции $Z = 1000$ дол. По данным табл. 7.1 находим суммарный вес и объем заказа 1:

$$P_{з1} = 150 \cdot 1,37 + 100 \cdot 0,73 + 306 \cdot 0,25 = 355 \text{ кг};$$

$$V_{з1} = 150 \cdot 0,006 + 100 \cdot 0,003 + 306 \cdot 0,001 = 1,506 \text{ м}^3.$$

Массовая плотность заказа

$$\rho = P_{з1}/V_{з1} = 355/1,506 = 235,72 \text{ кг/м}^3$$

больше значения $\rho_{гр} = 166,67 \text{ кг/м}^3$ для авиационной перевозки, поэтому разнесение затрат на авиационном плече будем проводить по фактическому весу. Составляющие затрат на единицу товара 1 (концентратор EH-1601)

$$C_{ав1} = 1000 \cdot 1,37/355 = 3,859 \text{ дол./ед.}$$

Аналогичные составляющие по товарам второго (концентратор EH-500) и третьего (коммутатор ENW-3502-2T) типов:

$$C_{ав2} = 1000 \cdot 0,73/355 = 2,056 \text{ дол./ед.};$$

$$C_{ав3} = 1000 \cdot 0,25/355 = 0,704 \text{ дол./ед.}$$

Правильность разнесения можно проконтролировать следующим образом. Сумма $150 \cdot 3,859 + 100 \cdot 2,056 + 306 \times 0,704$ должна быть равна всей стоимости авиаперевозки, в нашем примере — 1000 дол. Величины $C_{ав1}$, $C_{ав2}$, $C_{ав3}$ —

стоимости авиаперевозки соответствующих единиц товаров — характеризуют авиационную составляющую в логистических издержках.

Складирование заказа 1 в Санкт-Петербурге. Стоимость хранения на складе провайдера в Санкт-Петербурге $Z = 91$ дол. Хранение в данном случае является необходимой услугой провайдера, поскольку груз хранится в ожидании прибытия других заказов. Накопление грузовой партии для формирования загрузки рейса (в данном случае авторейса в г. Киров) является обычной операцией логистических провайдеров. Для операции складирования значение пороговой плотности $\rho_{гр} = 333,33$ кг/м³, что больше рассчитанной выше массовой плотности. Заказ 1 является объемным грузом для хранения. Поэтому будем разносить затраты по объемному весу.

Объемный вес заказа 1

$$P_{V1} = 1,506 \cdot 333,33 = 502 \text{ кг.}$$

Получаем следующие значения составляющих затрат на хранение по каждому из трех типов товаров:

$$C_{хр1} = 91 \cdot 0,006 \cdot 333,33/502 = 0,362 \text{ дол.};$$

$$C_{хр2} = 91 \cdot 0,003 \cdot 333,3/502 = 0,181 \text{ дол.};$$

$$C_{хр3} = 91 \cdot 0,001 \cdot 333,33/502 = 0,06 \text{ дол.}$$

Эти величины характеризуют складскую составляющую на этапе хранения товаров заказа 1 в Санкт-Петербурге.

Автоперевозка по маршруту Санкт-Петербург—Киров. Заказ 1 перевозится в составе консолидированной партии совместно с заказами 2 и 3. Стоимость перевозки $C_{авт} = 700$ дол. Для автомобильных перевозок пороговая плотность [15] $\rho_{гр} = 333,33$ кг/м³. Объемы и веса заказов 2 и 3:

$$V_{32} = 160 \cdot 0,15 + 300 \cdot 0,004 = 25,2 \text{ м}^3;$$

$$P_{32} = 160 \cdot 17 + 300 \cdot 3,5 = 3770 \text{ кг};$$

$$V_{33} = 29,89 \text{ м}^3; P_{33} = 3731 \text{ кг.}$$

Массовые плотности заказов 2 и 3:

$$\rho = P_{32}/V_{32} = 3770/25,2 = 149,6 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho = P_{33}/V_{33} = 3731/29,89 = 124,8 \text{ кг/м}^3,$$

как, впрочем, и заказа 1, меньше $\rho_{\text{гр}} = 333,33 \text{ кг/м}^3$ для автомобильной перевозки. Поэтому разнесение затрат на автомобильном плече будем проводить по объемному весу. Объемные веса заказов и всей грузовой партии:

$$P_{V1} = 1,506 \cdot 333,33 = 502 \text{ кг};$$

$$P_{V2} = 25,2 \cdot 333,33 = 8400 \text{ кг};$$

$$P_{V3} = 29,89 \cdot 333,33 = 9963 \text{ кг};$$

$$P_{V\Sigma} = 502 + 8400 + 9963 = 18\,865 \text{ кг}.$$

Стоимость автомобильной перевозки переносится на заказ 1 в объеме

$$C_{\text{авт.з1}} = 700 \cdot 502/18865 = 18,63 \text{ дол.}$$

Эта сумма должна быть далее разнесена между товарами 1–3, составляющими данный заказ. Разнесение будем проводить по объемным весам товаров. Объемные веса рассчитывались нами выше. В результате получаем составляющие затрат автомобильной перевозки на единицу товара 1 (концентратор ЕН-1601):

$$C_{\text{авт1}} = 18,63 \cdot 0,006 \cdot 333,33/502 = 0,074 \text{ дол./ед.}$$

Аналогичные составляющие по товарам второго (концентратор ЕН-500) и третьего (коммутатор ЕНW-3502-2Т) типов:

$$C_{\text{авт2}} = 18,63 \cdot 0,003 \cdot 333,33/502 = 0,037 \text{ дол./ед.};$$

$$C_{\text{авт3}} = 18,63 \cdot 0,001 \cdot 333,33/502 = 0,0124 \text{ дол./ед.}$$

Суммарные логистические издержки. Значения издержек для товаров заказа 1:

$$C_{\text{лог}1} = 3,859 + 0,362 + 0,074 = 4,3 \text{ дол./ед.};$$

$$C_{\text{лог}2} = 2,056 + 0,181 + 0,037 = 2,28 \text{ дол./ед.};$$

$$C_{\text{лог}3} = 0,704 + 0,06 + 0,0124 = 0,68 \text{ дол./ед.}$$

Разнесение затрат между заказчиками сборного рейса в программе Route Master ComT. Методика разнесения затрат по рейсам заключается в определении доли затрат на доставку конкретному потребителю от суммарной стоимости рейса, которая рассчитывается программой. Минимальная стоимость для выбранного многоадресного рейса, рассчитываемая программой,

$$S = C_{0l} + \sum_{f=1}^{1+\mu} C_{l\rho}[i_{f-1}, i_f] + \sum_{f=1}^{1+\mu} C_{l \text{ пр-р}} T[i_f, i_f]. \quad (7.62)$$

В случае, когда $K = n$ (число рейсов равно числу клиентов), получаем схему доставки товаров «прямой машиной». Тогда стоимость доставки для i -го клиента одноадресным рейсом определяется выражением

$$\varphi_i = C_{0l} + 2C_{l\rho}[i, 0] + C_{l \text{ пр-р}} T[i, i], \quad (7.63)$$

при этом доставка осуществляется оптимальным типом ТС l , для которого выполняется условие грузовместимости. Суммарная стоимость развозки грузов всех клиентов, входящих в выбранный программой сборный рейс, при условии, если бы доставка осуществлялась одноадресными маршрутами,

$$\varphi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (C_{0l} + 2C_{l\rho}[i, 0] + C_{l \text{ пр-р}} T[i, i]). \quad (7.64)$$

Тогда доля затрат по доставке конкретному клиенту определяется как

$$\alpha_k = \varphi_i / \varphi_{\Sigma}. \quad (7.65)$$

С помощью определенного таким образом весового коэффициента осуществляется разнесение затрат между заказами, составляющими общую стоимость (7.62) сборного многоадресного рейса.

Клиент	Разнесение затрат				Экономическая эффективность многоадресного рейса по сравнению с прямой доставкой	
	По тоннажу, руб	По плану, руб	По рейсам, руб	Прямая доставка, руб	Экономия, руб	Экономия, %
1	2232,5	1537,5	1856,6	2796,2	1139,60	40,8
2	1205	1176,5	1004,6	2139,6	1135,00	53,0
3	1116,2	1386,4	1493,8	2521,4	1027,60	40,8
4	1205	1493	1274,8	2715,1	1440,40	53,0
5	1336,7	1551,7	1640,7	2822	1181,30	41,9
6	1336,7	576,75	609,83	1048,9	439,08	41,9
7	1116,2	1707	1839,2	3104,3	1265,20	40,8
8	1336,7	1664,1	1758,6	3026,4	1266,90	41,9
9	1116,2	549,13	591,85	998,66	407,01	40,8
10	1205	1564,3	1335,7	2844,9	1509,20	53,0

Рис. 7.10. Способы разнесения затрат в программе Route Master ComT

Методика разнесения затрат по плану перевозок заключается в использовании весовых коэффициентов, определяемых формулой (7.65). Но формула (7.65) применяется не к каждому сборному рейсу в отдельности, составляющему часть общего многорейсового плана, а ко всему плану.

При разнесении затрат по тоннажу заказов доля затрат на доставку товара клиенту в сформированном программой рейсе товара определяется отношением массы заказа клиента к общему тоннажу грузовой партии на рейсе.

В программе Route Master ComT реализованы три приведенных способа разнесения затрат в виде выходной формы «Разнесение затрат» (рис. 7.10). Полученные результаты расчетов служат основанием для выставления счетов клиентам за оказанные транспортные услуги. Программа определяет затраты на доставку конкретному клиенту по различным критериям — тоннажу заказа, путем разнесения затрат по всему плану перевозок и по отдельным рейсам. В форме отражается экономическая эффективность от организации многоадресных рейсов по сравнению с одноадресной доставкой, выраженная в денежных единицах и процентном отношении.

УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ И МАТЕРИАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ НА СКЛАДЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

8.1. ЭЛЕМЕНТЫ СКЛАДСКОГО ПРОЦЕССА. СПРАВОЧНИКИ, ТОПОЛОГИЯ, ЗОНЫ, ОБЛАСТИ, ЯЧЕЙКИ

Склад — обособленная структурированная область пространства, предназначенная для приема, хранения, внутренней переработки и отгрузки (отпуска) товара или грузов. Участники процесса управления материальным потоком представлены на рис. 8.1.

Входной поток формируется товарами, принимаемыми от поставщиков, и возвращаемой клиентом тарой.

В *зоне выгрузки* размещаются поступающие товары непосредственно после их выгрузки из транспортных средств. Зона выгрузки включает, например, ворота 1, 2, пандус склада.

В *зоне приемки* принимается товар, оформляются приходные документы. Зона приемки предназначена для товаров, выгруженных из транспортных средств и участвующих в процедуре входного контроля. Товар здесь принимается под ответственность материально-ответственного лица (МОЛ) — кладовщика. Разгрузка и размещение товара осуществляются грузчиками, использующими погрузочно-разгрузочное оборудование (тележки, погрузчики), предназначенное для выполнения складских работ. Параметры приходных документов вводятся в складской компьютер.

На складе может быть выделена также *зона карантина*, предназначенная для товаров, проходящих процедуру карантина, а также для товаров, возвращенных покупателями до принятия решения об их дальнейшем движении.

