

Предисловие

Представленные в пособии материалы входят в программу дисциплины «Логистика» и предназначены для самостоятельного углубленного изучения студентами.

Пособие подготовлено на кафедре логистики и организации перевозок СПбГИЭУ коллективом авторов в составе: д.т.н., профессора В.С. Лукинского, к.э.н., доцента И.А. Цвиринько, к.э.н., доцента Ю.В. Малевич.

Авторы пособия выражают благодарность аспирантам кафедры Логистики и организации перевозок И.А. Пластунык и О.Ю. Пеховскому, материалы которых были использованы в данном издании.

ОГЛАВЛЕНИЕ:

Введение	5
1. Термины и определения логистики.....	8
2. Классификация моделей и методов теории логистики.	16
3. Метод ABC.....	30
4. Выбор логистических посредников с использованием экспертных оценок.....	43
5. Модель "точно-во-время".....	57
6. Расчет оптимального размера заказа.....	68
7. Применение методов прогнозирования в логистике.....	89
7.1. Основные положения теории прогнозирования.....	89
7.2. Пример прогноза текущего запаса на складе.....	111
7.3. Комбинированный прогноз.....	126
7.4. Пример прогноза количества контейнеров.....	134
8. Определение количества и координат расположения складов в регионе.....	142
8.1. Определение месторасположения склада.....	142
8.2. Транспортная составляющая логистических издержек в зависимости от количества складов в регионе.....	152
8.3. Алгоритм оценки влияния размещения складской сети на транспортные расходы.....	156
9. Расчет страхового запаса (пример).....	165
9.1 Общие зависимости для расчета норм запасов.....	165
9.2 Анализ формулы Бауэрсокса-Клосса для расчета страхового запаса.....	170
10.Транспортная логистика: решение задач автотранспортных перевозок.....	177
10.1. Общий алгоритм планирования грузовых автомобильных перевозок.....	177
10.2. Алгоритм ускоренного планирования автомобильных перевозок.....	198
10.3. Смешанные перевозки: выбор вида транспорта.....	211
11. Список использованной литературы.....	219

Введение

За последние десять лет в нашей стране получило развитие новое научное направление – логистика, характеризуемое, в частности, экспоненциальным ростом количества публикаций: от тезисов конференций до учебников и монографий. Появление такого количества работ является в принципе положительным явлением, дающим надежду на быстрое внедрение достижений логистической науки в реальную экономику.

Однако, экспресс-анализ даже части публикаций показал, что определенная часть работ не имеет, на наш взгляд, отношения к логистике; единственным связующим звеном является существительное «логистика» (например, «контейнерная логистика» или «трудологистика – микрологистика потоков трудовых ресурсов»), прилагательное «логистический» (например, «логистическая производительность») или причастие «логистизированный» или «логистизируемый».

С одной стороны опыт преподавания курса «Логистика» в СПбГИЭУ показал, что в настоящее время данная дисциплина представляет собой скорее эклектику (т.е. «соединение разнородных взглядов, идей и теорий», Большая Советская Энциклопедия, т. 29, 1978 г.) из ряда достаточно полно проработанных и поставленных дисциплин, например таких, как организация перевозок, материально-техническое снабжение и новых, связанных с информационно-компьютерными технологиями и т.д.

С другой стороны сложившееся положение характерно для этапа становления любого нового научного направления. Поэтому, актуальной проблемой является формирование теории логистики как самостоятельной научной дисциплины. Для этого на наш взгляд необходимо уделить внимание следующим аспектам.

1. Практически все специалисты пришли к выводу, что «Логистика» – это в первую очередь управление и т.д. «материальными потоками». Следует подчеркнуть, что несмотря на ряд существующих подходов к классификации потоков, вопрос остается открытым. Тем более, что речь идет о многомерных потоках, включающий помимо материальных информационные, финансовые и другие потоки. Поэтому, без описания (систематизации, формализации и т.п.) в первую очередь материальных потоков невозможно становление и дальнейшее развитие логистической науки.

2. Аналитический аппарат, используемый, к сожалению, только в некоторых разделах Логистики, характеризуется разрозненностью и незавершенностью. Например, выполненный нами анализ показал, что известная формула Уилсона для расчета экономичного размера заказа, выведенная почти сто лет назад при большом количестве допущений, требует корректировки и уточнения. А ведь данная «классическая» формула одна из немногих, составляющих золотой фонд основ теории логистики. Поэтому без разработки моделей и методов, объединяющих несколько логистических функций, трудно добиться прогресса при решении основной проблемы – оптимизации издержек в логистических цепях.

3. Многочисленные варианты расчетов с использованием моделей, методов и методик, приводимых в различных публикациях по Логистике, имеют одну особенность – почти все выполнены как условные примеры. Выход из создавшегося положения один: наполнение общетеоретических положений реальными данными, т.е. разработкой системы сбора и систематизации огромных массивов информации об основных элементах и параметрах логистических сетей. Таким образом без создания справочно-информационных баз данных и соответствующих пакетов прикладных программ невозможна конкретизация расчетов и развитие наиболее перспективного направления – проектирование бизнес-процессов в логистических системах.

В заключение хотелось бы сделать следующее замечание. В одном из учебников по логистике, со ссылкой на американских специалистов, указывается, «что не существует универсальной модели, способной учитывать все переменные, все ситуации и все возможные сценарии. Такая универсальная модель никогда не будет разработана и стремиться к этому бесполезно».

Пессимизм американской концепции очевиден. По существу перед нами еще одно направление – «логистическая философия».

Поэтому, не заглядывая в далекое будущее, считаем, что актуальной проблемой по-прежнему остается разработка и совершенствование основ теории логистики и тех принципиальных вопросов, решение которых будет способствовать ее активному развитию.

1. Термины и определения логистики

Логистика – наука о планировании, организации, управлении и контроле движения материальных и информационных потоков в пространстве и во времени от их первичного источника до конечного потребителя.

Логистическая система (ЛС) – это сложная организационно завершенная (структурированная) экономическая система, которая состоит из элементов – звеньев, взаимосвязанных в едином процессе управления материальными и сопутствующими им потоками. **Логистическая функция (ЛФ)** – укрупненная группа логистических операций, направленных на реализацию целей логистической системы и задаваемых значениями показателей, являющихся ее выходными параметрами (снабжение, производство, сбыт). **Логистическая операция (ЛО)** – обособленная совокупность действий, направленных на преобразование материального и информационного потока (складирование, транспортирование и т.д.).

Логистическая цепь (ЛЦ) – линейно упорядоченное множество звеньев логистической системы (производителей, дистрибьютеров, складов общего пользования и т.д.), осуществляющих логистические операции по доведению материального потока:

- 1) от одной логистической системы до другой (в случае производственного потребления);
- 2) до конечного потребителя.

Звено логистической системы (ЗЛС) – некоторый экономический и (или) функционально обособленный объект, не подлежащий дальнейшей декомпозиции в рамках поставленной задачи анализа или построения логистической системы [выполняющий свою локальную цель, связанную с определенной логистической функцией и логистической операцией]. **Логистическая сеть (ЛС)** – полное множество звеньев логистической системы, взаимосвязанных между собой по материальным и сопутствующим им информационным и финансовым потокам исследуемой логистической системы. **Логистический канал (ЛК)** – упорядоченное множество звеньев логистической системы, включающей в себя все логистические цепи или их участки, проводящие материальные потоки от поставщиков материальных ресурсов до ее конечных потребителей.

Материальный поток (МП) – находящиеся в состоянии движения материальные ресурсы, незавершенное производство, готовая продукция, к которым применяются логистические операции и логистические функции (погрузка, разгрузка, затаривание, перевозка, сортировка, консолидация, разукрупнения и т.д.).

На рис. 1.1 приведен пример логистической сети, включающей трех поставщиков, пять перевозчиков, фирму-производителя продукции, три склада и потребителей [19]. Там же приведены основные источники логистических издержек. Новизна логистического подхода заключается в интеграции закупочной (снабженческой), производственной, распределительной (сбытовой), транспортной, информационной и финансовой логистик, с целью достижения результата с минимальными затратами времени и ресурсов путем оптимального, сквозного управления материальными и информационными потоками. Что дает применение логистических принципов управления и организации потоковыми процессами? Сквозной мониторинг материального потока, по данным Европейской ассоциации, обеспечивает сокращение запасов на 30-70%, по данным промышленной ассоциации США, - на 30-50%.

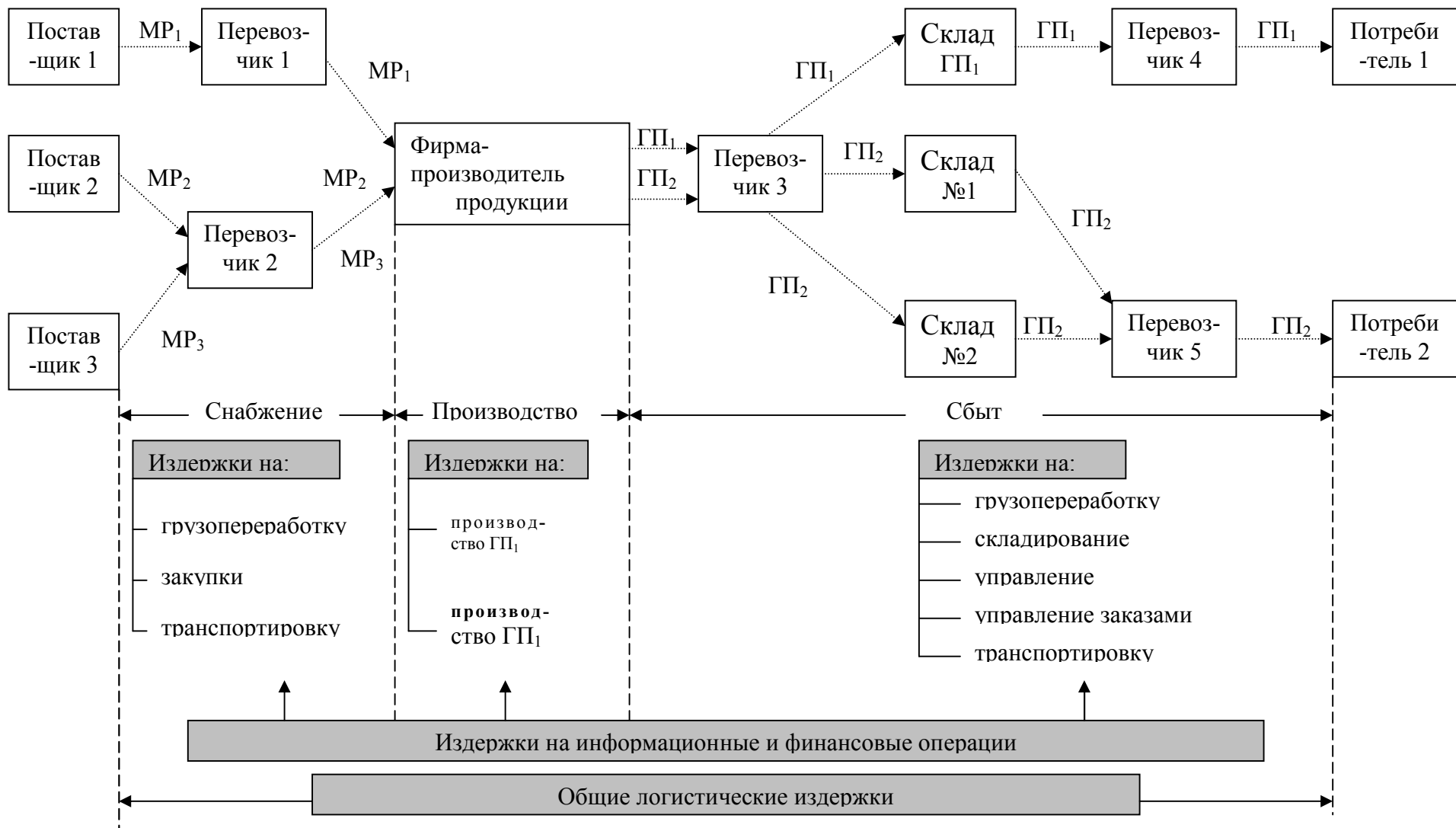


Рис. 1.1. Логистическая сеть и формирование издержек: MP₁, MP₂, MP₃ – материальные ресурсы; ГП₁, ГП₂ – готовая продукция

По мнению специалистов (экспертная оценка), применение логистики позволяет:

- снизить уровень запасов на 30-50%;
- сократить время движения продукции на 25-45%;
- сократить повторные складские перевозки в 1,5-2,0 раза;
- сократить расходы на автоперевозки на 7-20%, на железнодорожные – на 5-12%.

Применение логистики значительно превышает производительность труда, как в сфере обращения, так и в сфере производства. По оценкам специалистов, с начала 1980-х годов в США в ежегодном общем увеличении производительности труда (5-6%) половина (2,5-3%) достигается за счет распространения логистики. Установлено, что сокращение на 1% логистических издержек эквивалентно почти 10% увеличению объема продаж.

Многочисленные исследования показывают эффективность внедрения основных логистических концепций. Так, внедрение системы «Планирование потребности в материалах» (MRP), в которой на основе ЭВМ формируется гибкий механизм, обеспечивающий динамичное управление материальными потоками в реальном масштабе времени, позволяет:

- повысить своевременность обеспечения материалами до 95-97% (вместо 85-90%);
- сократить уровень готовой продукции на складах на 10-12%;
- уменьшить объем незавершенного производства на 20-30%;
- уменьшить количество нарушений сроков поставок на 30-35%.

Стоимость внедрения указанной системы в крупной фирме составила 200 тысяч долларов, а экономия за год эксплуатации – около 1 миллиона долларов.

Результаты анализа по внедрению концепции «точно в срок» на 100 предприятиях, где указанная система функционировала от 2 до 5 лет, позволили установить:

- запасы незавершенного производства сократилось более чем на 80%;
- запасы готовой продукции снизились примерно на 33%;
- объемы непроизведенных запасов (материалов и полученных по кооперации деталей) колеблются от 4 час до 2 дн. по сравнению с 5-15 дн. до внедрения метода;
- продолжительность производственного цикла (срок реализации заданий всей логистической цепи) сократился на 40%;
- значительно повысилась гибкость производства.

Соотношения натуральных показателей на автомобильных заводах, использующих традиционные методы организации производства («Дженерал Моторс») и логистическую концепцию «Точно в срок» («Тойота»), наглядно иллюстрирует преимущества нового подхода (табл.1.1).

Таблица 1.1

Сопоставление традиционных и логистических методов организации производства [11]

Показатель	«Дженерал Моторс»	«Тойота»
Фактическое время сборки одного автомобиля	40,7	18,0
Число дефектов сборки на один автомобиль	130	45
Производительные площади на один автомобиль, квадратных футов	8,1	4,8
Количество товарно-материальных запасов (в среднем)	2 недели	2 часа

Оценка транспортной составляющей в логистических издержках Анализ статистических данных ряда стран показал, что доля товародвижения составляет более 20% ВВП, при этом в структуре этих расходов издержки по содержанию запасов составляют 44%, на складирование и экспедирование – 16%, перевозки – 31% (из них магистральные – 23%, технологические – 9%), сбыт продукции – 8%. Таким образом, около трети общих логистических издержек приходится на транспортировку.

При торговле готовыми изделиями, например, продукцией электронной промышленности, транспортная составляющая колеблется от 2 до 3%; а для продуктов питания и домашней техники от 5 до 6%; при поставках машин и оборудования от 7 до 12%.

Если речь идет о торговле сырьем и полуфабрикатами, то транспортная составляющая больше ввиду того, что продукция этого рода заведомо дешевле, чем готовые изделия. Так, при поставках сырьевой продукции транспортная составляющая находится в диапазоне 45-60%, а для минерально-строительных материалов приближается к 80-85%. Транспортные расходы при поставках особорежимных грузов, требующих каких-либо особых условий транспортировки, хранения, перегрузки и т.д. могут превысить стоимость товара.

Очевидно, что все компании для повышения рентабельности и конкурентоспособности, стремятся снизить затраты, связанные с транспортировкой. Одно из направлений этой деятельности – усиление специализации и передача ряда функций от компаний-производителей продукции к транспортным компаниям. Так из 350 обследованных предприятий различных отраслей экономики США:

- 70% передали транспортным фирмам функции по выполнению и оформлению расчетов за перевозку грузов;
- 20-22% фирм-производителей передали транспортникам функции контроля за грузами в пути следования, а также организацию электронного обмена данными между всеми участниками логистического процесса;
- 7-11% передали транспортникам функции контроля за товарно-материальными ресурсами, выполнению заказов и эксплуатации парка транспортных средств.

Другое направление связано с активизацией использования концепций логистики, в частности, «точно в срок» не только в производстве, но и при транспортировке в заготовительных и распределительных каналах. Напомним, что внедрение указанной концепции позволяет сократить запасы незавершенного производства на 80%, а готовой продукции – на 30%, помимо этого наблюдается снижение издержек производства на 10-20%.

Очевидное влияние внедрения логистических концепций в транспортировку состоит в том, что потребители транспортных услуг отдают предпочтение компаниям, выдерживающим временные графики доставки грузов («точно в срок»).

Третье направление уменьшения логистических издержек – это поиск компромиссов между транспортировкой и величинами поставок. Характерный пример – при годовой потребности в 600 тысяч изданий запас комплектующих на автомобильном заводе составлял 1,5 месяца, а поставки один раз в месяц по 50 тысяч штук. После изменения режима поставок на ежедневные, и сокращение запаса по 1,5 рабочих дней выигрыш составил 28 тысяч долларов, поскольку, несмотря на увеличение транспортных расходов, экономия от сокращения запасов на складах завода составила 64 тысячи долларов.

Аналогичные данные получены в результате внедрения логистических принципов в торговой компании «Вимм-Билль-Данн» (ТК «В-Б-Д»). В процессе реинжиниринга ТК

«В-Б-Д» была построена имитационная модель логистической системы распределения готовой продукции, позволившая решить задачу динамического поддержания уровней запасов продукции на складах по всему ассортименту и ежедневного оптимального планирования рейсов автотранспорта. Помимо минимизации стоимости перевозок (примерно 10%) при соблюдении ограничений по времени доставки и работы складов, были снижены потребности в перемещении продукции и количестве автотранспорта, используемого при ежедневном развозе.

Таким образом, благодаря анализу транспортировки многим компаниям удалось сократить транспортные расходы на 10-15%. Поскольку тенденция к уменьшению размера заказа требует от транспортных фирм повышения эффективности маршрутизации и диспетчеризации грузоперевозок с учетом консолидации партии отправок, то значение анализа транспортных расходов будет возрастать.

2. Классификация моделей и методов теории логистики

Эволюция новых научных направлений таких, как логистика, характеризуется неравномерностью. До последнего времени главным аспектом изучения теории логистики являлись в основном вопросы терминологии и понятийного аппарата (концепции, принципы, парадигмы, цели и задачи, определения и т.п.). Следует отметить, что здесь достигнут значительный прогресс, который нашел отражение в большом количестве публикаций.

Однако вторая и не менее важная часть теории логистики – Методология – в настоящее время представляет собой скорее набор отдельных моделей (методов, алгоритмов), практически не систематизированных и не достаточно подробно изученных. Парадокс состоит в том, что мы говорим об интегральной логистике, а не имеем ни одной пространственно-временной модели, описывающей поведение материального потока и охватывающей несколько звеньев логистической системы. Поэтому, наиболее актуальной проблемой на современном этапе развития является формирование теории логистики как самостоятельной научной дисциплины.

В ряде книг по основам логистики описаны некоторые абстрактные модели, в частности, «теоретико-прикладная модель ценовой функции логистики», «модель системы доставки» и т.д. Как правило, этим моделям искусственно придается аналитическая форма за счет использования математических символов типа сумм ($\sum_{i=1}^N x_i$),

произведений ($\prod_{k=1}^k x_i$), операторов (max, min и др.), различных обозначений, аббревиатур с использованием, главным образом, латинского и греческого алфавита. Очевидно, на определенном познавательном этапе это было необходимо, но по мере развития и накопления опыта все отчетливее встает задача разработки реальных моделей и методов теории логистики, позволяющих выполнять конкретные многовариантные расчеты, связанные с анализом и синтезом логистических систем.

Одной из первых работ, в которой вопросы методологии и научной базы получили самостоятельное значение, является монография В.И. Сергеева [23]. Из данной работы следует, что в логистических исследованиях и разработках используется более 46 дисциплин (табл. 2.1), в частности:

- математика (7 дисциплин);
- исследование операций (9 дисциплин с учетом того, что линейное, нелинейное и динамическое программирование представлены отдельными дисциплинами);
- техническая кибернетика (10 дисциплин);
- экономическая кибернетика и экономика (20 дисциплин).

Следует подчеркнуть, что введенное понятие «дисциплина» носит условный характер, так как в цитируемой работе оно включает, во-первых, различные теории (например, теория вероятностей, теория графов и др.), во-вторых, методы (имитационного моделирования, экономического прогнозирования и др.), в-третьих, различные виды анализа и учета (функциональный анализ, бухгалтерский учет и др.).

Успешная попытка структуризации моделей и методов применяемых в теории логистики предпринята в книге «Логистика»[18]. Аналогично монографии В.И. Сергеева рассмотрены три группы: экономико-математические методы (ЭММ), методы прогнозирования и неформальные методы, при этом ЭММ включают математику, экономику и кибернетику (рис.2.1).

Дисциплины, составляющие научную базу логистики

Общая дисциплина	Наименование разделов
Математика	Теория вероятностей, математическая статистика, теория случайных процессов, математическая теория оптимизации, функциональный анализ, теория матриц, факторный анализ и другие.
Исследование операций	Линейное и нелинейное программирование, теория игр, теория статистических решений, теория массового обслуживания, теория управления запасами, моделирование, сетевое планирование и другие.
Техническая кибернетика	Теория больших систем, теория прогнозирования, общая теория управления, теория автономного регулирования, теория графов, теория информации, теория связи, теория расписаний, теория оптимального управления.
Экономической кибернетики и экономики	Теория оптимального планирования, методы экономического прогнозирования, маркетинг, менеджмент, стратегическое и оперативное планирование, операционный менеджмент, управление качеством, ценообразование, управление персоналом, финансы, бухгалтерский учет, управление проектами, управление инвестициями, социальная психология, экономика и организация транспорта, складского хозяйства, торговли и другие.

Дальнейшая детализация позволила автору выделить 4 дисциплины, включающие экономико-статистические методы, 6 дисциплин математической экономики и эконометрии, 5 дисциплин исследования операций (с учетом объединения 6 видов программирования в одну дисциплину), 3 дисциплины экономической кибернетики. Таким образом, общее количество «дисциплин» – 23 (добавлены 5 дисциплин «теории оптимального функционирования экономики»).

Общим для вышеуказанных работ является отсутствие связи с функциональными логистиками. Поэтому нами был предложен другой подход к классификации, который базируется на анализе конкретных моделей (методов, методик, алгоритмов и т.д.), подробно описанных в закупочной, производственной, распределительной и других логистиках. В табл. 2.2 приведены модели и методы, которые были взяты из работ отечественных и зарубежных авторов [2, 5, 11, 17 и др.].

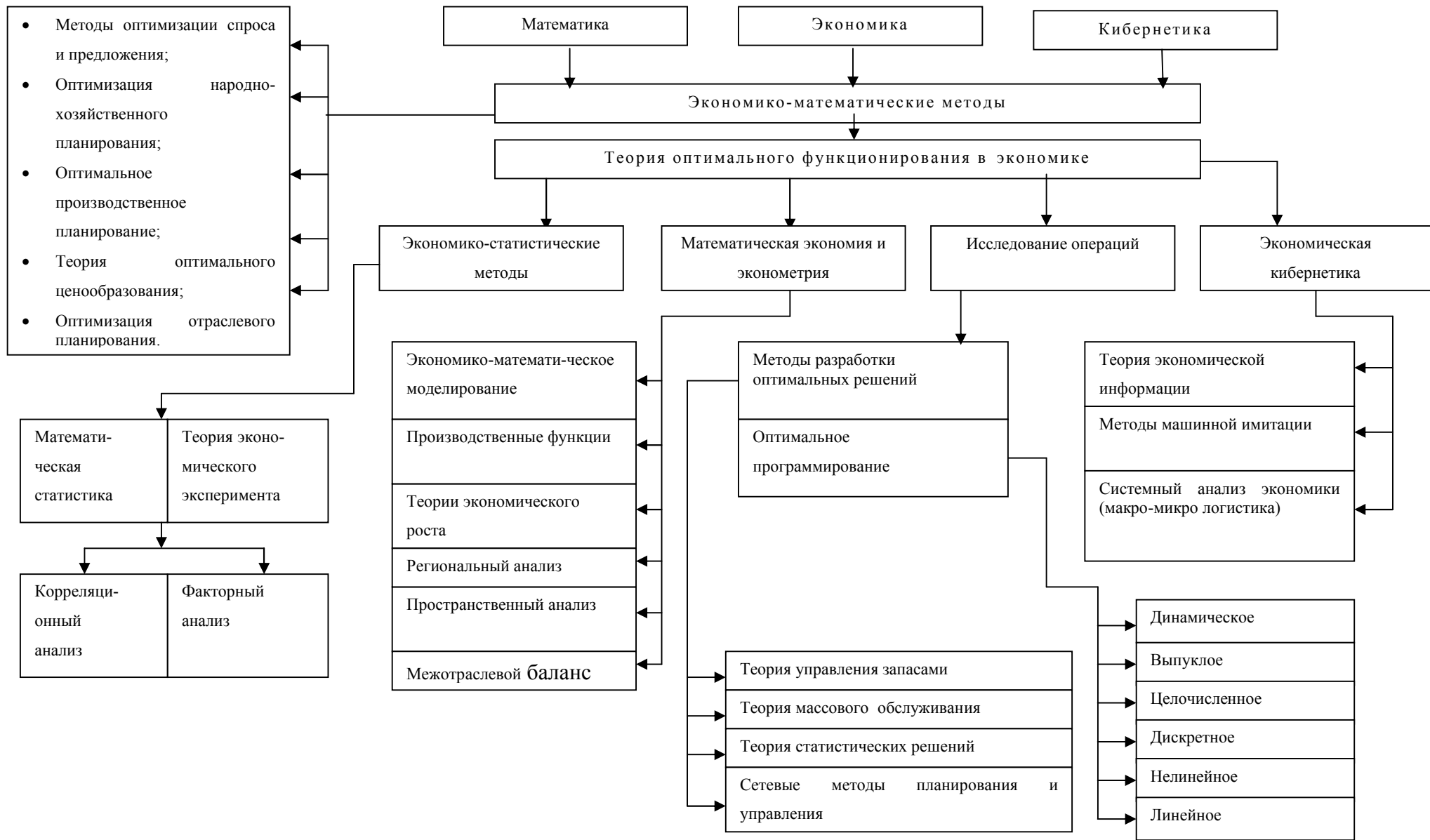


Рис.2.1 Структуризация экономико-математических методов, применяемых в логистике

Модели и методы логистики

Наименование	Цели, задачи	Модели, методы, алгоритмы
1	2	3
<p>Закупочная логистика. Управление закупками. Заготовительная логистика.</p>	<p><u>Цель-</u> удовлетворение потребности производства в материалах с максимально возможной эффективностью .</p> <p style="text-align: center;"><i>Основные задачи:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • выдерживание обоснованных сроков закупки сырья и комплектующих изделий; • обеспечение точного соответствия между количеством поставок и потребностями в них; • соблюдение требований производства по качеству сырья и материальных ресурсов. <p style="text-align: center;"><i>Конкретные задачи:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определение потребности в материальных ресурсах. 2. Исследование рынка закупок. 3. Выбор поставщиков. 4. .Осуществление закупок. 5. Контроль поставок. 6. Подготовка бюджета закупок. <p>Другие.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Алгоритм выбора поставщика материальных ресурсов. 2. Методы прогнозирования: <ul style="list-style-type: none"> • показателей рынка сырья и материалов; • потребностей, спроса (как отдельные блоки в системах MRP, DRP); • другие. 3. Модель «сделать или купить» (Make or Buy). 4. ABC- метод.
<p>Распределительная логистика. Сбытовая логистика, дистрибьюция и физическое распределение. Physical distribution.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Задачи:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. На микроуровне: <ul style="list-style-type: none"> • планирование процесса реализации; • организация получения и обработки заказа; • выбор вида упаковки, комплектация и т.д.; • организация доставки и контроль за 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Алгоритм выбора оптимального варианта распределения материального потока. 2. Модель решения задачи размещения распределительных складских центров (РСЦ) при распределении материальных потоков