Полученный товар размещают в *основной зоне хранения* склада. Зона хранения, как правило, имеет сложную иерархическую структуру и состоит из различных зон, выделенных для разных групп товаров. Зона основного хранения может включать *активную подзону* (ячейки на нижних

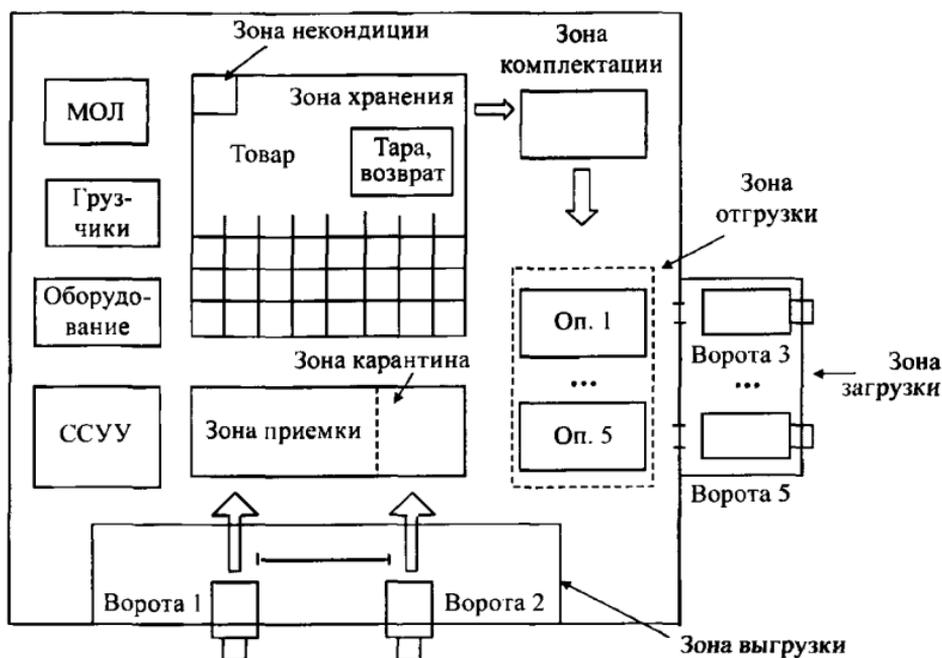


Рис. 8.1. Участники и технологические зоны логистической компании

уровнях хранения; другое название — зона отбора) и *резервную подзону* (ячейки на верхних ярусах хранения, трудно доступные для отбора).

Порожнюю тару, возвращаемую из рейса, хранят в *зоне хранения тары*.

Зона некондиции предназначена для хранения товаров с потерей товарного вида, нарушением целостности упаковки, дефектных, с истекшим сроком реализации и т. д.

Зона комплектации и упаковки предназначена для сборки клиентских заказов. Товары, отобранные из зоны хранения в соответствии с заказом клиента (документом на отгрузку), комплектуют и пакетируют на поддонах. Сформированные новые грузовые единицы кодируют, маркируют и направляют в зону отгрузки на выделенную под доставочный рейс отгрузочную площадку.

Зона отгрузки состоит из площадок отгрузки, предназначенных для накопления грузовой партии рейса, хранения отгружаемых товаров и грузовых единиц до момента их загрузки в транспортные средства.

Зона загрузки предназначена для размещения отгружаемых товаров и грузовых единиц перед их непосредственной загрузкой в транспортные средства. В зоне загрузки происходит выходной контроль. После выходного контроля сформированной партии и проверки ее соответствия документу отгрузки товары передают водителю и погружают на автомобиль. За каждой площадкой загрузки закреплены соответствующие ворота, через которые происходит загрузка автомобиля.

Система складского учета и управления (ССУУ). Планирование и управление всеми операциями по физическому перемещению элементов материального потока на складе осуществляются информационно-управляющей системой склада или, по-другому, системой складского учета и управления (ССУУ, англ. — Warehouse Management System — WMS). Вся нормативно-справочная информация хранится в справочниках ССУУ.

Справочник «Номенклатура». Предназначен для ввода и хранения информации обо всех элементах материального потока, с которыми работает склад. Представляет собой классификатор элементов материального потока, построенный по иерархическому принципу и имеющий, как правило, неограниченное количество уровней вложенности. Каждый элемент справочника «Номенклатура» принадлежит одному из трех типов номенклатуры: товар, груз или транспортная единица.

Тип номенклатуры «Товар» включает различные товарные группы (например, «Бытовая техника», «Продукты питания», «Компьютерные комплектующие», рис. 8.2). Каждая товарная группа имеет свою иерархическую структуру, которая образует дерево. Нижний уровень содержит наименование товара (или товарную позицию, например «Печь СВЧ», «Сок „Нико“ томатный»).

Товарная позиция нижнего уровня идентифицируется уникальным штриховым кодом производителя, например EAN-13. Товары с одними и теми же наименованием и характеристиками, но поставляемые в разных розничных упаковках, например 0,5, 1 или 2 л, имеют различные товарные позиции.



Рис. 8.2. Пример классификатора, тип номенклатуры товара. Уровень товарной позиции привязан к единицам хранения

Элементы типа номенклатуры «Груз» представляют собой укрупненную грузовую единицу (грузовое место), состоящую из определенных товарных позиций. Каждый элемент, относящийся к типу номенклатуры «Груз», создается после отбора товара из зоны хранения в результате процедуры упаковки. Элементы данного типа, как правило, не имеют, в отличие от товаров, определенного наименования. Они имеют коды, например «Груз № 007». Состав груза содер-

жится в упаковочном листе. Груз имеет уникальные габаритные характеристики, которые вводятся оператором ССУУ вручную. После упаковки товара все дальнейшие складские операции выполняются с грузом как с единым целым без учета товарного состава груза. Получить информацию о составе груза можно из упаковочного листа.

Каждый элемент типа номенклатуры «Транспортная единица» (ТЕ) представляет собой группу товаров или грузов, пакетированную на одном грузоносителе (палета, короб, контейнер и т. п.), учитываемую и перемещающуюся по складу как единое целое. При формировании транспортной единицы на складе в ее состав отбирают товары или грузы по разным признакам:

- по одному рейсу — на одну ТЕ могут быть установлены только грузы по одному рейсу;
- по одному заказу на отгрузку — на одну ТЕ могут быть установлены только грузы по одному заказу;
- по одному контрагенту — на одну ТЕ могут быть установлены только грузы по одному контрагенту.

Если при приемке товар поступает как отдельная транспортная единица, то ССУУ будет размещать ТЕ как единое целое, при этом в системе сохраняется информация о товарном составе ТЕ. Товар может перемещаться между ТЕ. На этапе отгрузки на одну ТЕ может быть размещено несколько грузов. Каждая ТЕ относится к определенному типу ТЕ.

Формируемые и используемые типы содержатся в справочнике типов ТЕ. Транспортные единицы формируются с помощью специальной процедуры «Генерация ТЕ», которая отображает список товаров, вошедших в состав транспортной единицы. Все применяемые на складе транспортные единицы содержатся в справочнике «Типы транспортных единиц».

Каждый товар, груз или транспортная единица кодируются, например, штриховым кодом (ШК). Значение ШК представляет собой уникальную комбинацию, однозначно идентифицирующую комбинацию номенклатуры, единицы хранения, качество, сроки годности, серийные номера и партию товаров. Может быть задано несколько разных ШК для одной и той же единицы хранения. Напротив, один и

тот же ШК нельзя определить для разных единиц хранения. ШК единиц хранения в системе должен быть уникальным.

Справочник «Контрагенты». Содержит всю необходимую информацию о поставщиках и покупателях.

Справочник «Единицы хранения». Товары разных товарных позиций хранятся и обрабатываются на складах в разных единицах хранения (палета, коробка, штука и т. д.). Список единиц хранения определяется для каждой номенклатурной позиции в отдельности. Например, товар «Сок „Нико” томатный, упаковка 1 л» может храниться в палетах и штуках (литровый бумажный пакет).

Каждая позиция (наименование) номенклатуры характеризуется базовой единицей хранения. Базовой называется единица хранения (позиции номенклатуры), по отношению к которой пересчитываются все остальные единицы хранения (например, штука, пачка, пакет). Так, позиция «Печь СВЧ» используется в двух единицах хранения: штуках (базовая единица) и палетах.

Кроме базовой позиция номенклатуры имеет другие единицы хранения. В частности, товарные позиции, относящиеся к товарной группе «Сигареты», могут иметь единицы хранения: «пачка», «блок», «коробка», «палета».

Все единицы хранения, закрепленные за каждой товарной позицией (из номенклатуры товаров), образуют согласно взаимной вложенности дерево единиц хранения, где единицы хранения располагаются сверху вниз, от большей единицы к меньшей. Все единицы хранения кодируются цифрами, имеют определенное, закрепленное в ССУУ наименование, линейные размеры, объем и вес. Родителем называется более крупная единица хранения, в которую вложена данная единица хранения. Характеристики родительской единицы выражаются в базовых единицах. Например, родительская единица «Палета (8)» содержит восемь базовых единиц (штук).

Справочник «Топология». Содержит все данные об иерархической структуре складского пространства. Верхний уровень структуры имеет основные технологические зоны (см. рис. 8.1). Каждая из этих зон имеет собственное структурное деление. Например, зона хранения разбита на подзоны:

«Грузовые стеллажи», «Полочные стеллажи», «Хранение тары», отгрузки на отгрузочные площадки и т. д. Детализация каждой из подзон зоны хранения может включать разделение на этажи, проезды, стеллажи, ярусы, ячейки.

Ячейка — нижний, минимальный уровень дробления структуры складского пространства. Понятие ячейки имеет широкую интерпретацию. Фактически ячейкой может быть любое возможное место хранения товарного запаса, например ячейка грузового стеллажа, ячейка полочного стеллажа, зона комплектации, отдельное помещение или комната. Одно время физики считали атом пределом делимости вещества. Подобно атому, ячейка — предел делимости топологии склада.

Товарная или грузовая единица хранится в выделенной под нее ячейке. Для определения местонахождения товара каждой ячейке присваивают свой адрес, по которому она идентифицируется. Такая система адресного хранения позволяет в любой момент в точности определить адрес ячейки. Обычно адрес ячейки имеет следующий идентификатор: склад → этаж → проезд → стеллаж → ярус → позиция.

К топологии склада относятся распределение ячеек по областям в зависимости от специфики хранения и обработки товара, распределение ячеек по рабочим зонам в зависимости от необходимого для работы с ними оборудования. Поступивший на склад после приемки товар направляется в предназначенную для него область размещения, где он хранится для последующих операций, например отгрузки. Товар, выбранный для отгрузки под определенный заказ, отбирают из области отбора. Например, в качестве области размещения единиц хранения «штука» отдельной группы товаров может выступать несколько ярусов стеллажа, а в целях ускорения обработки заказа под штучный отбор выделяют более доступный нижний ярус, определяемый в ССУУ как область штучного отбора этих товаров. Для палет могут быть выделы в качестве области размещения и отбора верхние ярусы системы хранения.

Справочник «Области размещения». Разбиение зоны хранения на области необходимо для оптимальной организации бизнес-процесса на складе. Принцип формирования

областей размещения — разбиение зоны хранения D на непересекающиеся множества

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n.$$

Каждая область размещения D_i формируется по принципу «товарная группа — единица хранения». Все введенные области размещения кодируются и вводятся в справочник «Области размещения». Вот примеры кодировок областей размещения:

- 001 — палетное хранение бытовой техники;
- 002 — штучное хранение бытовой техники;
- 003 — палетное хранение продуктов питания;
- 004 — штучное хранение продуктов питания;
- 005 — палетное хранение компьютерных комплектующих;
- 006 — штучное хранение компьютерных комплектующих;
- 007 — область размещения транспортных единиц;
- 008 — область размещения грузов;
- 009 — область размещения брака.

В процессе приемки при введении наименования поступившей товарной единицы и единицы ее хранения (как правило, палеты) компьютер автоматически восстанавливает код товарной группы, по которой сформирована область размещения, и отыскивает предназначенную для нее область размещения. Выделенные под товар основные области называют еще штатными. Могут быть заданы дополнительные области для временного хранения товаров в случаях, когда штатные области заполнены полностью, — внештатная и критическая области размещения. При невозможности размещения товара в штатную область хранения ССУУ размещает его во внештатную, а если и эта область заполнена, то в критическую область размещения.