	<p>транспортировкой;</p> <ul style="list-style-type: none"> • организация послереализационного обслуживания. <p>2. На макроуровне:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выбор схемы распределения материального потока; • определение оптимального количества складов на обслуживаемой территории; • определение оптимального расположения распределительного центра склада) на обслуживаемой территории. 	<p>(производственно-транспортная задача).</p> <p>3. Метод определения координат склада.</p> <p>4. Выбор логистических посредников.</p>
<p>Логистика складирования. Организация складских процессов элементами логистики.</p>	<p><i>Основные задачи склада:</i></p> <p>1. Преобразование производственного ассортимента в потребительский в соответствии со спросом.</p> <p>2. Складирование и хранение.</p> <p>3. Унификация (объединение) и транспортировка грузов.</p> <p>4. Предоставление услуг:</p> <ul style="list-style-type: none"> • подготовка товаров к продаже: фасовка, упаковка, маркировка, транспортно-экспедиторские услуги; • придание продукции товарного вида и т.п.; • выбор системы грузопереработки на складе и технологического складского оборудования • планировка складских помещений и оптимизация их использования и другие. 	<p>1. Метод Парето (размещение товаров на складе, определение номенклатуры);</p> <p>2. Методика принятия решения об аренде или строительстве склада.</p> <p>3. Модель выбора вариантов оптимального размещения складов.</p>

<p>Логистика запасов. Запасы в логистике. Управление запасами. Inventory management</p>	<p>Рассматриваются две задачи создания и поддержания уровня запасов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • МР в логистических каналах снабжения и производства; • ГП в дистрибутивных каналах. <p><i>Проблема управления запасами включает следующие вопросы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • какой уровень запаса необходимо иметь на каждом предприятии; • в чем заключается компромисс между уровнем обслуживания потребителей и уровнем запасов; • какой объем запасов должен быть на каждой стадии логистического и производственного процесса; • каково значение компромисса между выбранным способом транспортировки и запасами; • как и где следует размещать страховые запасы; • как изменяются затраты на содержание запасов в зависимости от числа складов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Модель ЕОQ-экономического (целесообразного) размера заказа (Economic order quantity). <u>Модификация ЕОQ</u> <ul style="list-style-type: none"> • учет не мгновенности поставок; • учет иммобилизационной составляющей (затраты в пути); • учет транзитной нормы отправки; • учет дефицита в условиях неопределенного спроса; • учет оптовой скидки. • другие 2. Стратегии (модели) контроля и управления запасами: <ul style="list-style-type: none"> • с постоянным размером заказа; • с фиксированным временным интервалом (с учетом периодичности заказа); • с установленной периодичностью пополнения запасов до постоянного уровня; • система управления запасами «минимум-максимум»; • другие 3. Нестационарные и стохастические модели управления запасами. 4. ABC- анализ.
<p>Транспортировка (transportation). Транспортная логистика.</p>	<p>Под <i>транспортировкой</i> понимается ключевая, комплексная транспортная функция как совокупность процессов погрузки-разгрузки, экспедирования и</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Модели выбора перевозчиков. 2. Маршрутизация перевозок: <ul style="list-style-type: none"> • маятниковые маршруты; • развозочные маршруты;

	<p>др. логистических операций. <i>Задачи транспортной логистики:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • обеспечение технической и технологической сопряженности участников транспортного процесса, согласование их экономических интересов, а также использование единых систем складирования; • создание транспортных систем (в том числе транспортных коридоров и транспортных цепей); • обеспечение технологического единства транспортно-складского хозяйства; • совместное планирование производственного, транспортного и складского процессов; • выбор вида транспортного средства (ТС); • выбор типа ТС; • определение рациональных маршрутов доставки; <p>выбор перевозчика и экспедитора.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • транспортная задача (закрепление поставщиков за потребителем); • смешанные (комбинированные) перевозки; • модели распределения услуг сервиса, идентификация торговых сегментов (склад+транспорт); • модели внутри производственных транспортных систем. <p>3. Модель «точно-во-время».</p> <p>4. Экономико-математическая модель макрологистической системы (производственно-транспортная задача).</p> <p>5. Модели логистических центров (ЛЦ)</p> <ul style="list-style-type: none"> • производство-транспорт-потребление.
<p>Производственная логистика, логистика производственных процессов. Управление производственными процедурами (операциями). Operation management.</p>	<p>Комплекс задач внутрипроизводственной микрологистической системы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оперативно-календарное планирование выпуска ГП; • оперативное управление технологическими процессами производства; • всеобщий контроль качества, поддержание стандартов и соответствующего 	<p>В производственной логистике используются:</p> <ul style="list-style-type: none"> • модели и методы «исследования операций» (теория массового обслуживания, марковские цепи и другие); • методы теории прогнозирования; • концепции ЛТ ("точно-во-время" и

	<p>сервиса;</p> <ul style="list-style-type: none"> • стратегическое и оперативное планирование поставок МР; • организация внутрипроизводственного складского хозяйства; • прогнозирование, планирование и нормирование расходов МР в производстве; • организация работы внутрипроизводственного технологического транспорта; • контроль и управление запасами МР, НП, ГП на всех уровнях; • физическое распределение МР и ГП (внутрипроизводственное); • другие. 	<p>др.);</p> <ul style="list-style-type: none"> • методы статистической оценки и контроля производственных процессов; • модели управления запасами МР, НП и ГП; • модель EOQ (экономически целесообразного размера заказа); • ABC- метод (правило 80-20); • Методы объемно-календарного (ОКМ) и объемно-динамического (ОДМ) планирования хода производства; • модель определения объема внутрипроизводственных логистических операций.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Дальнейшее обобщение позволило классифицировать модели различных уровней, с учетом их взаимосвязи и взаимовлияния, от «простого к сложному», сохраняя при этом индивидуальность использования каждой из них при решении отдельных задач. Согласно предложенной классификации все модели разделены на три класса: первый класс включает модели и методы, предназначенные для решения задач в «условиях определенности», без ограничений со стороны внешней среды; второй класс - в условиях риска и неопределенности (например, «нечетких множеств»), но без конкуренции; третий класс- модели и методы решения логистических задач в условиях конкуренции (рис. 2.2). Каждый класс в свою очередь делится на три вида, внутри которых предусмотрено деление на группы (подгруппы). Деление на виды определяется степенью учета в анализируемой модели логистических операций и функций, тогда как деление на группы определяется в первую очередь сложностью моделей, в частности, использованием специальных процедур, например, оптимизации.

Остановимся подробнее на моделях и методах первого класса, поскольку именно они получили наибольшее распространение. Так к первой группе А первого вида могут отнесены модели:

- модели выбора (поставщика, посредника, перевозчика, экспедитора, типа транспортного средства и т.д.);

- модели прогноза (количества сырья, готовой продукции, текущего запаса на складе и др.);
- модели выявления номенклатурных групп (ABC, XYZ);
- аддитивные временные модели («точно-во-время»);
- модели определения потребностей, основанные на теории восстановления;
- модели управления запасами и др.

Ко второй группе Б первого вида отнесены модели, использующие оптимизационные процедуры, в частности, линейного программирования. Например, транспортные задачи закрепления поставщиков и потребителей, задача коммивояжера, различные комбинированные методы.

Ко второму виду отнесены модели, охватывающие две и более логистические операции или функции. Очевидно, что модели второго вида формируются с использованием моделей первого вида. Деление на группы осуществляется следующим образом: к первой групп относятся модели, в которых отсутствуют оптимизационные процедуры или используется один критерий оптимизации; вторую группу составляют многокритериальные оптимизационные модели.

В качестве примера укажем наиболее распространенные модели второго уровня:

- определение оптимальной величины заказа (закупочная и складская логистика);
- алгоритмы управления запасами (закупочная, складская и транспортная логистика);
- формирование номенклатуры и ассортимента распределительных и торговых центров различных уровней;
- выбор вида транспорта и способа перевозки.

Модели третьего вида включают все элементы логистической системы (сети, цепи или канала). Первую группу составляют модели анализа издержек с последующим реинжинирингом логистических систем; вторая группа – модели синтеза или проектирования логистических систем с использованием принципов «минимизации общих логистических издержек» или «экономических компромиссов».

Таким образом, развитие аналитических и имитационных моделей всех видов позволяет перейти к решению главной проблемы теории логистики – проектирование логистических систем.

III класс: с учетом ограничений (конкуренция)

II класс: в условиях риска и неопределенности

I класс: без ограничений со стороны внешней среды, в условиях определенности

Виды	Группы	
	А	Б
1. Модели, охватывающие отдельные логистические операции и/или функции	1А. без оптимизации	1Б. С использованием оптимизационных процедур
2. Модели, охватывающие две или более логистических операций и/или функций	2А. однокритериальные задачи	2Б. Многокритериальные задачи
3. Модели логистических систем (каналов, сетей)	3А Анализ систем; оценка эффективности	3Б. Синтез (проектирование)

Рис. 2.2 Классификация моделей и методов прикладной теории логистики

3. Метод ABC

В логистике широко используется метод контроля и управления запасами - метод ABC, получивший также названия «правило Парето» или «правило 80/20».

Метод ABC, согласно [21] – «способ формирования и контроля за состоянием запасов, заключающийся в разбиении номенклатуры N реализуемых товарно-материальных ценностей на три неравномоощных подмножества А, В и С на основании некоторого формального алгоритма».

Суть данного метода заключается в том, что вся номенклатура материальных ресурсов располагается в порядке убывания суммарной стоимости всех позиций на складе. При этом цену единицы продукции умножают на общее количество и составляют список в порядке убывания произведений. Далее подразделяют все позиции номенклатуры на три группы – А, В и С. Пример формирования групп приведен в таблице 3.1 [6].

Позиции номенклатуры, отнесенные к группе А – немногочисленны, но на них приходится преобладающая часть денежных средств, вложенных в запасы. Это особая группа с точки зрения определения величины заказа по каждой позиции номенклатуры, контроля текущего запаса, затрат на доставку и хранение.

К группе В относятся позиции номенклатуры, занимающие среднее положение в формировании запасов склада. По сравнению с позициями номенклатуры группы А, они требуют меньшего внимания, за ними производится обычный контроль текущего запаса на складе и своевременностью заказа.

Группа С включает позиции номенклатуры, составляющие большую часть запасов: на них приходится незначительная часть финансовых средств, вложенных в запасы. Как правило, за позициями группы С не ведется текущий учет, а проверка наличия осуществляется периодически (один раз в месяц, квартал или полугодие); расчеты оптимальной величины заказа и периода заказа не выполняется.

Таблица 3.1

Анализ ABC

Первичный список			Упорядоченный список				Группа
№ позиции	средний запас по позиции, руб.	доля позиции в общем запасе, %	№ позиции	Средний запас по позиции, руб.	Доля позиции в общем запасе, %	Доля нарастающим итогом, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	2500	2,08	27	23400	19,50	19,5	ГРУППА А
2.	760	0,63	8	17050	14,21	33,7	
3.	3000	2,50	34	13600	11,33	45,0	
4.	560	0,47	40	11050	9,21	54,3	
5.	110	0,09	11	9000	7,50	61,8	
6.	1880	1,57	49	7250	6,04	67,8	
7.	190	0,16	38	5400	4,50	72,3	

8.	17050	14,21	10	4000	3,33	75,6		
9.	270	0,23	3	3000	2,50	78,1		
10.	4000	3,33	1	2500	2,08	80,2		
11.	9000	7,50	25	2390	1,99	82,2	ГРУППА В	
12.	2250	1,88	12	2250	1,88	84,1		
13.	980	0,82	47	2100	1,75	85,8		
14.	340	0,28	6	1880	1,57	87,4		
15.	310	0,26	43	1660	1,38	88,8		
16.	240	0,20	50	1400	1,17	89,9		
17.	170	0,14	42	12809	1,07	91,0		
18.	120	0,10	30	1120	0,93	91,9		
19.	460	0,38	13	980	0,82	92,8		
20.	70	0,06	46	880	0,73	93,5		
21.	220	0,18	2	760	0,63	94,1		
22.	680	0,57	22	680	0,57	94,7		
23.	20	0,02	4	560	0,47	95,2		
24.	180	0,15	45	500	0,42	95,6		
25.	2390	1,99	19	460	0,38	96,0		
26.	130	0,11	35	440	0,37	96,3		ГРУППА С
27.	23400	19,50	44	400	0,33	96,7		
28.	40	0,03	37	360	0,30	97,0		
29.	210	0,18	41	350	0,29	97,3		
30.	1120	0,93	14	340	0,28	97,5		
31.	30	0,03	33	320	0,27	97,8		
32.	80	0,07	15	310	0,26	98,1		
33.	320	0,27	9	270	0,23	98,3		
34.	13600	11,33	16	240	0,20	98,5		
35.	440	0,37	21	220	0,18	98,7		
36.	60	0,05	29	210	0,18	98,8		
37.	360	0,30	7	190	0,16	99,0		

38.	5400	4,50	24	180	0,15	99,2
39.	140	0,12	17	170	0,14	99,3
40.	11050	9,21	39	140	0,12	99,4
41.	350	0,29	26	130	0,11	99,5
42.	1280	1,07	18	120	0,10	99,6
43.	1660	1,38	5	110	0,09	99,7
44.	400	0,33	32	80	0,07	99,8
45.	500	0,42	20	70	0,06	99,8
46.	880	0,73	36	60	0,05	99,9
47.	2100	1,75	48	50	0,04	99,9
48.	50	0,04	28	40	0,03	100,0
49.	7250	6,04	31	30	0,03	100,0
50.	1400	1,17	23	20	0,02	100,0

В табл.3.2 обобщены материалы из различных источников, отражающих процентные соотношения групп А, В и С в общей совокупности запасов. Так, например, первая строка таблицы констатирует, что в группу А входят позиции номенклатуры, составляющие 80% от стоимости всех запасов и только 20% от общего количества позиций; в группу В включается, соответственно, 15% позиций от стоимости всех запасов и 30% наименований. Очевидно, что на группу С остается 5% по стоимости и 50% всех позиций номенклатуры.

В то же время из анализа табл.3.2 следует, что в настоящее время нет общепринятого подхода определения границ номенклатурных групп, т.е. координат точек $A(y_A, x_A)$, $B(y_A+y_B, x_A+x_B)$. Так, разброс по группе А по стоимости составляет 20% (от 60 до 80%), по номенклатуре – 10% (от 10 до 20%) и т. д. Поэтому представляет интерес сравнение различных интерпретаций метода ABC.

Таблица 3.2

Процентные соотношения групп А,В и С («Правило Парето»)

Источник	Группа А		Группа В		Группа С	
	Y_A	X_A	Y_B	X_B	Y_C	X_C
Д.Дж. Бауэрсокс, Д.Дж. Клосс	80	20	15	30	5	50

Р. Линдерс, Н. Харольд						
• запасы	75	20	15	30	-	-
• закупки	70-80	10	10-15	10-20	10-20	70-80
• пример	71,1	10	19,4	19,5	9,5	71,1
J. Shapiro	60	20	20	20	20	60
В. И. Сергеев	75-80	10-15	15-20	20-25	5-10	60-70
Б.А. Аникин и др.	80	15-20	10-15	30	5-10	>50
А.М. Гаджинский	75	10	20	20	25	-

Для анализа были выбраны три метода.

Первый метод, назовем его «эмпирический», базируется на данных обследований, см. табл.3.2. Условно в нем можно выделить несколько вариантов, но наибольший интерес представляет «классический» вариант – «Правило Парето», когда координаты точки А принимаются, например, следующими: $Y_A = 80\%$; $X_A = 20\%$, т.е. «80/20», а координаты точки В, соответственно, $Y_A + Y_B = 95\%$, $X_A + X_B = 50\%$, т.е. «95/50». Таким образом, точка А определяет 20% границу номенклатуры, (А+В) – 50% номенклатуры.

Второй метод – «дифференциальный» [21].

Суть метода рассмотрим на примере номенклатуры запасных частей для автомобилей:

- определяются общие затраты на ЗЧ по всей номенклатуре C_Σ ;
- рассчитывается средняя стоимость одной детали номенклатуры $p = C_\Sigma / N$, где N – количество наименований ЗЧ;
- все ЗЧ, затраты на которые в 6 и более раз превышают p , относятся к группе А;
- ЗЧ, затраты на которые составляют 0,5 p или меньше, относятся к группе С;
- Остальные ЗЧ попадают в группу В.

Несомненное достоинство дифференциального метода – простота; нет необходимости ранжировать ЗЧ по стоимости, т.е. располагать в порядке возрастания или убывания, и строить кумулятивную (интегральную или накопленную) зависимость $C_\Sigma(i)$.

Третий метод – «аналитический», подробно описанный в ряде работ [13, 28, 4]. Особенность аналитического метода состоит в том, что точки А и В определяются по статистическим данным учета запасов на складе, как в первом методе, но координаты их не строго фиксированы, а зависят от характера зависимости $C_\Sigma = f(N)$.

Суть метода рассмотрим на следующем примере. Допустим, что для всей номенклатуры деталей N известны: c_i – стоимость i -ой детали, q_i – количество (или оборот) i -ой детали на складе в течение рассматриваемого интервала времени.

Рассчитаем затраты по каждой детали.

$$C_i = c_i q_i, \quad (3.1)$$

Полученные значения C_i ранжируются - располагаются в убывающей последовательности

$$C_a \geq C_b \geq \dots \geq C_i \geq \dots \geq C_m \quad (3.2)$$

Затем производится присвоение новых индексов: $a = 1, b = 2, \dots, m = N$, где N - общее количество наименований деталей (номенклатура), т.е.

$$C_1 \geq C_2 \geq \dots \geq C_i \geq \dots \geq C_N \quad (3.3)$$

Для удобства расчетов вводятся относительные величины рассматриваемых стоимостных показателей q_i (в процентах), тем самым производим нормирование показателей.

$$q_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^N C_i} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

Величины q_i суммируются нарастающим итогом $q_{\Sigma i} = \sum q_i$ и в зависимости от последующего способа определения номенклатурных групп представляются в виде графика (графический метод) или в случае применения аналитического метода в табличной форме в виде пар значений $(q_{\Sigma i}; i)$ для подбора аналитической зависимости

$$q_{\Sigma i} = f(a_p, x), \quad (3.5)$$

где a_p - коэффициенты,
 x - номер детали, $x = 1, N$.

При графическом способе (рис. 3.1) на оси ординат наносятся значения $q_{\Sigma i}$, на оси абсцисс - индексы $1, 2, \dots, i, \dots, N$, соответствующие присвоенным номерам позиций номенклатуры запасных частей. Точки с координатами $(q_{\Sigma i}; x)$ на графике соединяются плавной кривой $OO'D$, которая в общем случае является выпуклой. Затем проводится касательная LM к кумулятивной кривой $OO'D$, параллельно прямой OD . Прямая OD соответствует равномерному распределению затрат по всей номенклатуре, т.е. характеризует величину показателя осредненной детали.

$$\bar{q}_A = 100 / N \quad (3.6)$$

Абсцисса точки касания O' , округленная до ближайшего целого значения отделяет от всей номенклатуры деталей первую группу N_A (группа A), в которую входят детали с показателями $q_i \geq \bar{q}_A$.

Таким образом, к группе A относятся все позиции номенклатуры, для которых значение показателя q_i больше или равно среднему значению показателя для всей номенклатуры N .

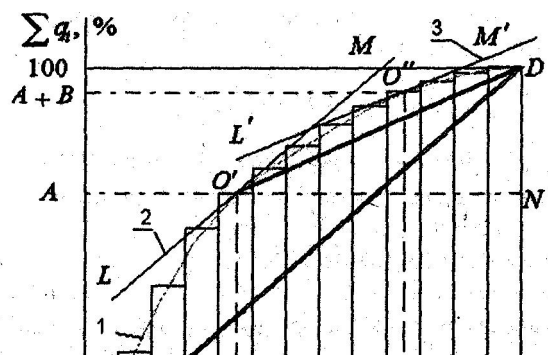


Рис.3.1 Определение номенклатурных групп ABC

1 - накопленные затраты на ЗЧ по всей номенклатуре деталей;

2 - касательная $L - M$ к кривой $00'D$;

3 - касательная $L'-M'$ к кривой $0'0''D$.

Соответственно ордината точки $O'-q_{\Sigma A}$ указывает долю деталей группы A в процентах от величины в общем показателе $q_{\Sigma i}$.

Продолжим деление на группы оставшейся номенклатуры деталей, воспользовавшись вышеописанным приемом. Соединим точку O' с точкой D и проведем касательную к кривой $0'0''D$, параллельную прямой $O'D$.

Абсцисса точки касания O'' делит оставшуюся номенклатуру деталей на группу B и группу C .

Для оставшейся номенклатуры величина показателя «осредненной» детали составит

$$q_B = \frac{100 - q_{\Sigma A}}{N - N_A}, \quad (3.7)$$

где N_A - число деталей (номенклатура) группы A .

Таким образом, в группу B попадают детали с показателями $q_{\Sigma i}$, подчиняющимися неравенству

$$q_A > q_{\Sigma i} > q_B \quad (3.8)$$

Следует указать, что если кривая $00'O''D$ невыпуклая, то невозможно выделить ни одну из групп деталей; если кривая $0'0''D$ невыпуклая, то невозможно выделить группы B и C .

Рассмотренная методика может быть реализована на ЭВМ, при этом для ранжирования запасных частей следует воспользоваться стандартной подпрограммой; для нормирования (и построения кумулятивной зависимости) разработать соответствующую подпрограмму; для определения границ групп воспользоваться соотношениями (3.5), (3.6).

Аналитический способ. Последовательность расчета следующая.

1. Для удобства расчетов количество деталей N целесообразно нормировать в интервале 0 - 1 и ввести аргумент x .

2. Задаемся видом функциональной зависимости $y = f(x, a_p)$, где a_p - коэффициенты.

3. Коэффициенты a_p определим с использованием метода наименьших квадратов (МНК).

Для нелинейных зависимостей, типа $y = \sqrt{a_0x + a_1x^2}$, $y = a_0x^{a_1}$ и других, выполняются необходимые преобразования для приведения к «нормальному» виду, т.е. к виду, позволяющему получить систему нормальных уравнений.

4. При определении коэффициентов a_p необходимо соблюдать начальные условия: первое - при $x = 0$, $y = 0$; второе - при $x = 1$, $y = 1$. Это позволит сократить число уравнений для определения коэффициентов a_p . Например, для зависимости

$y = \sqrt{a_0x + a_1x^2}$, учет начальных условий приводит к соотношению $a_0 = 1 - a_1$.

5. Для определения координат точки O' воспользуемся теоремой Лагранжа, согласно которой

$$f'(x) = \frac{f(b) - f(a)}{x_b - x_a}, \quad (3.9)$$

где $f'(x)$ - производная функция $f(x)$ в точке касания;

$f(b), f(a)$ - значения функции $f(x)$ в начальной и конечной точках.

Решив уравнение (3.9), определим абсциссу x_A и далее переходим к номенклатуре группы А по формуле

$$N_A = x_A N, \quad (3.10)$$

6. Введем новую систему координат, принимая за начало отчета абсциссу x_A и ординату $y(x_A)$. В некоторых случаях с целью унификации расчета шкалы по осям могут быть вновь отнормированы. Таким образом, основное уравнение (3.9) записывается в виде

$$f'(x) = \frac{f(b) - f(x_A)}{x_b - x_A}, \quad (3.11)$$

Рассмотрим аналитический метод определения групп А, В и С на основе данных, приведенных в табл.3.3.

Таблица 3.3

Исходные данные для расчета коэффициентов a_0 и a_1 и значения аппроксимирующих функций $y = \sqrt{a_0x + a_1x^2}$

Величина аргумента x_i	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$q_{\Sigma i}$ (эмпирические)	0,5	0,7	0,8	0,85	0,9	0,914	0,917	0,98	0,99
$q_{\Sigma i}^P$ (расчет)	0,457	0,627	0,744	0,831	0,896	0,944	0,977	0,996	1,00

Выберем аппроксимирующую функцию в виде

$$y = \sqrt{a_0x + a_1x^2} = \sqrt{a_0x + (1 - a_0)x^2} \quad (3.12)$$

Используя метод наименьших квадратов, находим параметр $a_0 = 2,21$; соответственно $a_1 = 1 - a_0 = -1,21$. Результаты расчетных значений $q_{\Sigma i}^P$ по формуле (3.12) приведены в табл. 3.3.

Для расчета абсциссы точки касания воспользуемся уравнением (3.11). Поскольку

$$f'(x) = \left(\sqrt{a_0 x + a_1 x^2} \right)' = \frac{a_0 + 2a_1 x}{2\sqrt{a_0 x + a_1 x^2}}, \quad (3.13)$$

и, учитывая, что в общем виде

$$\frac{f(x_m) - f(x_k)}{x_k - x_m} = C, \quad (3.14)$$

получим

$$a_0 + 2a_1 x = 2 \cdot C \cdot \sqrt{a_0 x + a_1 x^2}. \quad (3.15)$$

В результате преобразования находим:

$$x = -\frac{a_0}{2a_1} \left[1 \pm C \cdot \sqrt{\frac{1}{C^2 - a_1}} \right]. \quad (3.16)$$

При подстановке значений $x_k=1$, $x_m=0$, $f(x_k)=1$ и $f(x_m)=0$ в формулу (3.16) получим $C=1$. Тогда, по формуле (3.15) при $a_0=2,21$ и $a_1=-1,21$ находим

$$x_A = -\frac{2,21}{2(-1,21)} \cdot (1 \pm 1 \cdot \sqrt{\frac{1}{1^2 - (-1,21)}}) = 0,3$$

Второе значение $x_A=1,52$ отбрасываем.

При подстановке $x_A=0,3$ в формулу (3.12) находим

$$q_A = \sqrt{0,3 \cdot 2 \cdot 21 - 0,3^2 \cdot 1,21} = 0,744.$$

Полученные значения указывают координаты точки O' - границы группы A (рис. 3.2). Домножив X_A на количество (номенклатуру) деталей данного узла N , получим количественную оценку числа наименований деталей группы A . Определим координаты точки O'' .

При подстановке X_A , q_A в формулу (3.14), находим

$$C = \frac{1 - 0,744}{1 - 0,3} = 0,366.$$

Затем по формуле (3.16) получим $X_{A+B} = 0,61$ и $q_{A+B} = 0,95$. Таким образом, в рассмотренном примере четко прослеживается методика аналитического расчета. К недостаткам, связанным с использованием зависимости $y = \sqrt{a_0 x + a_1 x^2}$, следует отнести то, что функция $y(x)$ может достигнуть максимума в интервале $0 - 1$. Дальнейший анализ показал, что значения коэффициента a_0 , а следовательно и a_1 , ограничены: $a_0 \leq 2$. Поэтому полученная с помощью МНК оценка $a_0=2,21$ приводит к тому, что функция $y = \sqrt{2,21x - 1,21x^2}$ достигает максимума $y_{max}=1,01$ при $x=0,913$ позиции номенклатуры ЗЧ.

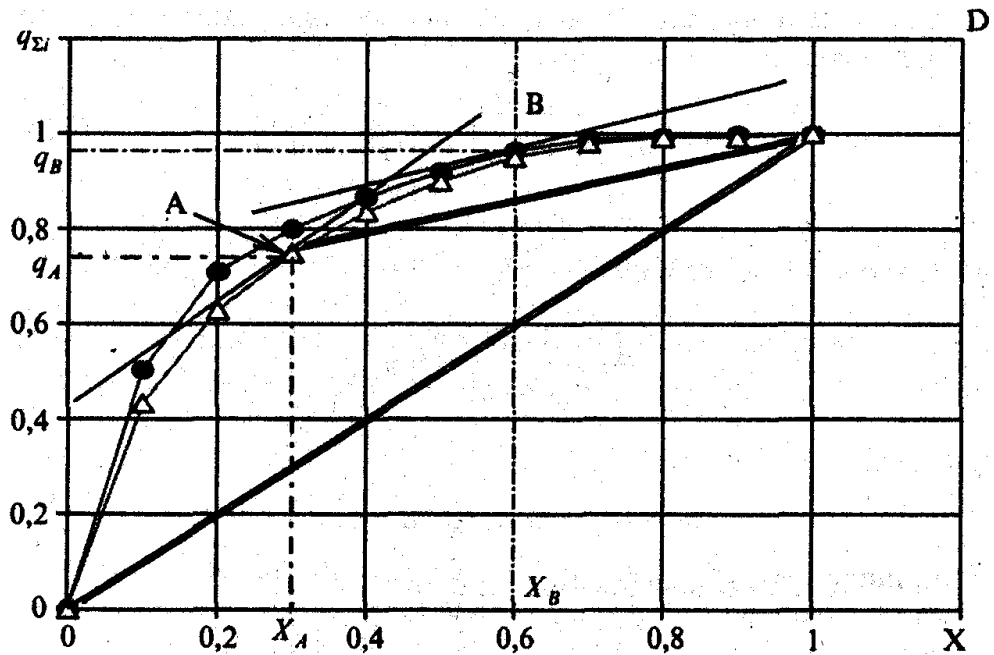


Рис. 3.2. Пример определения групп А, В, С по аналитической методике

● — исходные данные
 △ — аппроксимирующая зависимость $q = \sqrt{2,21x - 1,21x^2}$

В табл.3.4 приведены результаты определения номенклатурных групп А, В, С с помощью эмпирического метода, использованного авторами указанных работ, а также выполненные нами расчеты по дифференциальному (второму) и аналитическому (третьему) методам.

Анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы.

1. Номенклатурные группы, определенные первым и третьим методом практически совпадают.
2. Дифференциальный метод дает координаты точки А существенно отклоняющейся от координат, полученных первым и третьим методами. Это говорит о том, что несмотря на простоту использования, метод не может быть рекомендован для определения номенклатурных групп.
3. Накопленная кумулятивная кривая [23] отличается от других зависимостей, приведенных в табл.3.4, что, возможно, послужило причиной сильного отклонения координат точек А и В при использовании аналитического метода от эмпирической зависимости. Анализ поведения кумуляты по первоисточнику показал, что наблюдается «перелом» в общей совокупности, то есть кривая состоит из кусочно-нелинейных зависимостей. Это говорит о том, что весь массив информации должен быть проверен на однородность и возможно разделен на две совокупности.
4. Исследования метода АВС должен быть продолжен по крайней мере в двух направлениях:
 - оценка разрешающей способности метода, когда номенклатура включает сотни и тысячи наименований, объединенных в одну совокупность;
 - развитие многомерных методов выделения групп с привлечением многокритериальных оценок [4, 5, 26]. В частности, двухмерного метода АВС – XYZ, в котором деление на

группы X, Y, Z производится с учетом коэффициента вариации v , отражающем процессы расхода текущего запаса на складе i -ой детали, относящийся в свою очередь к соответствующей группе А, В или С по стоимости.

5. Результаты обработки реальных данных позволяют записать эмпирическое правило «80/20» в следующих вариантах: «80/-» или «-/20», либо «-/-» (аналитический метод).

Таблица 3.4
Сравнение результатов выбора номенклатурных групп

Источник	Количество позиций номенклатуры N	Метод определения*	Группа А	Группа А+В	Группа С
1. Д.Дж.Бауэрсокс Д.Дж.Клосс [2, стр.275]	-	1	80/20	95/50	5/50
		2	30/5	93/60	7/40
		3	84/24	95/54	5/46
2. А.М.Гаджинский [5, стр.115]	20	1	75/10	95/35	5/65
		2	52/5	93/30	7/70
		3	83/15	96/40	4/60
3. В.И.Сергеев [23, стр.335]	60	1	71,5/10	97,5/23	2,5/77
		2	49/5	99/80	1/20
		3	98/23	2/77	
4. А.М.Гаджинский [6, с.47]	50	1.	80/20	95/60	4/50
		2.	45/6	91/34	9/66
		3.	85/25	96/75	4/25
5. Бережной В.И. и др. [4, с.83]	58	1.	81/16	95/55	5/45
		2.	56,5/1,7	84,6/24	15,4/76
		3.	78/14	93/46	7/54
*) 1 - эмпирический; 2 – дифференциальный; 3 - аналитический.					

4. Выбор логистических посредников с использованием экспертных методов

Наиболее распространенной задачей для большинства функциональных логистик ("базовых и ключевых логистических активностей") является выбор логистических посредников (ЛП): поставщиков, экспедиторов, перевозчиков и т. д. Очевидно, что при наличии конкуренции во всех звеньях логистической системы (ЗЛС) наблюдается многовариантность, выражающаяся как в большом количестве ЛП, которые могут выполнять соответствующие логистические операции, так и наличии альтернативных вариантов решений, сформированных из различных ЗЛС.

Вопросы выбора ЛП, подробно рассмотренные практически во всех работах по логистике различаются в основном глубиной проработки и наличием примеров расчетов. Так, в работе [2] представлен один из возможных способов сравнительной оценки перевозчиков. Расчет включает два этапа. На первом этапе каждому критерию присваивается определенный «вес», отражающий его относительную значимость для грузоотправителя. В данном примере наиболее важный критерий имеет «вес» или разряд равный 1. На втором этапе оценивают эффективность перевозчика по каждому критерию, при этом также используется трехбалльная шкала. Рейтинг по каждому критерию определяется перемножением оценок «относительной значимости» и «эффективности», а итоговый рейтинг перевозчика- сложением оценок.

В качестве другого примера рассмотрим более сложный вариант, предусматривающий выбор перевозчика из трех претендентов [23]. На рис. 4.1 приведен алгоритм выбора, в таблице 4.2-результаты расчета рейтингов. Поскольку трехбалльная оценка предусматривает наименьший балл «1» для оценки «хорошо», 2 – «удовлетворительно», а наибольший-«3» для оценки «плохо», то второй перевозчик, имеющий наименьший суммарный рейтинг 14,94, является наиболее предпочтительным.

Таблица 4.1

Оценка перевозчика: пример

Критерий оценки	Относительная значимость *	Эффективность перевозчика **	Рейтинг перевозчика
1. Издержки	1	1	1
2. Транзитное время	3	2	6
3. Надежность (стабильность транзитного времени)	1	2	2
4. Технические и сервисные возможности	2	2	4
5. Доступность	2	2	4

6.	Безопасность (сохранность груза)	2	3	6
Итого		-	-	23
Примечания:* 1 – очень важен; 2 – умеренно важен; 3 – наименее важен. ** 1 – высокая; 2 – средняя; 3 – высшая.				

Принципиальное отличие проанализированных [2, 5, 23, 25 и др.] работ состоит в том, что в них приведены два подхода:

- Аналитический, предполагающий осуществление выбора с использованием формул, которые включают ряд параметров, характеризующих ЛП (например, метод стоимости оценки при выборе перевозчика;
- Экспертный, в основу которого положены оценки специалистов-экспертов для параметров, характеризующих ЛП, и описаны процедуры получения интегральных экспертных оценок (рейтингов).

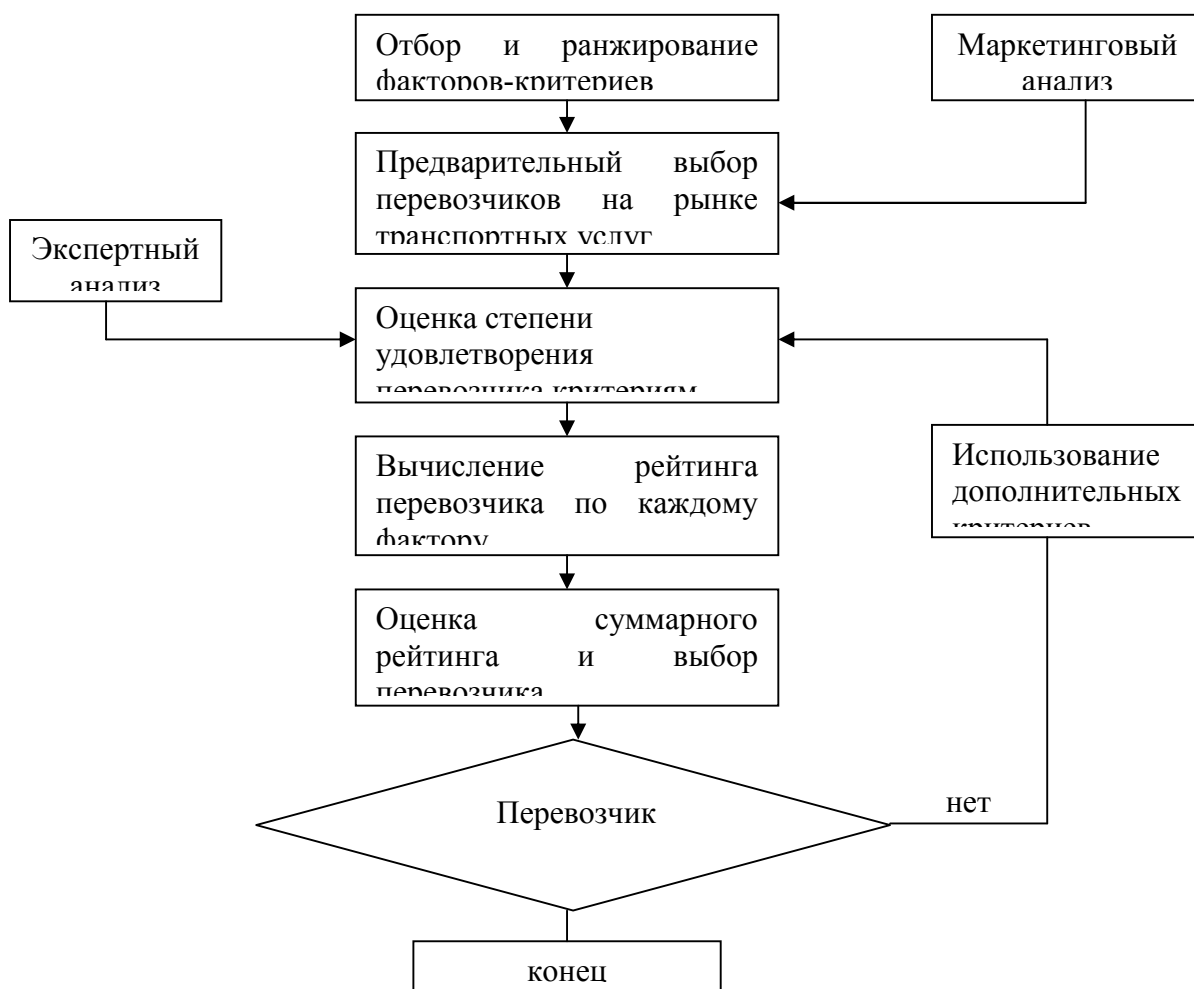


Рис. 4.1 Алгоритм выбора перевозчика.

Рассмотрим оба подхода подробнее.

Аналитический подход [25] является универсальным, но не следует забывать, что входящие в него параметры ЛП могут потребовать экспертных методов оценки. Помимо этого приведенные зависимости для выбора перевозчика не проиллюстрированы примерами расчетов, что затрудняет общую оценку их точности и достоверности. Помимо этого получение аналитических зависимостей, включающих основные параметры ЛП, является довольно трудоемкой задачей.

Таблица 4.2

Расчет рейтинговых оценок для выбора перевозчика

Критерий	Ранг	Вес*	Первый перевозчик		Второй перевозчик		Третий перевозчик	
			Оценка	Рейтинг	Оценка	Рейтинг	Оценка	Рейтинг
1. Надежность времени доставки	1	5,0	3	15,0	1	5,0	2	10,0
2.Тариф за перевозку	2	2,5	1	2,5	2	5,0	3	7,5
3.Финансовая стабильность	5	1,0	1	1,0	3	3,0	2	2,0
4.Сохранность груза	9	0,55	3	1,65	2	1,1	2	1,1
5.Отслеживание отправок	12	0,42	2	0,84	2	0,84	1	0,42
Суммарный рейтинг				20,99		14,94		21,02
Примечания: * вес определен делением количества критериев (5) на соответствующий ранг; ** рейтинг- произведение «оценки» на «вес».								

Экспертный подход. Приведенные в работах алгоритмы и примеры расчетов интегральных (рейтинговых) оценок ЛП отличаются многообразием, но их активное практическое использование ограничено, на наш взгляд тем, что участие экспертов в

процедурах оценивания не формализовано и колеблется в широких пределах. Так, вариант-максимум включает следующие операции [23]:

- Общее описание N показателей (критериев), характеризующих ЛП данного ЗЛС
- Ранжирование показателей
- Присвоение балльных (ранговых) оценок
- Отбор M показателей (критериев) оценки ЛП
- Определение весовых коэффициентов W_i для M показателей с учетом $\sum W_i = 1$ или расчет по формуле

$$W_i = M / i, i = 1, 2, \dots, N, \quad (4.1)$$

где M – количество отобранных показателей из общего количества, равного N ;
 i – ранг (балл), присвоенный i -му показателю.

- 6 Выбор шкалы для балльной оценки показателей конкретных ЛП, например, «хорошо» (1), «удовлетворительно» (2), «плохо» (3) и т. п.
- 7 Присвоение баллов каждому j -му ЛП, т. е. собственно процедура оценивания в виде баллов a_{ij} для i -строк (показатели) и j -столбцов (конкретные ЛП).
- 8 Расчет интегрального показателя (ранга) A_j для каждого j -го ЛП

$$A = \sum W_i a_{ij}, \quad (4.2)$$

где K – количество сравниваемых ЛП.

Таким образом, вариант-максимум предусматривает участие экспертов в семи операциях, что с одной стороны затрудняет и удорожает получение итоговых результатов, с другой стороны приводит к разным вариантам выбора ЛП даже для одной и той же логистической системы в силу произвольности и субъективизма при выполнении ряда операций.

Дальнейшие исследования и накопленный опыт оценивания позволил разработать общий алгоритм выбора ЛП (рис.4.2), включающий следующие положения:

1. Все показатели (критерии) разделены на три группы: количественные, качественные, релейные («да» \ «нет»); это позволяет использовать различные подходы при их определении и расчете интегральных оценок для ЛП. Поскольку в ряде работ приведены общие ранжированные перечни показателей (критериев) для поставщиков, экспедиторов, перевозчиков, то это позволяет констатировать, что в дальнейшем для всех ЛП будут разработаны стандартизованные таблицы показателей (критериев), см. таблицы 4.3, 4.4, 4.5.
2. К релейным показателям отнесены такие, которые имеют только два показателя: «да» или «нет». Например, наличие у ЛП соответствующего сертификата качества или лицензии, страховых полюсов, допуск к каким-либо процедурам (в частности для международных перевозчиков – допуск к процедуре МДП) и другие. Выделение релейных показателей повышает объективность процесса выбора, а также сократить объем работы экспертов.
3. Весовые коэффициенты W_i , учитывающие степень влияния показателей на интегральную оценку, рассчитываются для количественных и качественных показателей с учетом их общего ранжирования по следующим формулам:

- для линейной зависимости

$$W_i = \frac{2(N-i+1)}{N(N+1)}, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (4.3)$$

- для экспоненциальной зависимости

$$W_i = \Delta_x \exp(-x_i), \quad (4.4)$$

где N – количество учитываемых показателей;

X_i – середина i -го интервала, $i = 1, 2, \dots, N$.