Справочник «Области отбора». Области отбора формируются аналогично областям размещения. Каждая из этих областей кодируется. Примеры кодировок областей отбора:

- 001 — штучный отбор бытовой техники;
- 002 — штучно-коробочный отбор продуктов питания;
- 003 — штучный отбор компьютерных комплектующих;
- 004 — штучный отбор транспортных единиц.

Такого типа области отбора формируются, если товары со склада отгружаются в штуках (коробках), возможно, в пакетированном виде транспортных единиц или отдельных грузов. Если товары отгружаются в палетах, то вводят новые области отбора, например, 005 — палетный отбор бытовой техники.

К числу реквизитов каждой ячейки добавляются коды областей размещения и отбора, что позволяет автоматически планировать размещение и отбор товара из соответствующих ему областей.

Области размещения и отбора могут пересекаться. Ячейки некоторых областей размещения могут и не относиться ни к какой из областей отбора. Такие ячейки используются для подпитки освобождающихся по мере отгрузки ячеек отбора. Подпиткой называется любое внутрискладское перемещение товара в целях пополнения запасов в определенной ячейке. Между ячейками устанавливаются отношения подпитки. Например, ячейка коробочного хранения подпитывается перемещением товара из ячейки палетного хранения. Палеты, доставленные в нужную ячейку, растариваются, и в ССУУ фиксируются изменения запасов в обеих ячейках.

Справочник «Рабочие зоны». Рабочие зоны разбивают складское пространство на области, за которыми закрепляют определенное оборудование, обслуживающее их, и (или) персонал. Такое закрепление необходимо для распределения ресурсов (оборудования, рабочих) при выполнении операций. При планировании составляют документ на выполнение складской операции, а ССУУ записывает в качестве исполнителя рабочего, обслуживающего данную рабочую зону. Примеры рабочих зон:

001 — верхние ярусы грузовых стеллажей, за этой зоной закреплены штабелер и водитель;

002 — нижние ярусы грузовых стеллажей, за этой зоной закреплены складские рабочие с вилочной тележкой;

003 — полочные стеллажи, за этой зоной закреплены складские рабочие с вилочной тележкой;

004 — зона комплектации, за этой зоной закреплены комплектовщики;

005 — зона приемки, за этой зоной закреплены кладовщики и товароведы, отвечающие за приемку поступившего товара;

006 — зона отгрузки, за этой зоной закреплены кладовщики и экспедиторы, отвечающие за отгрузку заказов.

Качество является обязательным признаком товара и указывается во всех документах, оформляющих складские операции с товаром. По умолчанию в справочнике всегда существуют такие категории, как «брак», «кондиция».

Модели складского учета. Текущие запасы (остатки) товаров на складе могут иметь различные варианты учета остатков, например учет по срокам годности, по партиям товара, по серийным номерам. Для учета товаров по «Партии товаров» при приемке в ССУУ автоматически генерируется номер партии. Серийный номер назначается для каждой единицы хранения. Учет по серийным номерам необходим для отбора товара с конкретным серийным номером. Для разных единиц хранения одного и того же товара могут быть установлены разные модели учета.

8.2. ОПИСАНИЕ ЯЧЕЕК, ИХ ИНФОРМАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ

Описание ячейки включает полный перечень всех параметров (реквизитов), характеризующих ее состояние в каждый момент времени, необходимый для организации складского процесса и управления товародвижением на складе. Детальный перечень параметров, включаемых в ее описание, и представление данных зависят от вида ячейки. Параметры удобно записать в виде n -мерной величины

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где величины x_i являются целочисленными или вещественными, в ряде случаев конечномерными или даже массивами. Каждая из этих величин характеризует тот или другой важный для управления параметр состояния. Рассмотрим некоторые важные примеры.

Ячейка палетного хранения. Ячейка предназначена для хранения товара, пакетированного на поддоне.

Параметр $x_1 = 1, 2 \dots$ представляет собой внутренний код ССУУ, идентифицирующий ее. Поиск нужной ячейки осуществляется перебором по переменной x_1 .

Переменная x_2 определяет тип ячейки (например, грузовой или полочный стеллаж) и ее номинальные параметры — габаритные размеры, грузопместимость по объему и тоннажу.

Переменная x_3 содержит набор величин, определяющих адрес ячейки, например № склада, № этажа, № проезда, № стеллажа, № яруса, № ряда (позиции). Введение в адрес номера склада дает возможность планировать складские процессы на разных складах, например отгрузку, с помощью одного компьютера.

Переменные x_4, x_5, x_6 содержат коды соответственно основной, внештатной и критической областей размещения, переменная x_7 — код области отбора.

Переменная x_8 содержит параметры, характеризующие состояние (статус) ячейки с точки зрения ее заполнения, и коды документов, по которым изменяется состояние размещаемого груза. Нулевой статус означает, что ячейка свободна и может быть использована для размещения товара или груза. Статус $x_8 = 1$ («Ячейка на размещении») присваивается ячейке программой автоматического размещения в процессе ее работы, когда программа подобрала для размещения в ней пакет № (запланированный приход). Этот статус характеризуется дополнительными параметрами — кодом документа (листа) размещения № и кодом № пакета, запланированного к размещению. Код листа записывается программой формирования документа, планирующей размещение. В этой же программе формируется код, идентифицирующий пакет как единицу складского хранения. Этот код печатается на отдельной этикетке в виде штрихового кода и должен быть приклеен на поддон в процессе приемки поступившей партии. Код пакета содержит информацию о наименовании товара, параметрах поставки, к которой данный пакет относится. Ячейка находится в статусе на размещении до момента, когда оператор ССУУ изменит ее

статус на статус хранения. Значение статуса $x_8 = 2$ («Ячейка на хранении») с указанием кода размещенного пакета означает, что ячейка занята под хранение пакета с кодом №. Аналогично формируется статус $x_8 = 3$ («Ячейка на отборе или на подпитке») с указанием кода номера документа подпитки (отбора). Перемещаемый товар понимается как запланированный расход в данной ячейке. Этот статус присваивается программой планирования подпитки, формирующей соответствующий документ, в момент, когда программа запланировала ее содержимое (пакет №) на подпитку. После подпитки этот статус изменяется на нулевой статус «Ячейка свободна». Статус $x_8 = 4$ («Ячейка заблокирована») с указанием кода статуса, в котором она заблокирована, может быть использован для резервирования товара под конкретный планируемый заказ или для инвентаризации, когда необходимо «заморозить» содержание проверяемой зоны или стеллажа.

Переменная x_9 содержит код рабочей зоны, к которой относится ячейка с закрепленными за ней оборудованием и обслуживающим рабочим. Переменная x_{10} определяет операции с ячейкой с точки зрения моделей учета хранимых товаров (в частности, сроки хранения, партии товаров, серийные номера). Эта переменная определяет возможность размещения в одну ячейку штучных или коробочных товаров разных наименований, учитывает сроки хранения товаров. Нулевые значения параметра x_{10} означают, как в случае палетного хранения, что этот параметр специальным образом не выделяется.

Ячейка штучного хранения с идентификацией единицы товара. Предполагается, что в ячейке могут храниться различные по потребительским свойствам и наименованию (например, относящиеся к группе «Бытовая техника») товарные единицы. Каждая единица товара имеет индивидуальный код для ее учета и планирования. Код присваивается, как и в случае ячеек палетного хранения, в момент приемки товара на складе. Код определяет серийный номер единицы хранения и другие ее уникальные параметры. Общее количество размещаемых единиц в ячейке обусловлено ее грузоместимостью и габаритными размерами товаров.

Возможность размещения новой единицы товара определяется лишь свободным объемом ячейки и соответствием данной модели учета. Такого типа ячейки кодируют параметром $x_{10} = 1$.

Отличие ячейки штучного хранения от ячейки палетного хранения заключается в формировании параметров ее состояния. Состояние $x_8 = s = (s_1, \dots, s_n)$ записывается отдельно по каждой хранимой в ячейке единице товара. Если ячейка полностью свободна, то параметр равен нулю. По каждому из хранящихся единиц параметры s_i изменяются независимо друг от друга. Они принимают соответственно значения, отвечающие состояниям «Товар код № на размещении, документ №», «Товар код № на хранении», «Товар код № на отборе, документ №».

Параметры x_{11} и x_{12} хранят данные о свободных ресурсах ячейки — соответственно об объеме и о тоннаже. Эти данные необходимы для оценки возможности ее пополнения. При размещении новой единицы или отборе хранимой параметры пересчитываются.

Ячейка штучного хранения монотовара без его идентификации. Предполагается, что в ячейке могут храниться товары одного и того же наименования в штуках, относящиеся к одной партии, одинаковые по потребительским свойствам и наименованию (например, «Сок „Нико”, заданный код EAN-13, литровые пакеты»). Каждая единица товара не имеет индивидуального кода. Пополнение ячейки товарами других наименований или точно таким же товаром, но другой партии запрещено. При подпитке ячейки просматриваются ячейки палетного хранения, отыскивается по коду размещенного пакета товар нужного наименования и необходимой партии и планируется его перемещение в данную ячейку. В том случае, если требуемый пакет не найден, ССУУ должна просмотреть ячейки штучного хранения, запланировать их очистку и сбор (перемещение) содержащихся в них единиц в одну. Контроль с учетом партии поставки позволяет упорядочить отгрузку товаров со склада с учетом порядка их поступления.

Общее количество размещаемых единиц в ячейке определяется ее грузоместимостью и габаритными размерами

товаров. Возможность размещения новой единицы товара определяется лишь свободным объемом ячейки и соответствием данной модели учета. Такого типа ячейки кодируют параметром $x_{10} = 2$.

Параметр состояния $x_8 = s = (s_1, \dots, s_n)$ включает код хранимого товара, код партии поставки, количество штук (в базовых единицах), находящихся на хранении, количество штук, находящихся на размещении по документу №, количество штук, находящихся на отборе по документу №. Параметры x_{11} и x_{12} , как это отмечалось выше, хранят данные о свободных ресурсах ячейки — соответственно об объеме и о тоннаже.

8.3. ОСНОВНЫЕ СКЛАДСКИЕ ОПЕРАЦИИ, ПРИЕМ ПОСТАВКИ И РАЗМЕЩЕНИЕ ТОВАРОВ

Разгрузка и приемка товара. Товары прибывают на склад с комплектом товаросопроводительных документов (накладных на товары). Данные о поступившей партии находятся также в корпоративной системе управления материальными потоками, где приводят код и содержание заказа поставщику. Заказ поставщику делает менеджер головного офиса (отдела закупок), ответственный за пополнение запасов данного склада.

Процедура приемки включает выгрузку товара в зоне выгрузки (или приемки), пересчет поступивших товаров, маркировку для идентификации товара как единицы складского хранения и другие операции. Приемку производят по количеству мест в присутствии водителя, сверяются фактическое количество с количеством, указанным в накладной. В накладной кладовщик указывает код и наименование товара, количество поддонов, количество единиц (коробок) на поддоне. Код, наименование, количество кладовщик определяет по специальной этикетке на транспортном пакете, который маркирует поставщик (завод-производитель). После пересчета товаров кладовщик подписывает накладную, ставит печать, подписывает документы для водителя и путевой лист. При приемке могут обнаружиться расхождения с количеством, заявленным в накладной, — недостача,

излишек, брак. В таких случаях составляют акт, который подписывает водитель.

Прием поставки оформляется документом «Приемный лист». Обычно он оформляется на основании планируемой поставки по ее прибытии, для чего в ССУУ предусмотрена опция «Ожидаемая приемка». С ее помощью содержание заказа, сформированного в отделе закупок, переносится в документ приемки. Документ приемки, как и любой другой оформляемый в ССУУ документ, имеет уникальный номер, по которому могут быть восстановлены все фактические данные о поступившей поставке. В шапке документа «Приемный лист №» вводятся все его реквизиты: код заказа поставщику, поставщик, адрес приемки — № ворот зоны выгрузки или зоны приемки, где товары принимаются. Адрес приемки относится к определенной рабочей зоне, за которой закреплены необходимое оборудование (например, терминал сбора данных) и персонал. В соответствующем поле шапки указывают фамилию исполнителя. Табличная часть документа представляет собой содержание заказа в разрезе товар — количество. Документу автоматически присваивается статус «Создано».