Δ_x – интервал, рассчитываемый с учетом количества показателей и размаха значений x .

Для определения весовых коэффициентов могут быть использованы и другие зависимости, в частности, плотности распределения вероятностей (закон Пуассона, нормальный закон и другие).

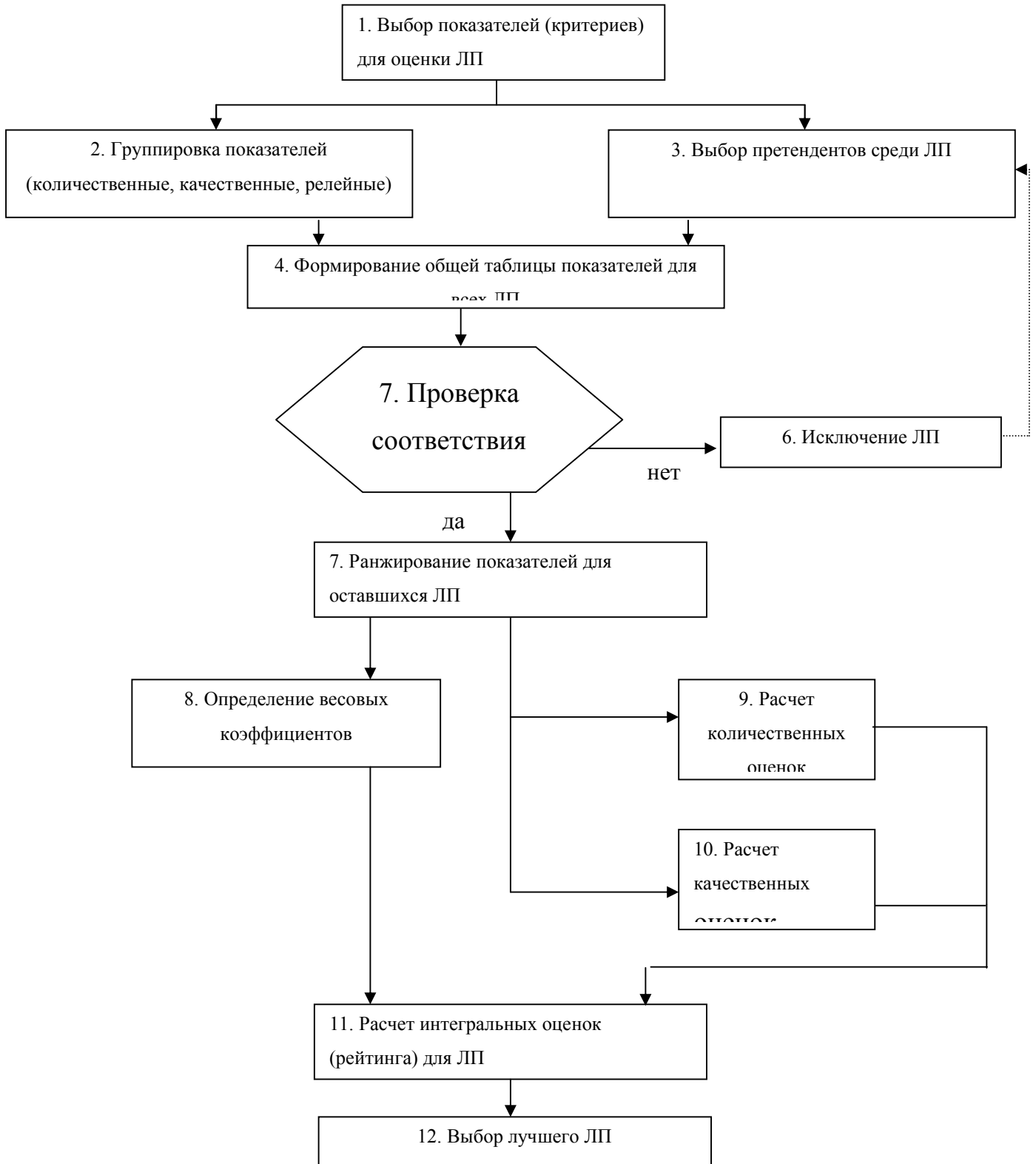


Рис. 4.2 Алгоритм выбора логистических посредников (ЛП)

Критерии выбора транспортно-экспедиторских предприятий*

№ п/п	Английское наименование критерия	Отечественный аналог критерия	Ранг по Америке		Ранг по России
			1980	1990	1998
1.	Transit time	Сроки доставки	3	5,5	3
2.	Reliability	Надежность выполнения условий договора	1	1	1
3.	Freight rate	Стоимость услуги (ставка)	2	3,5	2
4.	Carrier consideration	Характеристика ТЭП	5	2	6
5.	Shipper market consideration	Учет требований клиентуры	5	3,5	5
6.	Over, short and damages	Наличие систем слежения (связи) за грузом, транспортными средствами	5	5,5	4

* По данным к.э.н., доц. СПбГИЭУ, М. Г. Григоряна

4. Для определения значений количественных показателей, помимо оценок экспертов, используются различные источники информации (отчеты, справочники, прайс-листы, результаты обследований и опросов и т. п.). Теоретически возможен вариант, когда все количественные оценки анализируемых ЛП могут быть получены без участия экспертов.

Таблица 4.4

Критерии выбора поставщика [5]

Виды критериев	Содержание
Основные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Цена продукции; 2. Качество поставляемой продукции; 3. Надежность поставок (обязательства по срокам поставки, ассортименту, комплектации, качеству и количеству поставляемой продукции).
Дополнительные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Удаленность поставщика от потребителя; 2. Сроки выполнения текущих и экстренных заказов; 3. Наличие резервных мощностей;

	4. Организация управления качеством у поставщика; 5. Психологический климат у поставщика (возможность забастовок); 6. Способность обеспечить поставку запасных частей в течение всего срока службы поставляемого оборудования; 7. Финансовое положение поставщика, его кредитоспособность и др.
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Таблица 4.5

Критерии выбора перевозчиков [23]

№ п/п	Наименование критерия (показателя)	Ранг
1.	Надежность времени доставки (транзита)	1
2.	Тарифы (затраты) доставки «от двери до двери»	2
3.	Общее время транзита «ДТД»	3
4.	Готовность перевозчика к переговорам об изменении тарифа	4
5.	Финансовая стабильность перевозчика	5
6.	Наличие дополнительного оборудования (по грузопереработке)	6
7.	Частота сервиса	7
8.	Наличие дополнительных услуг по комплектации и доставке груза	8
9.	Потери и хищения груза (сохранность груза)	9
10.	Экипирование отправок	10
11.	Квалификация персонала	11
12.	Отслеживание отправок	12
13.	Готовность перевозчика к переговорам об изменении сервиса	13
14.	Готовность схем маршрутизации перевозок	14
15.	Сервис на линии	15
16.	Процедура заявки (заказа транспортировки)	16
17.	Качество организации продаж транспортных услуг	17
18.	Специальное оборудование	18
* Moller C., Jahanson J. Paradigms in Logistics. – Denmark, 1993.		

Обработка количественных показателей производится в соответствии с методами квалиметрии, предусматривающей следующие этапы:

- построение таблицы, в горизонтальных строках которой указываются показатели, в столбцах – значения анализируемых ЛП по каждому показателю A_{ij} ;

- для каждого параметра определяется эталонное значение – максимальное или минимальное, в зависимости от влияния показателя на общую оценку;
- если в качестве эталонного выбрано наибольшее $A_{i_{max}}$, то все значения данной строки делятся на него, в клетках таблицы заносится $A_{ij} = A_{ij} / A_{i_{max}}$;
- если в качестве эталонного выбрано наименьшее $A_{i_{min}}$, то эталонное значение делится на другие значения данной строки и в клетках таблицы заносятся $a_{ij} = A_{i_{min}}/A_{ij}$;

5. Для получения оценок качественных показателей предлагается использовать функцию желательности, значения которой рассчитываются по формуле:

$$a_i = \exp(-\exp(-y_i)), \quad (4.5)$$

где a_i – значение функции желательности;

y_i – значение i -го параметра на кодированной шкале.

Значение y_i на кодированной шкале располагается симметрично относительно 0. В табл.4.6 приведены средние и граничные значения функции желательности.

Использование функций желательности (4.5) позволяет свести качественные оценки показателей к количественным, при этом те и другие находятся в интервале 0 – 1. В целях унификации качественные оценки могут быть нормированы относительно максимальных значений по строкам.

Следует подчеркнуть, что количественные показатели также могут быть отработаны с применением функции желательности.

Таблица 4.6

Оценка качества и соответствующие им стандартные оценки на шкале желательности

Интервал	Оценка качества	Отметки на шкале желательности	
		Диапазон	Среднее значение
3-4	отлично	более 0,950	0,975
2-3	очень хорошо	0,875-0,950	0,913
1-2	хорошо	0,690-0,875	0,782
0-1	удовлетворительно	0,367-0,690	0,530
(-1)-0	плохо	0,066-0,367	0,285
(-2)-(-1)	очень плохо	0,0007-0,066	0,033
(-3)-(-2)	скверно	менее 0,0007	-

В качестве примера рассмотрим последовательность выбора на основе предложенного алгоритма. В табл.4.7 приведены показатели (критерии) и с помощью экспертов определены их оценки для четырех перевозчиков. Из табл.4.7 видно, что показатели разделены на количественные (2-5), качественные (6-9) и релейные (1).

В соответствии с алгоритмом после проверки ограничений четвертый перевозчик исключается из дальнейших расчетов. Для оставшихся количественных и качественных показателей устанавливаются ранги (см. табл.4.7). Следует подчеркнуть, что перевозчики могут быть исключены из рассмотрения в случае отклонения количественных и качественных показателей за установленные пределы. Например, если вероятность доставки «точно-во-время» ниже 0,7, то такой перевозчик исключается из рассмотрения.

Весовые коэффициенты рассчитывались по формуле (4.4) при N=8. Примем $\Delta x=0,5$. Тогда, для показателя «надежность» находим (при $x_1=0,25$)

$$W_1 = 0,5 e^{-0,5} = 0,390;$$

для показателя «тариф» (при $x_2=0,75$)

$$W_2 = 0,5 e^{-0,75} = 0,236;$$

Последовательность расчета оценок количественных и качественных показателей приведена в табл.4.8, 4.9. Там же даны значения оценок с учетом весовых коэффициентов, суммарные и интегральные оценки.

Для примера рассчитаем количественные оценки для показателя «надежность», см. табл.4.8. Поскольку предпочтительным при выборе перевозчика является более высокий показатель надежности, то за эталонное значение A_{ijmax} принимаем 0,95, которое относится к третьему перевозчику. Соответственно, оценки «надежности» первого и второго перевозчика будут: $A_{11} = 0,8/0,95 = 0,84$; $A_{12} = 0,85/0,95 = 0,89$

Расчет рейтинговых оценок для данного показателя производится с учетом веса $W_1 = 0,390$. Так для первого перевозчика находим:

$$a_{11} = W_1 * A_{11} = 0,390 * 0,84 = 0,328$$

Таблица 4.7

Показатели (критерии) для оценки перевозчика

№ п/п	Критерий	1	2	3	4	Ранг
1.	Наличие сертификата	да	да	да	нет	
2.*	Надежность	0,8	0,85	0,95	0,90	1
3.	Тариф, у.е.\км	0,75	0,8	0,82	0,85	2
4.**	Общее время,%	20	10	15	10	4
5.***	Финансовая стабильность	6	8	7	8	6
6.	Частота сервиса	хор.	оч. хор.	удовл.	удовл.	7
7.	Сохранность	оч. хор.	удовл.	отл.	хор.	3
8.	Квалификация персонала	оч. хор.	отл.	хор.	хор.	5
9.	Готовность к переговорам	оч. хор.	хор.	хор.	хор.	8

Примечания:

* вероятность доставки «точно-во-время»

** возможность отклонения от плановой продолжительности перевозки,%

*** условные оценки

Таблица 4.8

Расчет количественных оценок

№ п/п	Критерий	Вес, W_i	Эталон	Перевозчики		
				1*	2	3
1.	Надежность	0,390	0,95 max	<u>0,84</u> 0,328	<u>0,89</u> 0,347	<u>1,0</u> 0,390
2.	Тариф	0,236	0,75 min	<u>1,0</u> 0,236	<u>0,94</u> 0,222	<u>0,91</u> 0,215
3.	Общее время	0,087	1,0 min	<u>0,5</u> 0,044	<u>1,0</u> 0,087	<u>0,67</u> 0,058
4.	Финансовая стабильность	0,032	8,0 max	<u>0,75</u> 0,024	<u>1,0</u> 0,032	<u>0,87</u> 0,028
5.	Суммарная количественная оценка с учетом W_i			0,632	0,688	0,691
Примечание: * в числителе-оценки, рассчитанные с учетом эталонных значений; в знаменателе- рассчитанные с учетом весовых коэффициентов.						

Таблица 4.9

Расчет качественных и интегральных оценок

№ п/п	Показатель	Вес, W	Перевозчики		
			1*	2	3
1.	Сохранность	0,143	<u>0,913</u> 0,130	<u>0,53</u> 0,076	<u>0,975</u> 0,139
2.	Квалификация персонала	0,053	<u>0,913</u> 0,048	<u>0,975</u> 0,052	<u>0,782</u> 0,041
3.	Частота сервиса	0,020	<u>0,782</u> 0,016	<u>0,913</u> 0,018	<u>0,53</u> 0,010
4.	Готовность к переговорам	0,013	<u>0,918</u>	<u>0,782</u>	<u>0,782</u>

			0,012	0,010	0,010
5.	Суммарная качественная оценка с учетом W_i		0,206	0,156	0,200
6.	Интегральный оценка (рейтинг)		0,838	0,844	0,891
См. примечание к табл.4.8					

При расчете качественных оценок (табл.4.8), воспользуемся функцией желательности. Например, показатель «сохранность» у первого перевозчика эксперты оценили как «очень хорошее». В соответствии с табл.4.6 находим- этой оценке соответствует среднее значение $A_{31}=0,913$, а с учетом веса качественная оценка равна $a_{31}=W_3 \cdot A_{31}=0,143 \cdot 0,913=0,130$.

Поскольку наилучшему ЛП должен соответствовать наибольший рейтинг, то в качестве такового должен быть выбран третий перевозчик ($a_{i\max}=0,891$).

Таким образом, разработанный алгоритм выбора ЛП, являющийся обобщением существующих подходов, позволяет формализовать большинство расчетных процедур, и тем самым повышает объективность экспертных оценок

5. Модель «точно во время»

В работе [2] введено понятие «функционального цикла» (ФЦ) или «цикла исполнения заказа», являющегося основным объектом интегрированной логистики. Согласно цитируемой работе функциональным циклам присущи следующие особенности:

- базовая структура ФЦ (связи, узлы и т.д.) одинакова для физического распределения, материально-технического обеспечения производства и снабжения;
- какой бы сложной ни была логистическая система в целом, необходимо исследовать конфигурацию отдельного ФЦ, чтобы выявить важнейшие взаимосвязи и линии контроля;
- поскольку временные интервалы выполнения отдельных операций, из которых состоит ФЦ, являются случайными величинами, то и весь цикл является случайной величиной, подчиняющейся определенному закону распределения.

Для математического описания продолжительности ФЦ, как правило, представляющего сумму времен выполнения отдельных элементов цикла, можно воспользоваться известными формулами теории вероятностей:

- для среднего значения времени ФЦ;

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^N \bar{T}_i, \quad (5.1)$$

- для среднего квадратического отклонения;

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + 2 \sum_{i \leq j} r_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad (5.2)$$

где \bar{T}_i, σ_i - соответственно средние значения и средние квадратические отклонения времени выполнения i -ой операцией ФЦ;

r_{ij} – коэффициент корреляции между i -й и j -й операцией ФЦ.

Знак $i \leq j$ означает, что суммирование распространяется на все возможных попарные сочетания случайных величин. Если рассматриваемые величины не коррелированы, то при всех $r_{ij}=0$ формула для среднего квадратического отклонения σ_T упрощается.

Вероятностная трактовка ФЦ позволяет определить его продолжительность T_0 с заданной доверительной вероятностью. Например, при условии, что функция распределения времени ФЦ подчиняется нормальному закону

$$T_0 = \bar{T} + x_p \sigma_T, \quad (5.3)$$

где x_p – показатель нормального распределения, соответствующий вероятности P .

Таким образом, с помощью формулы (5.3) можно рассчитать время выполнения заказа, т.е. по существу решить задачу «точно во время».

Известно, что одна из основных проблем логистического менеджмента – это уменьшение неопределенности ФЦ.

В общем случае источниками неопределенности являются случайные величины T_i , характеризующие продолжительность выполнения отдельных операций ФЦ, которые описываются различными законами распределения. Если не рассматриваются другие возможные ограничения при осуществлении ФЦ (нормативно-правовые, финансовые и

т.п.), то формально экономико-оптимизационная задача выполнения ФЦ "точно во время" может быть представлена в виде:

$$\sum_{i=1}^N C_i(t) \varphi(\bar{T}_i, \sigma_i) \rightarrow \min, \quad (5.4)$$

где $C_i(t)$ – зависимость издержек выполнения i -й операции ФЦ от ее продолжительности;
 \bar{T}_i, σ_i – параметры, характеризующий продолжительность i -й операции ФЦ.

Например, в качестве $\varphi(\bar{T}_i, \sigma_i)$ можно выбрать средние значения \bar{T}_i или оценки времени выполнения каждой операции с заданной доверительной вероятностью T_{pi} .

Противоречивый характер издержек выполнения операций ФЦ $C_i(t)$ говорит о существовании минимума. Так, при транспортировке издержки по доставке возрастают при уменьшении времени доставки, тогда как увеличение времени хранения приводит к увеличению затрат.

Если средние значения $\bar{T}_i = const$, то измерителем неопределенности ФЦ являются дисперсии σ_i^2 , и зависимость (5.4) можно представить, в частности, следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N C_i(\sigma) \cdot \sigma_i^2 \rightarrow \min, \quad (5.5)$$

где $C_i(\sigma)$ – зависимость издержек выполнения i -й операции ФЦ от рассеивания (неопределенности) времени ее выполнения.

Из анализа зависимостей (5.1)-(5.5) следует, что выполнение условия (5.3) – «точно во время» - может быть достигнуто различными способами. Для примера рассмотрим зависимость (5.5). Очевидно, первый вариант - это уменьшение составляющих σ_i , при этом в силу ограниченности ресурсов, главным образом наибольших из них.

Второй вариант – использование свойств обратной (отрицательной) корреляции между отдельными элементами ФЦ при условии, что это не приведет к росту остальных r_{ij} . Если корреляция отсутствует, то возможно создание системы, обеспечивающей обратную связь.

Третий вариант – индивидуальный контроль продолжительности каждой операции ФЦ, и в случае существенного отклонения от нормативных значение корректировка времени выполнения оставшихся операций.

Пример 1. Определить вероятность поставки за 14 дней от момента заказа «точно во время» для ФЦ, связанного с поставкой готовой продукции потребителю [2]. В табл. 5.1 приведены максимальные и минимальные сроки выполнения каждой операции, основанные на статистических данных; там же приведены максимальные значения, названные в работе [2] как «среднее или ожидаемое время» требуемое для завершения каждой операции.

Функциональный цикл включает пять операций: передача заказа (а), обработка заказа (б), комплектование заказа (в), транспортировка (г), доставка потребителю (д). На рис.5.1. приведены плотности распределения указанных операций и общего цикла исполнения заказа. Согласно [2] продолжительность ФЦ колеблется от 5 до 40 дней, а ожидаемая («средняя») продолжительность 10 дней. Считая, что продолжительность общего цикла больше или меньше $\bar{T} = 10$ дней, то это приводит к "излишним затратам ресурсов и снижает общую эффективность логистики".

Для расчетов по формуле (5.3) необходимо определить величины σ_i . Из рис.5.1. видно, что плотности распределения $f_i(T)$ асимметричны и отличаются от нормального

закона. В виду отсутствия достаточной информации допустим, что операции передачи и обработки заказа, а также транспортировки и доставки потребителю подчиняются закону распределения Рэля

$$f(\sigma_k) = \frac{x}{\sigma_k^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_k^2}\right), \quad (5.6)$$

где σ_k - параметр распределения Рэля.

Известно, что для распределения Рэля между параметром σ_k и статистическими параметрами наблюдаются следующие соотношения:

для математического ожидания (или среднего значения):

$$\bar{T} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_k = 1,253 \sigma_k, \quad (5.7)$$

для среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} \cdot \sigma_k = 0,655 \cdot \sigma_k, \quad (5.8)$$

для медианы (серединное или вероятное значение, при котором функция распределения $F(Me) = 0,5$):

$$Me = \sqrt{2 \ln 2} \sigma_k = 1,177 \cdot \sigma_k, \quad (5.9)$$

для моды (в случае непрерывного распределения плотности вероятности $f(M_0)$ имеет наибольшее значение):

$$M_0 = \sigma_k, \quad (5.10)$$

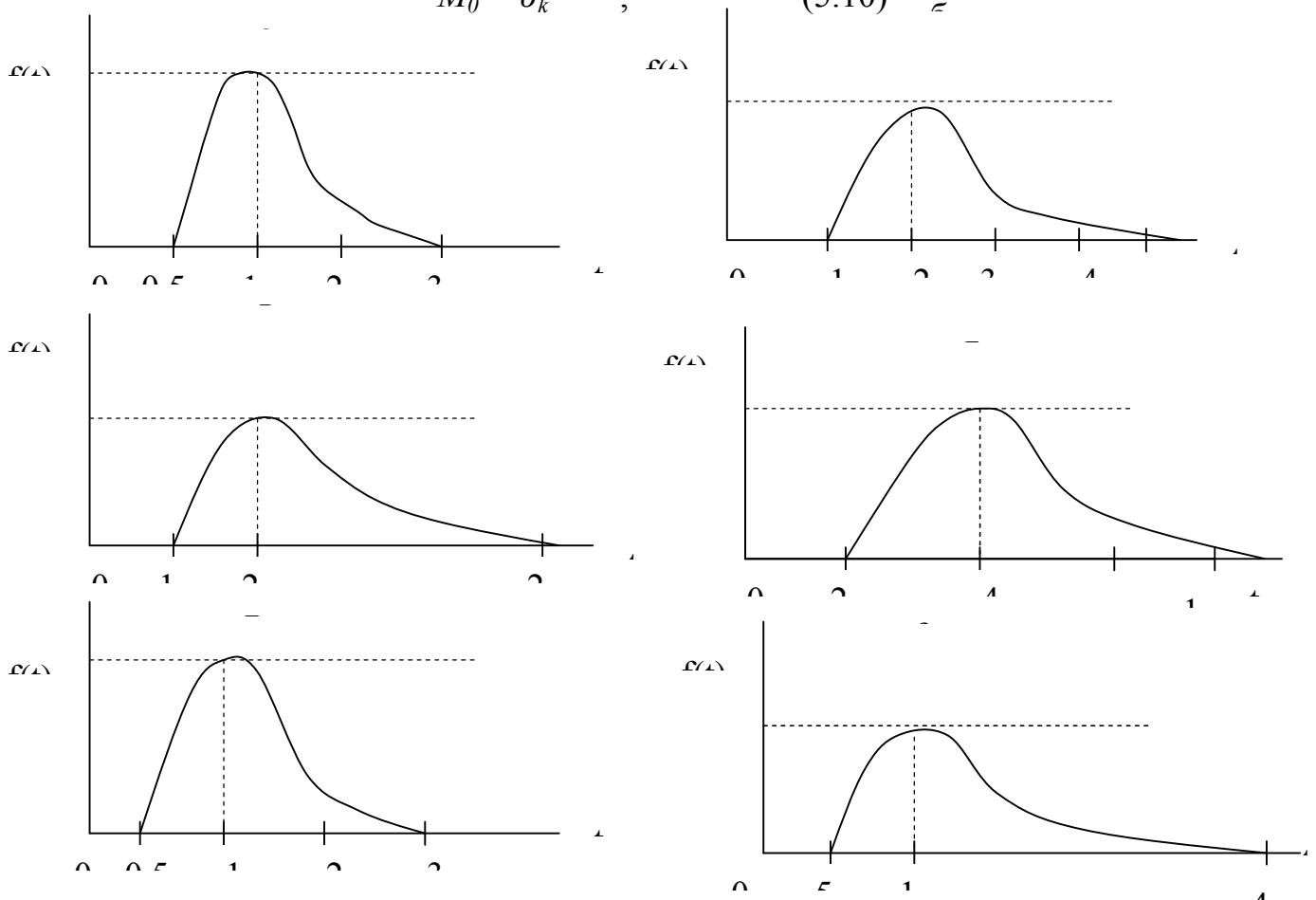


Рис. 5.1. Плотности распределения операций функционального цикла выполнения заказа: а – передача; б – обработка; в – комплектование; г – транспортировка; д – доставка потребителю; е – весь цикл.

Статистические параметры продолжительности операции ФЦ

Операция цикла заказа	Размах значений Δ_i , дни	Время T_{Mi} , соответств. максимуму $f(x)$, дни	Среднее значение \bar{T}_i , дни	Среднее квадратич. отклонение, σ_i , дни	Вариант измененных σ_i , дни
Передача	0,5-3,0	1,0	1,126	0,33	0,2
Обработка	1,0-4,0	2,0	2,253	0,66	0,5
Комплектование	1,0-20,0	2,0	3,68	3,08	1,5
Транспортировка	2,0-10,0	4,0	4,506	1,31	1,0
Доставка потребителю	0,5-3,0	1,0	1,126	0,33	0,2
ИТОГО:		10	12,09	3,45	1,89

Если принять, что максимальное значение плотности распределения $f_{max}(t, \sigma_k)$ соответствует моде M_0 , то искомые значения \bar{T}_i и σ_i должны рассчитываться по формулам:

$$\bar{T}_i = 1,253 \cdot M_0 = 1,253(T_{Mi} - T_{0i}) + T_{0i}, \quad (5.11)$$

$$\sigma_i = 0,655 \cdot M_0 = 0,655(T_{Mi} - T_{0i}), \quad (5.12)$$

где T_{Mi} – значение аргумента (продолжительности операции), соответствующее максимуму $f_{max}(t, \sigma_k)$

T_{0i} – параметр сдвига.

Например, для определения T_1 и σ_1 операции передачи заказа по формулам (5.11, 5.12) находим:

$$T_1 = 1,253(1 - 0,5) + 0,5 = 1,126 \text{ дня}$$

$$\sigma_1 = 0,655(1 - 0,5) = 0,33 \text{ дня}$$

Результаты расчета \bar{T}_i и σ_i приведены в табл.5.1

Анализ операции «комплектования заказа» показал, что с таким размахом значений ($\Delta=19$ дней) и максимальным значением, соответствующим $T_{max}=2$ дня плотность распределения представляет собой суперпозицию двух плотностей распределений или композицию двух случайных величин, подчиняющихся различным законам распределения.

Выберем для аппроксимации суперпозицию двух распределений —Рэля и равномерной плотности, которая записывается в виде

$$g(t) = c_1 \frac{t}{\sigma_k^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_k^2}\right) + c_2 \cdot \frac{t-t_0}{t_k-t_0}, \quad (5.13)$$

где c_1, c_2 – коэффициенты, $c_1 + c_2 = 1$.

Для расчета среднего значения и дисперсии суперпозиции распределений $g(t)$ используются формулы:

$$\bar{T}_g = \sum_{j=1}^n c_j \bar{t}_j, \quad (5.14)$$

$$D_g = \sigma_g^2 = \sum_{j=1}^n c_j \left[D_j + (\bar{t}_j - \bar{T}_g)^2 \right], \quad (5.15)$$

где \bar{t}_j, D_j – среднее значение и дисперсия n -го распределения;

n – количество распределений, $n=2$.