Технология работы предполагает распечатку документа «Приемный лист №» и передачу его исполнителю приемки. При печати статус документа переходит из состояния «Создано» в состояние «В работу». Рабочий после приемки товара и фактического пересчета возвращает документ приемки с занесенными фактическими данными. В соответствии с фактическими данными о поступившей партии оператор ССУУ вносит необходимые изменения в электронный документ и выполняет проводку документа. В результате проводки статус документа приемки изменяется на «Выполнено». Содержащиеся в нем фактические данные о поступившей партии сохраняются в ячейке ССУУ, указанной в поле «Адрес приемки».

При поступлении каждого нового наименования товара в ССУУ происходит поэлементная запись состава палеты. Запись закрепляет за новым наименованием новые единицы хранения и их соотношение в виде дерева используемых единиц хранения. Дерево единиц хранения фиксирует степень дробления палеты на более мелкие единицы и их

количественное соотношение между собой. Примером такой записи является запись единиц измерения: палета → коробка → комплект (или упаковка) → штука (розничная единица) — и соотношения между ними: 1 палета = 84 коробки × × 20 комплектов × 12 штук = 20 160 штук.

В процессе приемки можно выполнить маркировку товаров этикетками со штрихкодом, если таковая у товаров отсутствует. Как правило, все поступившие единицы товаров подвергаются складской маркировке для их идентификации и учета. Если принимаемые товары учитываются в разрезе сроков годности, то необходимо при приемке ввести в ССУУ эти параметры. Для гарантийного возврата товара поставщику можно при приемке зафиксировать серийные номера полученного товара.

Планирование размещения поступившей партии. Эта операция предполагает перемещение поступившего товара принятой поставки из определенной ячейки в зоне приемки, где поставка хранится (ячейка-источник), в ячейки зоны хранения (ячейки-стоки, или получатели). Ячейки-стоки относятся к области размещения соответствующего наименования товаров (товарная группа — единица хранения). Операция сначала виртуально планируется в ССУУ, потом происходит физическое перемещение. Его результат вводится в ССУУ.

Планирование осуществляется с помощью документа «Планирование размещения», который запускает вычислительные процедуры. Все исходные данные вводятся в шапку документа. Основной из них — документ приемки, для которого планируется размещение товаров. Операция размещения состоит из двух частей:

- взять товары наименования ..., единица хранения «палета», в количестве ... единиц из ячейки с адресом № в зоне приемки;
- положить указанные товары в количестве ... единиц в ячейку с адресом ... области размещения.

Операция типа «Взять» представляется в виде табличной части, содержащей подбор товаров из соответствующего документа приемки. Для выполнения операции типа «Положить» программа запускает процедуру поиска соответствующих ячеек-стоков.

Алгоритм автоматического размещения. Примем, что партия содержит несколько наименований товаров, поступаемых в палетах. Выбираются первое наименование и поступившее количество палет. По коду товара и единице хранения (палета) разыскивается выделенная под нее область размещения. Поиск нужной ячейки осуществляется перебором переменной $x_1 = 1, 2, \dots$, представляющей собой внутренний код ячейки в ССУУ. При переборе просматриваются другие переменные x_i , характеризующие тип ячейки, область размещения, к которой она относится, и параметры ее состояния. Просматриваются свободные ячейки в области размещения. В каждую свободную ячейку происходит запись размещения. Поддону присваивается текущий порядковый номер, записываются код товара и № приемного документа (или накладной). На момент работы программы ячейке присваивается статус «На размещении».

Если в результате работы алгоритма нужная ячейка не найдена, то запускается подпрограмма поиска ближайших свободных ячеек из внештатной и критической областей размещения.

В том случае, если количество свободных ячеек больше, чем количество поступивших палет, возможны различные алгоритмы выбора нужной ячейки. Простейший алгоритм заключается в выборе первой свободной ячейки в порядке перебора по переменной $x_1 = 1, 2, \dots$ Однако может быть целесообразным использовать дополнительные соображения. Например, в соответствии с АВС-классификацией товаров необходимо обеспечить размещение товаров большего спроса (группа А) ближе к месту комплектации и ячейкам отбора. Можно использовать правило размещения поступивших товаров внутри и по краям области, занятой товарами того же производителя или близкой подгруппы товаров. Это правило позволяет размещать товары «более кучно», что удобно для визуального контроля и инвентаризации.

Когда размещены (виртуально) все палеты, указанные в документе приемки, программа распечатывает на принтере комплект этикеток на принятую партию и документ (лист) размещения.

Этикетки предназначены для маркировки поддонов. На этикетке указываются: код поддона, код товара, его словесное описание, номер накладной, количество коробок, количество единиц товаров в коробке, общее количество единиц в транспортном пакете, дата размещения, время размещения, статус («Брак», «Инспекция»). Могут быть указаны адрес ячейки и другая информация.

Документ (лист) размещения представляет собой инструкцию водителю штабелера по развозке и размещению поступившей партии в зоне хранения. В нем для каждой операции типа «Взять» пакет с кодом № указывается операция «Положить» в ячейку с адресом размещения. В процессе поиска нужной ячейки просматривается ее параметр x_9 , характеризующий рабочую зону, к которой ячейка относится, и определяется водитель штабелера, которому запланировано размещение.

Формирование документа размещения закончено. Он имеет статус «Создано».

Физическое размещение. Комплект этикеток передается помощнику кладовщика, который наклеивает этикетки на каждый поддон таким образом, чтобы этикетка строго соответствовала данному наименованию товаров, была надежно закреплена на поддоне и доступна для прочтения. *Маркировка* — это размещение на поддоне этикетки с информацией, необходимой для последующей четкой идентификации материала (готовой продукции) и его статуса.

Распечатанный лист размещений отдается водителю штабелера, который по нему отыскивает с помощью этикетки нужный поддон, размещает его в указанный адрес для хранения. При печати изменяется статус документа размещения на статус «В работу».

После размещения согласно листу размещения всей поступившей партии водитель ставит отметку — свой идентификационный код — на листе размещения и расписывается. Идентификационный код присваивается каждому водителю погрузочно-разгрузочной техники, каждому участнику погрузочно-разгрузочных операций на складе. Он необходим для учета производительности работников. Вся информация о количестве перемещенных палет хранится в специальном

архиве базы данных. Выполнив работу, водитель отдает лист размещения оператору ССУУ.

Подтверждение размещения на складе. Оператор базы данных подтверждает размещение на основании листа размещения. Фактически это осуществляется проводкой документа размещения. Его статус изменяется на «Выполнено». При проводке программа просматривает ячейки, записанные в листе размещения. В ячейках-источниках, откуда товары взяты, делаются пометки о их заборе. В ячейках-стоках, которые были зарезервированы под эти наименования, изменяется значение статуса $x_8 = 2$ («Ячейка на хранении») с указанием кода размещенного пакета. Размещение поступившей партии заканчивается. Товары считаются размещенными на хранение и готовы к дальнейшим складским операциям (отбор, упаковка и пр.).

Особенности товаров и их складской обработки (негабаритный товар, температурные особенности хранения, брак, АВС-классификация, штучное хранение, коробочное хранение, хранение палет и т. д.) учитываются при формировании областей размещения и отбора. Между областями штучного и палетного хранения устанавливаются отношения подпитки.

При размещении, для оптимизации складского пространства, возможно докладывание товаров в частично занятые ячейки, при этом можно контролировать докладывание к идентичным товарам и к идентичной единице хранения. Для работы алгоритмов автоматического размещения используются «Правила анализа состава ячеек» [57]:

«К единице хранения» — включает размещение товаров в непустые ячейки; единица хранения товаров, лежащих в ячейке, должна совпадать с единицей хранения докладываемых товаров; в этом случае в ячейке всегда находится монотовар;

«К номенклатуре» — включает размещение товаров в пустые ячейки; товары, лежащие в ячейке, должны совпадать с докладываемыми товарами; единицы хранения лежащих и докладываемых товаров могут различаться;

«В пустые ячейки» — включает размещение товаров в пустые ячейки;

«Не анализировать» — включает размещение товаров без анализа состава ячеек.

При размещении возможны контроль и поиск ячейки с идентичным товарами в таких же единицах хранения и с тем же сроком годности, как и размещаемые.

8.4. ОСНОВНЫЕ СКЛАДСКИЕ ОПЕРАЦИИ. ПЛАНИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТ ПО СБОРКЕ И ОТГРУЗКЕ ЗАКАЗОВ НА СКЛАДЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

Примем следующий порядок организации работы логистической компании по выполнению клиентских заказов [32]. Отдел продаж сформировал суточный клиентский план поставок товаров клиентам с завтрашней датой отгрузки. Суточный план содержит перечень заказов с необходимыми реквизитами и содержанием каждого заказа в разрезе наименование — количество. Отдел логистики сформировал на его базе «План-график доставки товаров клиентам», реализующий суточный план доставки. В плане-графике доставки все заказы сгруппированы по доставочным рейсам, для каждого рейса в зоне отгрузки выделены отгрузочные площадки (см. рис. 8.1) и выполняющий его грузовик со всеми необходимыми реквизитами рейса и транспортного средства. Методы и алгоритмы планирования распределения заказов по рейсам с учетом тоннажа заказа и используемого парка транспортных средств (ТС) приведены в главе 7. Составлено расписание подачи грузовиков под загрузку и отгрузку заказов, подлежащих развозке данным рейсом.

Задача экспедитора — обеспечить в соответствии с расписанием подачу под загрузку грузовика требуемой грузоподъемности, обеспечить погрузку и оформление необходимых документов (транспортных накладных). Склад должен к указанному в расписании моменту подачи ТС подготовить к отгрузке все заказы рейса и необходимую сопроводительную документацию. На выделенной для рейса отгрузочной площадке для каждого заказа определены и сепарированы отдельные зоны, где будет накапливаться заказ по мере комплектования загрузки рейса.

Виды перемещений при отгрузке. Виды перемещений товаров при отгрузке приведены на рис. 8.3. Примем, что склад может отгружать товары в различных единицах хранения — от палеты до базовой единицы хранения (штуки). Общий объем отгрузки по заданному наименованию, представленный в инвойсе на товар, приведен в базовых единицах. Товарные позиции, отгружаемые в палетах, перемещаются из зоны хранения штабелерами в выделенную зону отгрузочной площадки рейса. В ССУУ отгрузочные

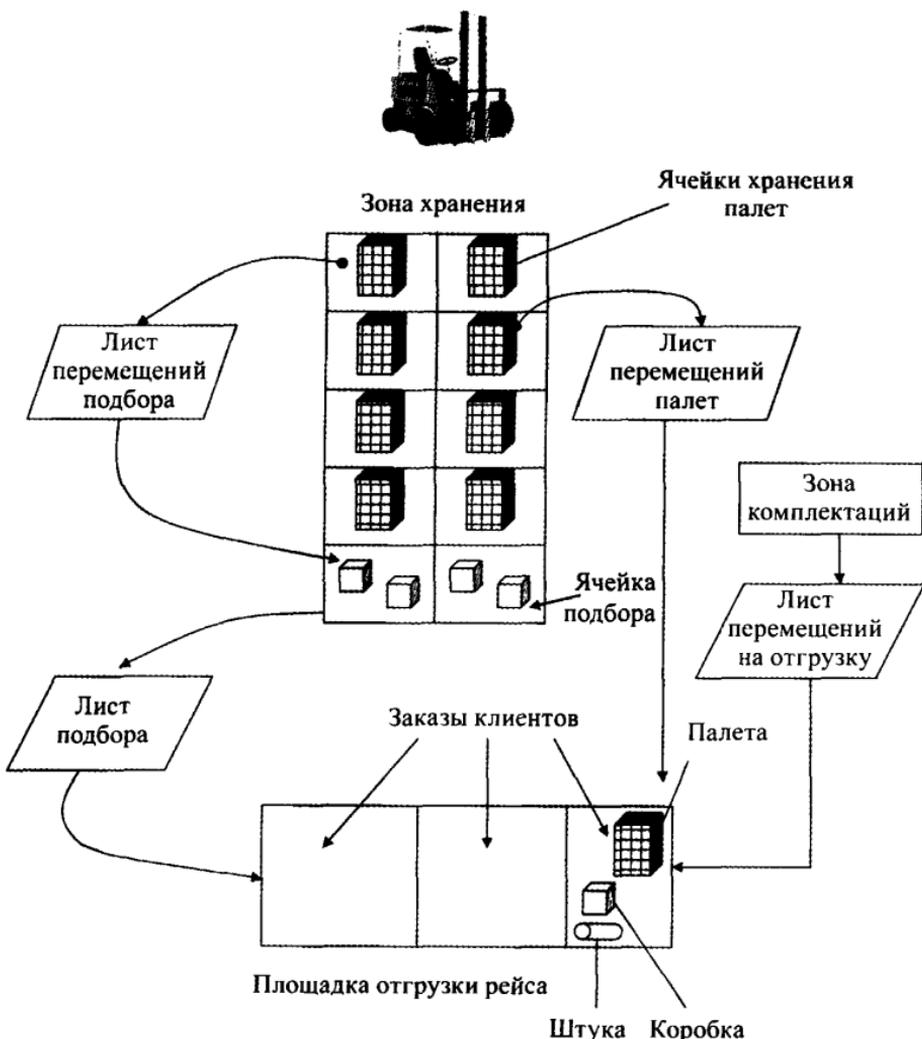


Рис. 8.3. Виды перемещений товаров на складе с адресным хранением

площадки именуется «Ворота №», а зоны, выделенные под заказ, — «Ячейки».

Товарные позиции, отгружаемые в единицах, меньших палеты, комплектуются для доставки на поддонах в виде отдельных грузовых мест. Для этого вначале рабочие (грузчики-комплектовщики) должны отобрать необходимое количество товаров из зоны хранения, доставить их в зону комплектации и скомплектовать отобранные товары на поддоне.

Скомплектованные товары упаковывают в зоне комплектации в виде отдельной грузовой единицы, маркируют и снабжают упаковочным листом — описью содержимого.

Сформированные грузовые единицы направляются далее в выделенную под заказ зону отгрузочной площадки.

Заказы собираются и отгружаются вначале виртуально оператором ССУУ, затем физически водителями электроштабелеров и грузчиками — сборщиками заказов, и далее результаты окончательно фиксируются в ССУУ оператором.

Виртуальное планирование сборки. Для каждого вида перемещения создается свой документ отбора — инструкция. Все документы отбора, как и документы размещения, содержат две операции: «Взять» и «Положить».

Лист перемещений (палетного отбора) предназначен для сборки наименований товаров, заказанных клиентами в палетах. Формируется под определенный рейс. Представляет собой задание водителю штабелера взять палету из определенной ячейки палетного хранения и доставить (положить) в указанную зону комплектования заказа на определенную отгрузочную площадку рейса.

Лист подбора (штучно-коробочного отбора) предназначен для сборки наименований товаров, заказанных клиентом, в более мелких единицах измерения, чем в палетах (от коробки до штуки). Представляет собой задание сборщику заказа взять указанное количество товаров определенного наименования из определенной ячейки отбора и доставить (положить) в зону комплектования заказа. Сборщик заказа, получив данный лист, объезжает указанные в нем ячейки отбора на электротележке (или на механической тележке с вилами) с поддоном и отбирает указанное в листе количество товара.

Как отдельный документ формируют и исполняют по различным схемам: каждому заказу в отдельности; всем заказам, входящим в один доставочный рейс; всем заказам, отгружаемым за смену или сутки. Указанное в документе отбора количество товаров рассчитывается в зависимости от применяемой технологии комплектования. Если рабочий, отбирающий товары из зоны хранения, сам комплектует поддон с клиентским заказом, то для него количество товаров рассчитывается только в объеме заказа. В подборочном листе в соответствующих графах грузчик указывает свой персональный код, время начала и окончания сбора заказа, количество сформированных поддонов.

Для складов с большим количеством отгрузок в мелких единицах применяют другую технологию. В зоне комплектования выделяют отдельную площадку временного хранения и определяют обслуживающих ее комплектовщиков. Рабочий, осуществляющий отбор, доставляет товары только на площадку временного хранения. Количество отбираемых товаров по каждой товарной позиции рассчитывается в объеме заказов нескольких рейсов или отгружаемых за смену. Комплектовщик собирает заказ из товаров, доставленных на ПВХ.

Лист перемещений подбора (подпитки) предназначен для пополнения запасов в ячейках отбора по мере их расходования в процессе сборки заказов. Представляет собой задание водителю штабелера забрать палету из определенной ячейки хранения и доставить (положить) ее в отведенную для данного наименования товаров (и указанную в листе) ячейку отбора. Перемещения по данному листу требуют согласования работы водителя штабелера и сборщика заказа с тем, чтобы сборщик не простаивал, дожидаясь подачи палеты под растарку.

Лист перемещений на отгрузку предназначен для перемещения грузовых единиц, сформированных в зоне комплектации для данного заказа, в ячейку зоны отгрузки, где формируется загрузка рейса.

Алгоритм формирования листов перемещений и подбора. Просматривают план-график доставки. Выбирают номер текущей отгрузочной площадки и соответствующий ей номер рейса. Выбирают первый заказ, запланированный для

данного рейса. Отыскивают номер товарной накладной заказа и просматривают по каждому наименованию товаров его содержание. Если имеются товарные позиции, заказанные в палетах, то под данные рейс и заказ формируют *лист перемещений (палетного отбора)* с определенным кодом №. В этом листе делают запись-перемещение по каждой палете. При записи изменяется статус выбранной для отбора ячейки палетного отбора. Вместо записи «Ячейка на хранении» с указанием кода отбираемого пакета появляется статус «Ячейка на отборе или на подпитке» с указанием кода № документа отбора. Если имеются товарные позиции, заказанные в коробках или в более мелких единицах измерения, то формируют лист *штучно-коробочного отбора* и подготавливают новую строку записи в него. С этой целью отыскивают соответствующие ячейки отбора, просматривают количество товаров в них. Если запаса достаточно в объеме заказа, то делают запись в листе отбора. Одновременно резервируются товары, что отражается в изменении их статуса в выбранной ячейке. Делается запись статуса «На отборе». В противном случае, если товаров в ячейках отбора недостаточно, формируют лист перемещений — отбора (подпитки) и делают запись в нем. Может указываться ориентировочное время, когда подпитка должна быть выполнена.

Физическое перемещение. По окончании формирования документов отбора оператор ССУУ делает их распечатку по рейсам и заказам и передает комплект документов кладовщику смены. Кладовщик складской смены дает задание грузчикам на комплектование заказов по листам *штучно-коробочного отбора* и водителям штабелеров по листам палетного отбора и подпитки. Грузчик собирает заказы по всем указанным в листе подбора перемещениям. В те ячейки отбора, где недостает товаров для комплектования заказа, водитель штабелера производит подпитку согласно запланированным перемещениям.

После укомплектования полного поддона с продукцией на него наклеивают этикетку. На этикетке указывают получателя партии, номер накладной, поддон, общее количество поддонов, идентификационный код сборщика, пометку о проверке заказа от кладовщика и пометку о проверке

заказа от экспедитора. В конце смены листы перемещений отдают оператору ССУУ, который подтверждает перемещение в компьютере.

Заключительные операции отгрузки. Кладовщик (бригадир складской смены), являющийся материально ответственным лицом, проверяет собранный заказ на соответствие содержанию накладной на заказ. После проверки кладовщик подписывает накладную в соответствующей графе. Подпись кладовщика в накладной удостоверяет, что собранный заказ соответствует информации, указанной в накладной, находится в сохранном состоянии и готов для передачи представителю транспортно-экспедиционной организации или непосредственно представителю покупателя.

Полномочный представитель транспортно-экспедиционной организации проверяет заказ по каждой товарной позиции и ставит свою подпись в соответствующей графе накладной, подтверждая, что товары приняты полностью в должном состоянии и количестве. После этого кладовщик дает распоряжение на загрузку транспортных средств в присутствии представителя транспортно-экспедиторской организации (экспедитора), грузчик упаковывает пленкой поддоны, автомобиль загружают, закрывают и пломбируют, номер пломбы указывают в накладной.

Кладовщик (бригадир складской смены) оформляет накладную, указывает в соответствующих графах дату и время отгрузки, названия компании-перевозчика и компании-экспедитора, номер доверенности, номера машины и прицепа, номер пломбы, ставит печать склада. Оригинал накладной остается на складе и архивируется, одну копию передают в отдел по работе с клиентами, четыре копии — представителю транспортно-экспедиционной организации.

Для оформления процедуры выполнения заказа в системе «1С-Логистика» [57] используется несколько документов.

Документ «Заказ на отгрузку» предназначен для регистрации в системе товаров, планируемых для отгрузки покупателю, перемещения на другой склад, возврата поставщику. На основании заказа на отгрузку производят все дальнейшие операции по данному заказу, контролируют полноту отгрузки заказа. При необходимости внести

исправления в оформленный заказ используют документ «Корректировка заказа на отгрузку».

Автоматическое планирование отбора товаров осуществляется с помощью специальной процедуры, запускаемой формой «Планирование отбора». Данная процедура определяет товары, зафиксированные в заказах на отгрузку, сопоставляет эти товары с имеющимися остатками на складе, определяет оптимальный вариант отбора товаров согласно взаимным настройкам единиц хранения товаров и ячеек склада. Результатом процедуры является документ «Отбор».

Для упаковки товаров в грузовые места (формирование грузов) и передачи транспортной компании служит документ «Переупаковка груза».

Для оформления списания со склада товаров, отобранных и подготовленных к отгрузке, используют документ «Отгрузка». Адресом отгрузки является отгрузочная площадка («Ворота №»). Сотрудники склада, отгрузив товары, отмечают в печатной форме фактическое количество отгруженных товаров. Оформленный печатный документ сдают оператору, который вносит в него фактическую информацию об отгрузке, присваивает документу статус «Выполнено» и проводит отгрузку. Товары списываются со склада. Одновременно документ фиксирует перемещение товаров из зоны упаковки в зону отгрузки («Ворота №»).

Все документы, связанные с заказом на отгрузку, в ССУУ упорядочиваются в виде графа подчиненности.

Операции по инвентаризации товаров на складе оформляются документом «Инвентаризация». На больших складах, как правило, не проводят полную инвентаризацию, поскольку это связано с необходимостью полной остановки склада. Обычно проводят инвентаризацию без остановки склада. Существуют следующие типы инвентаризации:

- инвентаризация определенной товарной позиции на складе (инвентаризацию проводят только по тем ячейкам, где присутствуют указанные товары);
- инвентаризация ограниченной области ячеек (области проезда, стеллажа, яруса);
- инвентаризация пустых ячеек.

При проведении инвентаризации ячейки, в которых пересчитываются товары, блокируются.

ДОГОВОРНЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

9.1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОГОВОРОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ОБЛАСТИ ЛОГИСТИКИ

По *договору поручения* (ст. 971 ГК РФ) одна сторона (поверенный) обязуется совершить от имени и за счет другой стороны (доверителя) определенные юридические действия. Действия, совершенные поверенным в рамках договора, считаются действиями его доверителя. Права и обязанности по сделке, совершенной поверенным, возникают у его доверителя.

Доверитель обязан выдать поверенному доверенность на совершение юридических действий, возместить поверенному издержки, оплатить поверенному вознаграждение. Поверенный вправе передать исполнение поручения своего доверителя другому лицу (заместителю) лишь в случаях, предусмотренных ст. 187 ГК РФ, например, если он уполномочен на это доверенностью. Выдача транспортной компанией доверенности, например водителю или агентской компании на получение груза у отправителя, является примером такого типа отношений.

По *договору комиссии* (ст. 990 ГК РФ) одна сторона (комиссионер) обязуется по поручению другой стороны (комитента) за вознаграждение совершить одну или несколько сделок от своего имени, но за счет комитента. Действия, совершенные комиссионером, в отличие от действий поверенного считаются его собственными действиями, а не действиями его комитента. По сделке, совершенной комиссионером с третьими лицами, права и обязанности приобретает комиссионер.

Комитент обязан уплатить комиссионеру комиссионное вознаграждение.

Комиссионер не отвечает перед комитентом за неисполнение третьим лицом сделки, заключенной с ним за счет

комитента, кроме случаев, когда комиссионер не проявил необходимой осмотрительности в выборе третьего лица либо принял на себя ручательство за исполнение сделки.

Если иное не предусмотрено договором комиссии, комиссионер в целях исполнения этого договора вправе заключить договор субкомиссии. При этом он остается ответственным за действия субкомиссионера перед комитентом. По договору субкомиссии комиссионер приобретает права и обязанности комитента.

Экспедитор, заключая договор перевозки с перевозчиком, может действовать как комиссионер.

По *агентскому договору* (ст. 1005 ГК РФ) одна сторона (агент) обязуется за вознаграждение совершать по поручению другой стороны (принципала) юридические и иные действия от своего имени, но за счет принципала либо от имени и за счет принципала. По сделкам, совершаемым агентом от своего имени, приобретает права и становится обязанным агент, а не принципал. По сделкам, совершаемым агентом от имени принципала, приобретает права и становится обязанным принципал, а не агент.

Агентское вознаграждение уплачивается агенту принципалом по представлении его отчета. К отчету агента должны быть приложены необходимые доказательства расходов, произведенных агентом за счет принципала.

Агентским договором может быть предусмотрено обязательство принципала не заключать аналогичных договоров с другими агентами, действующими на определенной в договоре территории. Аналогичные обязательства могут быть предусмотрены агентским договором и в отношении агента.

Если иное не предусмотрено агентским договором, агент вправе в целях исполнения договора заключить субагентский договор с другим лицом, оставаясь ответственным за действия субагента перед принципалом.

Оператор мультимодальной перевозки, заключая договор на перевозку с магистральным перевозчиком, чаще всего имеет дело с его агентом. Пункты передачи грузов, организованные ОМП при портах, часто заключают договоры агентирования с магистральным перевозчиком и выступают его агентом при продаже перевозок. Такого типа отношения

расширяют возможности ОМП по организации и выполнению перевозок.

По договору транспортной экспедиции (ДТЭ, ст. 801 ГК РФ) одна сторона (экспедитор) обязуется за вознаграждение и за счет другой стороны (клиента — грузоотправителя или грузополучателя) выполнить или организовать выполнение определенных договором экспедиции услуг, связанных с перевозкой груза. Договором транспортной экспедиции могут быть предусмотрены следующие обязанности экспедитора:

- организация перевозки груза по маршруту, избранному экспедитором или клиентом;
- обязанность экспедитора заключить договоры перевозки от имени клиента или от своего имени;
- обеспечение отправки или получение груза в пунктах перевалки и назначения;
- получение необходимых для экспорта или импорта документов;
- выполнение таможенных или иных формальностей;
- проверка количества и состояния груза;
- погрузка и выгрузка;
- уплата пошлин, сборов и других расходов, возлагаемых на клиента;
- хранение груза и выполнение других операций и услуг, предусмотренных ДТЭ.

Договор транспортной экспедиции заключается в письменной форме. Клиент должен выдать экспедитору доверенность, если она необходима для выполнения его обязанностей.

Если из ДТЭ не следует, что экспедитор должен исполнять свои обязанности лично, экспедитор вправе привлечь к исполнению своих обязанностей по ДТЭ других лиц. Возложение исполнения обязательства на третье лицо не освобождает экспедитора от ответственности за исполнение договора.

Оператор мультимодальной перевозки часто выполняет в интересах клиента функции (полностью или частично), относящиеся к транспортно-экспедиционной деятельности. Экспедиторы часто привлекаются оператором в качестве местных агентов или для передачи его грузов на магистральные виды транспорта.

По *договору перевозки груза* (ст. 785 ГК РФ) перевозчик обязуется доставить вверенный ему отправителем груз в пункт назначения и выдать его уполномоченному на получение груза лицу (получателю), а отправитель обязуется уплатить за перевозку груза установленную плату. Заключение договора перевозки груза подтверждается составлением и выдачей отправителю транспортной накладной (коносамента или иного документа, предусмотренного законодательством).

Перевозчик обязан подать отправителю груза под погрузку в срок, установленный принятой от него заявкой (заказом), договором перевозки или договором на организацию перевозки, исправные транспортные средства в состоянии, пригодном для соответствующего груза. Погрузка (выгрузка) груза осуществляется транспортной организацией или отправителем (получателем) в порядке, предусмотренном договором.

Перевозчик и грузовладелец для систематических перевозок могут заключать долгосрочные *договоры на организацию перевозок*. Перевозчик обязуется в установленные сроки принимать, а грузовладелец предъявлять к перевозке грузы в установленном объеме.

Между организациями различных видов транспорта могут заключаться *договоры на организацию работы по обеспечению перевозок* [узловые соглашения, договоры на централизованный завоз (вывоз) и др.].

По *договору хранения* (ст. 886 ГК РФ) одна сторона (хранитель) обязуется хранить вещь, переданную ей другой стороной (поклажедателем), и возвратить эту вещь в сохранности.

По *договору складского хранения* (ст. 907 ГК РФ) товарный склад (хранитель) обязуется за вознаграждение хранить товары, переданные ему товаровладельцем (поклажедателем), и возвратить эту вещь в сохранности.

Товарным складом признается организация, осуществляющая в качестве предпринимательской деятельности хранение товаров и оказывающая связанные с хранением услуги.

Договоры складского хранения часто используются ОМП в его практике. Для повышения эффективности исполь-

зования своих терминалов ОМП может заключать договоры складского хранения со своими клиентами, выступая в качестве хранителя и организуя логистические услуги по учету, управлению запасами и комплектации заказов своих клиентов. Как поклажедатель ОМП может заключать договоры с товарными складами для временного хранения грузов своих заказчиков.

Примеры соглашений и договоров. Предметом *агентского соглашения о продаже воздушных грузовых перевозок*, заключенного между авиакомпанией и ее агентом, является продажа агентом грузовых перевозок на авиарейсах компании в соответствии с ее правилами и инструкциями. В соглашении фиксируется наименование, под которым агент осуществляет свою деятельность. Авиакомпания предоставляет агенту сезонное расписание (не позднее чем за 30 дней до введения его в действие), обязуется бесплатно снабжать агента авиагрузовыми накладными (АГН) и другими документами, необходимыми для выполнения соглашения. Агент соглашается с тем, что текст соглашения и содержащаяся в нем информация являются конфиденциальными. В приложениях перечисляются пункты, в которых разрешена продажа агентом перевозок. Агент обязан ежемесячно представлять отчеты о движении бланков авиа-накладных перевозчика.

Предметом *договора на авиагрузовые перевозки*, заключаемого между авиакомпанией (перевозчиком) и заказчиком, является перевозка грузов по заявкам заказчика на воздушных судах перевозчика по согласованным маршрутам. Груз принимается к перевозке, если перевозчик его забронировал, при условии правильности оформления АГН, наличии всех необходимых сопроводительных документов для определения характера груза, выполнения таможенных формальностей, сертификатов. Заказчик имеет право при заполнении АГН от имени грузоотправителя представлять интересы последнего и действовать по его поручению, в том числе при расчетах с перевозчиком.

Агентское соглашение о грузовых воздушных перевозках заключается между авиакомпанией, именуемой перевозчиком, и ее агентом в отношении продажи услуг по перевоз-

кам, обслуживания и передачи перевозчику партий грузов в соответствующих аэропортах. Агент несет ответственность за хранение, оформление и за серийные номера АГН, представленные перевозчиком агенту для использования в электронной среде [23, 24]. Авианакладные перевозчика и их серийные номера являются исключительной собственностью перевозчика. Агент не должен оформлять АГН до тех пор, пока партия груза не получена агентом полностью. Агент обязан отправлять груз при наличии подтвержденного бронирования по правилам перевозчика.

9.2. ДОГОВОР ОПЕРАТОРА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ПЕРЕВОЗКИ С СУБКОНТРАКТОРОМ — МАГИСТРАЛЬНЫМ ПЕРЕВОЗЧИКОМ

В качестве примера договоров такого типа рассмотрим договор между авиакомпанией и ОМП, используемый для организации межтерминальных перевозок по авиамаршрутам.

Тип договора — договор на перевозку грузов. Стороны договора: ОАО «Крылья Советов» в лице директора департамента продаж грузовых перевозок, именуемое в договоре «Перевозчик», и ООО «Оператор МультиТрансГлобал» («МТГ»), именуемое «Заказчик».

Предметом договора является перевозка грузов Заказчика на международных и внутренних рейсах Перевозчика в соответствии с правилами и инструкциями Перевозчика. Стороны руководствуются в своей работе нормами ИАТА, ИКАО, правилами, утвержденными приказами Минтранса РФ, ГТК России, а также совместными технологиями и нормативными документами, регулирующими порядок взаимодействия Сторон при организации и выполнении авиационной перевозки.

Перевозчик ежемесячно выделяет квоты на согласованные заранее рейсы и направления. Размеры квот (тоннаж и объемы) определяются по необходимости. Перевозчик не может уменьшить размеры квот без предварительного уведомления заказчика менее чем за 30 дней до выполнения рейса.

Все грузы перевозятся по предварительному бронированию. Без подтвержденного бронирования грузы к перевозке не принимаются. В случае превышения фактических пара-

метров над бронированным тоннажем более чем на 10 %
Перевозчик оставляет за собой право отказать в перевозке
лишней части груза.

Заказчик или его доверенное лицо обеспечивает сдачу
грузов на рейсы не позднее сроков, согласованных с терми-
нальным агентом по обработке груза в соответствии с су-
ществующими технологиями и правилами обработки груза
при комплектации загрузки на рейс. В случае неотправки
груза Заказчика по вине перевозчика последний обязан по
согласованию с Заказчиком обеспечить его отправку бли-
жайшим рейсом.

Заказчик не должен продавать или выдавать авиагру-
зовые накладные, относящиеся к выполняемым Перевозчи-
ком рейсам, третьим лицам. Заказчик не должен пере-
уступать, передавать или каким-либо иным образом деле-
гировать третьим лицам все или какую-либо часть своих
функций и обязательств по настоящему договору.

Перевозчик обеспечивает Заказчика расписанием движе-
ния самолетов на международных и внутренних воздушных
линиях в срок не позднее чем за 15 дней до введения его
в действие. Перевозчик обязан сообщить Заказчику обо всех
изменениях в расписании движения самолетов и об отмене
вылетов не позднее чем за 5 дней до введения в действие
соответствующего изменения.

Заказчик выполняет самостоятельно все необходимые та-
моженные процедуры.

Заказчик несет ответственность за сданный к перевозке
на воздушных судах Перевозчика груз, не соответствующий
требованиям авиационной безопасности и запрещенный
к перевозке. Ответственность Заказчика за данное нару-
шение будет ограничена суммой документально подтверж-
денного реального ущерба Перевозчика, исключая косвен-
ные убытки.

Перевозчик несет ответственность за сохранность груза
с момента принятия груза к перевозке до момента выдачи
его представителю Заказчика (получателю). В случае обна-
ружения повреждений, недостачи или порчи груза делается
соответствующая пометка в накладной и составляется ком-
мерческий акт в трех экземплярах с участием представителя

Перевозчика. Один экземпляр указанного акта передается Перевозчиком Заказчику. Ответственность Перевозчика за утрату, недостачу, повреждение груза и задержку в его доставке регулируется международными соглашениями, Воздушным кодексом РФ и внутренними документами Перевозчика.

Для оформления перевозок на рейсах Перевозчика последний предоставляет бланки грузовых авианакладных, а также электронные номера АГН. После прекращения или временного приостановления действия договора неиспользованные бланки АГН и их электронные номера должны быть немедленно возвращены Перевозчику с предоставлением отчета.

Тарифы (руб./кг) Перевозчика приводятся, как правило, в приложении к договору. Они имеют форму, представленную в табл. 9.1, и котируются по весовым категориям (в зависимости от веса отправки, кг) и направлениям перевозок. Тарифы применяются к платному весу. Платный вес определяется по стандартам ИАТА, где каждые 6 м³ объема груза приравниваются к 1000 кг.

Приведенный тариф авиакомпании должен применяться местным (Екатеринбург) терминалом сети ОМП для доставки грузов в московский аэропорт (грузовой терминал аэропорта). Стоимость всей перевозки не может быть меньше минимального сбора, приведенного в табл. 9.1. Для перевозок по направлению, например Екатеринбург—Санкт-Петербург, и при отсутствии прямых рейсов Перевозчика применяются трансферные перевозки и соответственно трансферные тарифы. Перевозка будет состоять из двух участков SVX (Екатеринбург) → MOW (Москва) и MOW (Москва) → LED (Санкт-Петербург). Данные табл. 9.1 в этом случае следует рассматривать как участковый тариф. Он

Т а б л и ц а 9.1

Пример тарифов Перевозчика, руб.

Пункт отправления	Пункт назначения	Минимальный сбор	Тариф за 1 кг для весовой категории, кг					
			<45	45	100	300	500	1000
SVX	MOW	300	24	22	20	18	17	16

применяется ко всем трансферным перевозкам, направляемым из Екатеринбурга через Москву.

Сквозные тарифы в конечный пункт для трансферных перевозок определяются как сумма участковых тарифов плюс надбавка (например, 8 руб.) за каждый 1 кг платного веса. Сквозные минимальные сборы на трансферную перевозку определяются как сумма минимальных сборов по каждому участку маршрута. Тарифы включают только обработку грузов в аэропортах трансфера. Обработка в аэропорту вылета осуществляется за счет отправителя, в аэропорту прилета — за счет получателя.

Тарифы на отдельные виды грузов (опасные, крупногабаритные, тяжеловесные), как правило, выше основных тарифов. Тарифы на перевозку опасных грузов различаются для грузовых и пассажирских воздушных судов. Тарифы, как правило, включают дополнительные сборы. Например, при отправлениях трансферных грузов через Москву в пункты зарубежья взимается дополнительный сбор за завершение таможенной процедуры экспорта.

9.3. ДОГОВОР ОПЕРАТОРА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ПЕРЕВОЗКИ С МЕСТНЫМ АГЕНТОМ

Такого типа договоры используются оператором (ОМП) мультимодальной перевозки (МП) для организации местных (региональных) перевозок по линии «дверь клиента — терминал ОМП», «терминал ОМП — дверь клиента».

Компания ООО «Оператор МультиТрансГлобал» («МТГ»), в дальнейшем именуемая «Заказчик», в лице генерального директора, действующего на основании Устава, с одной стороны, и транспортная компания «Региональные перевозки», именуемая в дальнейшем «Агент», в лице генерального директора, действующего на основании Устава, с другой стороны, далее именуемые «Стороны», заключили настоящий договор о нижеследующем. Агент будет являться юридически самостоятельным третьим лицом, связанным с входящими в группу ОМП лицами договорными отношениями в соответствии с Генеральными условиями перевозки ОМП.

Предмет договора включает следующие обязательства:

- в соответствии с условиями настоящего договора Агент берет на себя обязательство организовать (выполнить) перевозку и транспортно-экспедиционное обслуживание грузов клиентов Заказчика по (с) территории региона РФ по маршруту «терминал заказчика (аэропорт „Регион РФ”) — до двери клиента, от двери клиента — терминал заказчика (аэропорт „Регион РФ”)»;

- Агент берет на себя обязательство совершать в интересах Заказчика юридические и иные действия, направленные на расширение региональной сети ОМП, а именно: поиск потенциальных клиентов, проведение переговоров и заключение договоров с клиентами, имеющими желание и намерение осуществлять перевозку грузов с территории «регион РФ» по сети Заказчика, а также по сети Заказчика на территорию региона РФ.

Агент осуществляет расчет с клиентами в наличной и безналичной форме в соответствии с тарифами Заказчика. Тарифы приводятся обычно в приложениях к договору. Заказчик за совершенные по его поручению действия обязуется в порядке и на условиях, предусмотренных настоящим договором, оплатить услуги Агента в соответствии с тарифами, указанными в приложении.

Основные обязательства Агента ОМП:

- осуществлять сбор грузов и их передачу Заказчику по технологии и транспортным накладным Заказчика;

- требовать от клиента подтверждения сведений об адресах грузополучателей, сведений о характере груза и об особых условиях его перевозки, проверять наличие соответствующей маркировки на упаковке;

- сообщать о готовности очередной партии груза для перевозки в офис Заказчика;

- перевозить поступающий груз в пункты назначения, указанные в транспортных накладных, в сроки, определенные в отдельном приложении;

- предоставлять Заказчику подтверждение о перевозке грузов в день фактической доставки груза до пункта назначения по электронной почте (в случае задержки подтверждения груз будет считаться не доставленным в срок);

- отчитываться обо всех предоставленных услугах еженедельно в установленной форме;
- перечислять Заказчику стоимость перевозки груза в соответствии с тарифами ОМП в порядке, установленном договором;
- пользоваться при расчетах с клиентами на территории своей деятельности опубликованными тарифами ОМП, прилагаемыми к договору;
- осуществлять свою деятельность только на территории региона РФ;
- не иметь и не заключать подобный договор с другими операторами ОМП, действующими на территории своей деятельности.

Основные обязательства Заказчика:

- перевозить грузы, принятые Агентом, в установленный срок;
- сообщать о готовности очередной партии груза к передаче Агенту;
- обеспечивать Агента надлежащими документами, необходимыми для перевозки грузов;
- оплачивать Агенту стоимость перевозки по прилагаемым к договору тарифам и вознаграждение в размере и порядке, установленных настоящим договором;
- не заключать подобный договор с другими физическими и юридическими лицами на территории региона РФ для оказания подобных услуг.

Условия оплаты:

- за исполнение обязательств, предусмотренных настоящим договором, Заказчик оплачивает Агенту согласованную стоимость перевозки, размер которой определяется в соответствии с прилагаемыми тарифами; изменение клиентского тарифа ОМП возможно в одностороннем порядке со стороны Заказчика с подписанием дополнительного соглашения к настоящему договору;
- в случае оплаты услуг клиентом напрямую Заказчику Агент выставляет счета и счета-фактуры на согласованную стоимость перевозки в соответствии с прилагаемыми тарифами;
- в случае оплаты услуг клиентом напрямую Агенту Заказчик выставляет счета и счета-фактуры на весь объем

услуг, а Агент выставляет счета и счета-фактуры на комиссионное вознаграждение; комиссионное вознаграждение Агента будет составлять ____% от существующих тарифов ОМП.

Агент несет ответственность за груз с момента его принятия до передачи его грузополучателю. В случае нарушения сроков перевозки груза по прямой вине Агента согласованная стоимость перевозки не выплачивается. В случае, когда груз не был доставлен с первого раза, Агент производит повторную доставку за свой счет. В случае отказа грузополучателя в получении груза Агент за свой счет обеспечивает возврат груза Заказчику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. — М.: Наука, 1969.
2. Вагнер Г. Основы исследования операций. — Т. 3. — М.: Мир, 1973.
3. Глинский В. А. Транспортно-экспедиционное обслуживание. Международные интермодальные перевозки: учеб. пособие — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2010.
4. Грузовые воздушные перевозки, учеб. пособие / Р. Г. Манукян, В. Е. Шведов, В. М. Григоренко, А. И. Мочалов: — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2012.
5. Зайцев Е. Н. Синтез комплексной системы управления смешанными перевозками. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2007.
6. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов / Под общ. ред. Л. Б. Миротина. — М.: Экзамен, 2003.
7. Конилова Е. В. Организация и технология перевозок. — СПб., 2006.
8. Крыжановский Г. А., Шашкин В. В. Управление транспортными системами. — СПб.: Изд-во Междунар. академии транспорта, 1998.
9. Крыжановский Г. А. Моделирование транспортных процессов: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2014.
10. Крыжановский Г. А., Палагин Ю. И. Имитационная модель для определения характеристик пассажиропотоков в интермодальной транспортной сети // Транспорт: наука, техника, управление. — 1998. — № 6.
11. Кожин А. П., Мезенцев В. Н. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками: учеб. для вузов. — М.: Транспорт, 1994.
12. Котиков Ю. Г. Основы теории транспортных систем. — СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2000.
13. Левиков Г. А. Смешанные перевозки в свете логистики // Транспорт: наука, техника, управление. — 1999. — № 1.
14. Лимонов Э. Л. Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки. — СПб.: Выбор, 2000.
15. Белов Л. Б. Учет и разнесение логистических затрат в контроле эффективности подсистем закупок // Логинфо. — 2001. — № 2.
16. Логистика автомобильного транспорта: учеб. пособие / В. С. Лукинский, В. И. Бережной, Е. В. Бережная [и др.]. — М.: Финансы и статистика, 2004.
17. Логистика: учеб. пособие для транспортных вузов / Под ред. Л. Б. Миротина. — М.: Юрист, 2002.
18. Логистика: учеб. пособие / Под ред. Б. А. Аникина. — М.: Проспект, 2011.
19. Логистика: интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок: учеб. / В. В. Дыбская [и др.]. — М.: Эксмо, 2008.
20. Склады промышленных предприятий: справ. / Под общ. ред. О. Б. Маликова. — Л.: Машиностроение, 1989.
21. Международный экспедитор: учеб. пособие. — СПб.: Партнер ВЭД, 2002.
22. Мочалов А. И., Палагин Ю. И. Системы автоматической идентификации в транспортной логистике: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Академии гражданской авиации, 1998.
23. Мочалов А. И. Взаимодействие видов транспорта в смешанных перевозках. Ч. 2. Определение оптимального маршрута международной

автомобильной перевозки с использованием ИС Microsoft AutoRoute. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006.

24. Мочалов А. И., Мочалов И. А. Взаимодействие видов транспорта в смешанных перевозках: метод. ук. к лабораторной работе «Организация внутренних и международных воздушных перевозок грузов с использованием информационной системы „Грузовой агент (Agency. aero)“». Ч. IV. — СПб.: СПбГУГА, 2011.

25. Мочалов А. И., Палагин Ю. И., Тимонин А. В. Программа для ЭВМ «Информационно-логистическая система оператора мультимодальных перевозок MultiTransGlobal»: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013615332 от 04.06.2013 г. Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке № 2013613199 от 22.04.2013 г.

26. Основы логистики: учеб. пособие / Под ред. Л. Б. Миротина, В. И. Сергеева. — М.: ИНФРА-М, 1999.

27. Палагин Ю. И., Тарамыко А. Е. Оптимизация планирования доставки грузов в логистических системах // Транспорт: наука, техника, управление. — 2001. — № 4.

28. Палагин Ю. И., Семенюта А. А., Тарамыко А. Е. Оптимизация транспортных процессов в логистических системах: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Академии гражданской авиации, 2001.

29. Палагин Ю. И. Оптимальный выбор по различным критериям параметров поставок в распределительных системах // Транспорт: наука, техника, управление. — 2003. — № 8.

30. Палагин Ю. И. Логистическая система экспресс-продажи товаров под свободный тоннаж воздушных судов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2003. — № 8.

31. Палагин Ю. И. Дистрибьюционные центры с многопродуктовыми упорядоченными по наименованиям поставками товаров без накопления запасов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2006. — № 6.

32. Палагин Ю. И. Логистика — планирование и управление материальными потоками. — СПб.: Политехника, 2009.

33. Палагин Ю. И. Оптимальное планирование задач завоза и вывоза грузов в логистических системах // Транспорт: наука, техника, управление. — 2008. — № 7.

34. Палагин Ю. И., Третьякова И. А. Управление заказами в распределительных системах с длительными сроками поставки товаров // Транспорт: наука, техника, управление. — 2009. — № 6.

35. Палагин Ю. И. Оптимальное планирование задач завоза и вывоза грузов из нескольких распределительных центров // Транспорт: наука, техника, управление. — 2010. — № 2.

36. Палагин Ю. И., Мочалов А. И. Моделирование и оптимальное планирование доставки грузов в транспортно-терминальных сетях операторов мультимодальных перевозок // Вестн. СПбГУГА. — 2011. — № 3.

37. Палагин Ю. И., Мочалов А. И. Оптимизация маршрутов доставки грузов в мультимодальных транспортно-терминальных сетях // Транспорт: наука, техника, управление. — 2012. — № 6.

38. Палагин Ю. И., Куртов С. Ю. Оптимальное планирование маршрутов доставки грузов с ограничением на время рейсов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2012. — № 8.

39. Мочалов А. И., Палагин Ю. И., Тимохин А. В. Математическое моделирование и расчет характеристик трехмодальных транспортно-терминальных сетей // Прикладная информатика / Синергия. — 2013. — № 2.
40. Палагин Ю. И. Учет и разнесение логистических затрат при интермодальных перевозках грузов: метод. ук. к выполнению расчетных работ и индивидуальных заданий. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2010.
41. Резер С. М., Ловецкий С. Е., Меламед И. И. Математические методы оптимального планирования в транспортных системах // Итоги науки и техники. — 1990. — Т. 9.
42. Резер С. М., Родников А. Н. Логистика. Словарь терминов. — М.: ВИНТИ РАН, 2007.
43. Степанов А. Л. Перегрузочное оборудование портов и транспортных терминалов: учеб. — СПб.: Политехника, 2014.
44. Сханова С. Э., Попова О. В., Горев А. Э. Транспортно-экспедиционное обслуживание: учеб. пособие. — М.: Академия, 2005.
45. Тарамыко А. Е. Оптимальное планирование доставки грузов в транспортно-логистических системах: дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: СПбГУГА, 2002.
46. Толпегин О. А. Математическое программирование. Вариационное исчисление: тексты лекций. — СПб.: Изд-во гос. техн. ун-та, 2003.
47. Плужников К. И. Транспортное экспедирование. — М.: Росконсультант, 1999.
48. Шагнахметова Э. К. Основы грузовых авиаперевозок: учеб. пособие. — НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2005.
49. Шалыгин А. С., Палагин Ю. И. Прикладные методы статистического моделирования. — Л.: Машиностроение, 1986.
50. Шведов В. Е., Шведов В. В. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ на транспорте: учеб. пособие. — СПб.: СПбГУГА, 2006.
51. Шведов В. В. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ на транспорте: метод. ук. по курсовому и дипломному проектированию. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2006.
52. Шведов В. Е. Основы грузования: учеб. пособие. — Л.: Изд-во Академии гражданской авиации, 1994.
53. Шведов В. Е., Шведов В. В. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ на транспорте: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2006.
54. Шведов В. Е., Иванова Н. В. Грузоведение: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2007.
55. Шведов В. Е., Иванова В. И., Шведов В. В. Пункты взаимодействия на транспорте (транспортно-логистические центры): учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2012.
56. Шведов В. Е., Иванова В. И., Шведов В. В. Контейнерные терминалы и пункты на транспорте (технология, проектирование, расчет, автоматизация управления): учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУГА, 2012.
57. 1С:Предприятие 8., Конфигурация «1С-Логистика: Управление складом», Редакция 3.1.

ISBN 978-5-7325-1113-0



УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Юрий Иванович Палагин

ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА И МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Технологии, оптимизация, управление

Редактор *М. И. Козицкая*

Переплет художника *М. Л. Черненко*

Корректор *Т. Н. Гринчук*

Компьютерная верстка *Г. А. Мирзоевой*

Подписано в печать 23.06.2017. Формат издания 60×90¹/₁₆.
Гарнитура School BookС. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 15,4. Тираж 2000 экз. Заказ 1769.

АО «Издательство „Политехника”».
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.

Отпечатано в ООО «Контраст».
192029, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, д. 38, лит. А.



Юрий Иванович ПАЛАГИН — д-р техн. наук, профессор. Окончил в 1971 г. Ленинградский механический институт (сейчас Балтийский государственный технический университет БГТУ «Военмех») по специальности «Производство и проектирование летательных аппаратов (ЛА)»; в 1974 г. — математико-механический факультет Ленинградского государственного университета, кафедра «Теоретическая кибернетика».

С 1977 г., после окончания аспирантуры БГТУ, — канд. техн. наук по специальности «Аэродинамика, динамика полета и управление ЛА». С 1989 г., после защиты докторской диссертации в Московском авиационном институте, — д-р техн. наук по специальности «Системы специального назначения обработки информации и управления». С 1982 г. доцент, а с 1991 г. утвержден Высшей аттестационной комиссией СССР в звании профессор.

С 1992 г. — заведующий кафедрой «Интермодальные перевозки и логистика» Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации.

Ю. И. Палагин — известный ученый в области моделирования и анализа сложных стохастических систем. Сфера его научных интересов: системы, функционирующие в условиях действия многомерных пространственно-распределенных случайных факторов — случайных полей, оптимизация и управление в логистических системах. В течение ряда лет работал в ведущих научно-исследовательских организациях страны, занимающихся созданием высокоточных систем управления летательными аппаратами. Автор более 150 работ, в том числе 6 монографий.

АО «Издательство
“ПОЛИТЕХНИКА”»
предлагает:

**КВАЛИМЕТРИЯ
МОРСКИХ
ПРИБРЕЖНЫХ
АКВАТОРИЙ**

Под ред. В. М. Маругина,
М. А. Спиридонова



ISBN 978-5-7325-1030-0

Объем 258 с., цветная вклейка
Формат 60×90^{1/16}

Изложена методика экспертного оценивания оборудованных и необорудованных морских прибрежных акваторий и связанных с ними территорий. Рассмотренные методы могут быть использованы для оценки объектов инфраструктуры транспортного, грузопассажирского, промыслово-рыболовного, ледокольного и других разновидностей флотов, флотилий и пароходств. Приведены примеры расчета оценок по данным квалиметрических экспертиз и мониторингов.

Монография предназначена для специалистов в области исследований, проектирования, строительства и эксплуатации отдельных и групповых объектов, а также коммуникаций между объектами. Может быть использована в виде учебного пособия курсантами и студентами, специализирующимися в гидротехнике, горном деле и строительстве.

*Книгу можно приобрести в издательстве по адресу:
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж.
Тел.: (812) 312-44-95, 710-62-73; тел./факс: (812) 312-57-68.
E-mail: sales@polytechnics.ru, gfm@polytechnics.spb.ru
<http://www.polytechnics.ru>*

*Возможна отправка книг «Книга—почтой».
Книги рассылаются покупателям в России наложенным платежом
(без задатка). Почтовые расходы составляют 40 %
и выше от стоимости заказанных Вами книг.*

**АО «Издательство
“ПОЛИТЕХНИКА”»
предлагает:**

А. Л. Степанов

**ПЕРЕГРУЗОЧНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ ПОРТОВ
И ТРАНСПОРТНЫХ
ТЕРМИНАЛОВ**



ISBN 978-5-7325-1018-8

Объем 427 с.

Формат 60×90^{1/16}

В учебнике рассмотрены режимы работы подъемно-транспортных машин, вопросы определения эксплуатационных и расчетных нагрузок, прочности и долговечности основных узлов и механизмов, производительности и энергетических затрат. Приведены характерные схемы механизации по видам грузов и критерии предпочтительного выбора для перегрузочных работ. Показаны направления совершенствования механизации перегрузочных работ для обеспечения комплексности в обработке грузов, управляемости и автоматизации с учетом требований охраны окружающей среды.

Учебник предназначен для эксплуатационно-управленческих и экономических специальностей вузов транспорта, может быть использован инженерно-техническими работниками эксплуатационных служб портов и транспортных терминалов.

*Книгу можно приобрести в издательстве по адресу:
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж.
Тел.: (812) 312-44-95, 710-62-73; тел./факс: (812) 312-57-68.
E-mail: sales@polytechnics.ru, gfm@polytechnics.spb.ru
<http://www.polytechnics.ru>*

*Возможна отправка книг «Книга—почтой».
Книги рассылаются покупателям в России наложенным платежом
(без задатка). Почтовые расходы составляют 40 %
и выше от стоимости заказанных Вами книг.*

АО «Издательство
«ПОЛИТЕХНИКА»»
предлагает:

А. Я. Будин

**ГОРОДСКИЕ
И ПОРТОВЫЕ
НАБЕРЕЖНЫЕ**



ISBN 978-5-7325-1041-6
Объем 424 с.
Формат 60×90^{1/16}

Освещен комплекс вопросов, связанных с проектированием городских и причальных набережных. Рассмотрены конструкции набережных и дано их технико-экономическое сопоставление. Приведены рекомендации по выбору конструкций набережных в зависимости от климатических, гидрологических и геологических условий объектов строительства. Изложены методы статических и реологических расчетов набережных. Рассмотрено строительство набережных на слабых основаниях.

Издание предназначено для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

Книгу можно приобрести в издательстве по адресу:
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж.
Тел.: (812) 312-44-95, 710-62-73; тел./факс: (812) 312-57-68.
E-mail: sales@polytechnics.ru, gfm@polytechnics.spb.ru
http://www.polytechnics.ru

Возможна отправка книг «Книга — почтой».
Книги рассылаются покупателям в России наложенным платежом (без задатка). Почтовые расходы составляют 40 % и выше от стоимости заказанных Вами книг.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ПОЛИТЕХНИКА

И. Д. Федоренко
**КОСМИЧЕСКАЯ
ОДИССЕЯ
ЮРИЯ
ГАГАРИНА**



**ТОПИЧЕСКАЯ
ДИАГНОСТИКА**

А. В. Козлов
И. В. Козлов
И. В. Козлов



**Допуски
и посадки**



Издательская и полиграфическая
деятельность с 1938 года

Основная тематика:
машиностроение
приборостроение
медицина

Издательство выпускает
монографии, справочники,
учебники, словари,
альбомы и журналы
в различных областях науки,
технологии и техники

ВАЛЕНТИН ГЛУШКО

В. В. Батур, А. В. Глушко

XX
ВЕК



А. С. Ветрова

ИЗВЕСТНЫМ
ИНТЕРЕСНО УНИВЕРСАЛЬНО
ПРИВЛЕЧЕНО



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ
КАПИТАЛ



АО «Издательство «ПОЛИТЕХНИКА»»

191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.

Тел.: (812) 312-44-95, 710-62-73, тел./факс (812) 312-57-68.

<http://www.polytechnics.ru> E-mail: gfm@polytechnics.spb.ru, 710-62-73@polytechnics.ru