Для нахождения параметров распределения Рэлея воспользуемся формулами (5.14), (5.15). При $t_M=2, T_0=1$ находим:

$$T_1 = 1,253(2-1) + 1 = 2,253$$

$$\sigma_1 = 0,655(2-1) = 0,655$$

Параметры распределения равномерной плотности определяется по формулам:

$$\bar{T} = \frac{T_k + T_0}{2}, \quad (5.16)$$

$$\sigma = \frac{T_k - T_0}{2\sqrt{3}} = 0,289(T_k - T_0), \quad (5.17)$$

При $T_k=20, T_0=1$ получим:

$$\bar{T}_2 = \frac{20+1}{2} = 10,5$$

$$\sigma_2 = 0,289(20-1) = 5,49$$

Подставляя значения средних и дисперсий в формулы и принимая значения коэффициентов $c_1=0,9, c_2=0,1$, находим:

$$\bar{T}_g = 0,9 \cdot 2,253 + 0,1 \cdot 10,5 = 3,08$$

$$\sigma_g^2 = 0,9[0,655^2 + (2,253 - 3,08)^2] + 0,1[5,49^2 + (10,5 - 3,08)^2] = 9,52$$

Таким образом, для операции «комплектования заказа» среднее значение $\bar{T}_g=3,08$, среднее квадратическое отклонение $\sigma=3,08$.

После того, как определены статистические параметры всех операций определим характеристики для общего цикла выполнения заказа: среднее значение, формула (3.1):

$$\bar{T} = 1,126 + 2,253 + 3,08 + 4,506 + 1,126 = 12,09 \text{ дн.}$$

Среднее квадратическое отклонение, формула (3.2), (при условии отсутствия корреляции между операциями ФЦ)

$$\sigma = \sqrt{0,33^2 + 0,66^2 + 3,08^2 + 1,31^2 + 0,33^2} = 3,45 \text{ дн.}$$

Следует обратить внимание, что $\bar{T}=12,09$ дней, отличается от указанного в работе [2] на 2,09 дня.

Рассчитаем вероятность выполнения заказа за 14 дней. При подстановке значений в формулу (5.3) находим

$$x_p = \frac{14 - 12,09}{3,45} = 0,544$$

Воспользуясь табл.7.4, определим вероятность выполнения заказа $P=0,71$. Это невысокое значение, так как означает, что возможен срыв около 30% заказов.

Допустим, что в результате проведенных мероприятий удалось уменьшить разброс времени выполнения операций ФЦ, что привело к уменьшению σ_i (см. табл.5.1). Тогда

$$x_p = \frac{14 - 12,09}{1,89} = 1,01$$

и вероятность доставки продукции «точно-во-время» – через 14 дней $P=0,844$.

Пример 2. По условиям контракта 40 футовые контейнеры из порта Хельсинки должны быть доставлены в Санкт-Петербург, разгружены и возвращены в порт Хельсинки не позднее, чем через 5 суток. Каждый день опоздания приводит к штрафу 50 долл. США. Требуется определить продолжительность рейса и возможность его выполнения «точно-во-время» с вероятностью $P=0,9$.

Очевидно, что любая международная перевозка усложняется по сравнению с внутренней как минимум за счет следующих составляющих: процедурой подготовки документов для перевозки; таможенного контроля на границах и в пунктах отправки и доставки. Поскольку составляющие перевозочного процесса являются случайными величинами, то количественная оценка производится с использованием вероятностных характеристик.

Общее время перевозки может быть определено по следующей формуле:

$$T_o = \sum_{i=1}^D t_{i,i+1} + \sum_{j=1}^E \tau_j + \sum_{k=1}^F \Theta_k, \quad (5.18)$$

где $t_{i,i+1}$ – время движения между i -м и $(i+1)$ -м пунктами;

τ_j – время оформления таможенных документов в j -м пункте (внутри страны и на граничных переходах);

Θ_k – время погрузки, разгрузки и складирования в k -м пункте;

D, E, F – количество участков движения автомобиля, пунктов таможенного оформления и пунктов погрузки-разгрузки соответственно.

Время начала перевозки T_H определяется по формуле

$$T_H = T_{TB} - T_o, \quad (5.19)$$

где T_{TB} – время доставки груза «точно-во-время».

Поскольку все составляющие формулы (5.18) являются случайными величинами, то они характеризуются соответствующими статистическими параметрами: средними значениями и средними квадратическими отклонениями. Из случайного характера составляющих перевозочного процесса следует, что понятие «точно-во-время» должно рассматриваться с учетом доверительных границ времени перевозки груза. Это означает, что время доставки груза «точно-во-время» является верхней границей и может быть определено по формуле, аналогичной (5.3):

$$T_{TB} = T_H + \bar{T}_o + x_p \sigma_T, \quad (5.20)$$

Расчет среднего времени перевозки \bar{T}_o и среднего квадратического отклонения σ_T производится по формулам (5.1) и (5.2).

Если принять, что средняя продолжительность рабочего дня водителя (время в наряде) при осуществлении международной перевозки равна T_p , то календарная

продолжительность рейса определяется количеством дней работы и рассчитывается по формуле:

$$D_p = \frac{T_0 + x_p \sigma_T}{T_p}, \quad (5.21)$$

где D_p – число дней международного рейса;

В табл. 5.2 приведены статистические данные о временных составляющих международной перевозки Санкт-Петербург – Хельсинки.

Данные получены в результате обработки тахограмм (тахограф – специальный прибор, установленный в кабине, и позволяющий фиксировать различные режимы работы экипажа, а также параметры движения автомобиля).

Подставив значения средних значений T_i и средних квадратических отклонений σ_i в формулы (5.1) и (5.2) получим $\bar{T}_0=42,9$, $\sigma_T=5,2$ ч (при условии некоррелируемости временных составляющих на отдельных этапах маршрута).

Поскольку коэффициент $x_p=1,28$ (при $P=0,9$), по формуле (5.21) находим

$$D_p = \frac{42,3 + 1,28 \cdot 5,2}{10} = 4,9 \text{ дня.}$$

Таким образом, длительность рейса D_p соответствует условиям контракта и перевозка будет выполнена «точно-во-время» с доверительной вероятностью $P=0,9$.

При вероятности $P=0,9$ уменьшение времени таможенных процедур и разгрузки в Санкт-Петербурге в два раза ($T_i=8,0$ ч, $\sigma_i=2,0$ ч), средняя продолжительность рейса составит $D_p \sim 4$ дн.

Таблица 5.2

Временные характеристики перевозки
Хельсинки – Санкт-Петербург – Хельсинки

Пункты маршрута; операции перевозки	Средние значения T_i , ч	Средние квадратические отклонения σ_i , ч
Порт Хельсинки; П+ТП	4,0	1,5
Хельсинки – Торфяновка; Д	3,6	0,6
Торфяновка; П/П	6,0	2,5
<i>Торфяновка – Санкт-Петербург; Д</i>	3,0	0,8
Санкт-Петербург; ТП+Р	16,0	4,0
<i>Санкт-Петербург - Торфяновка; Д</i>	2,7	0,7
Торфянофка; П/П	3,0	0,9
Торфяновка – Хельсинки; Д	3,0	0,6
Порт Хельсинки; Р	1,0	0,3
Примечания: (П+ТП) – разгрузка и таможенные процедуры; Д – движение; П/П – прохождение пограничного перехода; (ТП+Р) – таможенные процедуры и разгрузка.		

6. Расчет оптимального размера заказа

Наиболее распространенной моделью прикладной теории логистики является модель оптимального или экономичного размера заказа EOQ (Economic Order Quantity) [2, 5, 11 и др]. В качестве критерия оптимизации принимается минимум общих затрат C_{Σ} , включающих затраты на выполнение заказов C_3 и затраты на хранение запаса на складе C_x в течение определенного периода времени (год, квартал и т.п.)

$$C_{\Sigma} = C_3 + C_x = \frac{C_0 A}{S} + \frac{S}{2} C_n i \rightarrow \min, \quad (6.1)$$

где: C_0 - затраты на выполнение одного заказа, руб;

A - потребность в заказываемом продукте в течение данного периода, шт.;

C_n - цена единицы продукции, хранимой на складе, руб.;

i - доля от цены C_n , приходящейся на затраты по хранению;

S - искомая величина заказа, шт.

На рис.6.1 представлены составляющие затрат C_3 и C_x и суммарные затраты C_{Σ} в зависимости от размера заказа.

Из рис.6.1 видно, что затраты на выполнение заказов с увеличением размера заказа уменьшаются, подчиняясь гиперболической зависимости (кривая 1); затраты на хранение партии поставки возрастают прямо пропорционально размеру заказа (линия 2); кривая общих затрат (кривая 3), имеет вогнутый характер, что говорит о наличии минимума, соответствующего оптимальной партии S_0 .

Значение оптимума S_0 совпадает с точкой пересечения зависимостей C_3 и C_x . Это объясняется тем, что абсцисса точки пересечения S находится из решения уравнения

$$\frac{C_0 A}{S} = \frac{C_n i}{2} S, \quad (6.2)$$

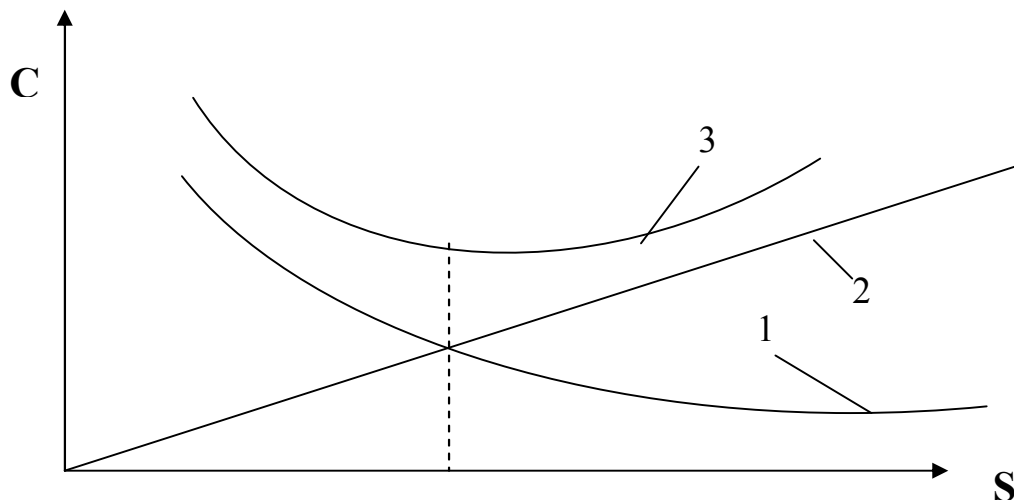


Рис. 6.1 Зависимость C_{Σ} от размера заказа: 1 – затраты на выполнение заказа; 2 – затраты на хранение; 3 – суммарные затраты.

то есть

$$S = S_0 = \sqrt{\frac{2C_0 A}{C_n i}}, \quad (6.3)$$

При других зависимостях $C_3 = f(S)$ и $C_x = f(S)$ указанного, совпадение может не наблюдаться и в этом случае необходимо применить процедуру оптимизации. Так, для функции (6.1) находим

$$\frac{dC_{\Sigma}}{dS} = -\frac{C_0 A}{S^2} + \frac{C_n i}{2} = 0 \quad , \quad (6.4)$$

Решая уравнение (6.4), приходим к формуле (6.3) для определения ЕОQ.

Зная S_0 , нетрудно определить количество заказов

$$N = A / S_0 \quad , \quad (6.5)$$

минимальные суммарные затраты за рассматриваемый период

$$C_{\Sigma \min} = \sqrt{2C_0 A C_n i} \quad , \quad (6.6)$$

время между заказами

$$T_3 = D_p S_0 / A = D_p / N, \quad (6.7)$$

где D_p – продолжительность рассматриваемого периода.

Если речь идет о количестве рабочих дней в году, то $D_p = 260$ дней, если о количестве недель, то $D_p = 52$ недели.

Формула (6.3) встречается в различных источниках под следующими названиями: Уилсона (наиболее распространенная), Вильсона, Харриса, Кампа.

Формула (6.3) получена при большом количестве допущений:

- затраты на выполнение заказа C_0 , цена поставляемой продукции C_n и затраты на хранение единицы продукции в течение рассматриваемого периода постоянны;
- период между заказами (поставками) постоянный, т.е. $T_3 = const.$;
- заказ S_0 выполняется полностью, мгновенно;
- интенсивность спроса $\lambda = S_0 / T_3$ - постоянна;
- емкость склада не ограничена;
- рассматриваются только текущие (регулярные) запасы, другие виды запасов (страховые, подготовительные, сезонные, транзитные и т.д.) не учитываются.

Анализ ряда работ показал, что трактовка затрат C_0 , связанных с заказом, носит дискуссионный характер. Так, в большинстве работ C_0 включает транспортно-заготовительные затраты: от расходов на заключение договора и поиска поставщиков до оплаты услуг по доставке. Например, в работе [11] затраты на поставку единицы заказываемого продукта включают следующие элементы:

- стоимость транспортировки заказа;
- затраты на разработку условий поставки;
- стоимость контроля выполнения заказа;
- затраты на выпуск каталогов;
- стоимость форм документов.

В других работах, например [23], транспортные затраты не входят в C_0 и представлены в виде дополнительных слагаемых в формуле (6.1): собственно затрат на транспортировку и затрат, связанных с запасами на время в пути.

Еще один вариант учета транспортных затрат состоит в том, что они учитываются в стоимости единицы продукции C_n , поступивший на склад. Если покупатель сам оплачивает транспортные расходы и несет полную ответственность за груз в пути, то это

приводит к тому, что при оценки стоимости товаров, хранящихся на складе в качестве запасов, к их закупочной цене следует прибавить транспортные расходы [2, стр.246].

В табл.6.1 приведены результаты расчетов оптимальной партии заказа: количество заказов в год и периодичность заказа при $D_p=260$ дней. Из табл.6.1 видно, что формула (3) охватывает широкий диапазон величины заказов в течение расчетного периода; при этом составляющая i , связанная с оценкой затрат на хранение в основном колеблется в довольно узком диапазоне 0,2-0,25.

О распространении формулы (6.3) говорит такой факт, что фирма «Вольво» снабжает своих агентов и дилеров специальной счетной линейкой, разработанной на основе формулы Уилсона [22]. Однако проведенные исследования показали, что даже с соблюдением всех ограничений, допущения, принятые при выводе формулы Уилсона, требуют уточнения, в частности, затраты на хранение.

В модели (6.1) предполагается, что оплата за хранение единицы продукции пропорциональна ее цене, а среднее количество находящейся на хранении продукции при постоянной интенсивности спроса на данный период времени равно

$$\bar{S} = \frac{S}{2}, \quad (6.8)$$

Таблица 6.1.

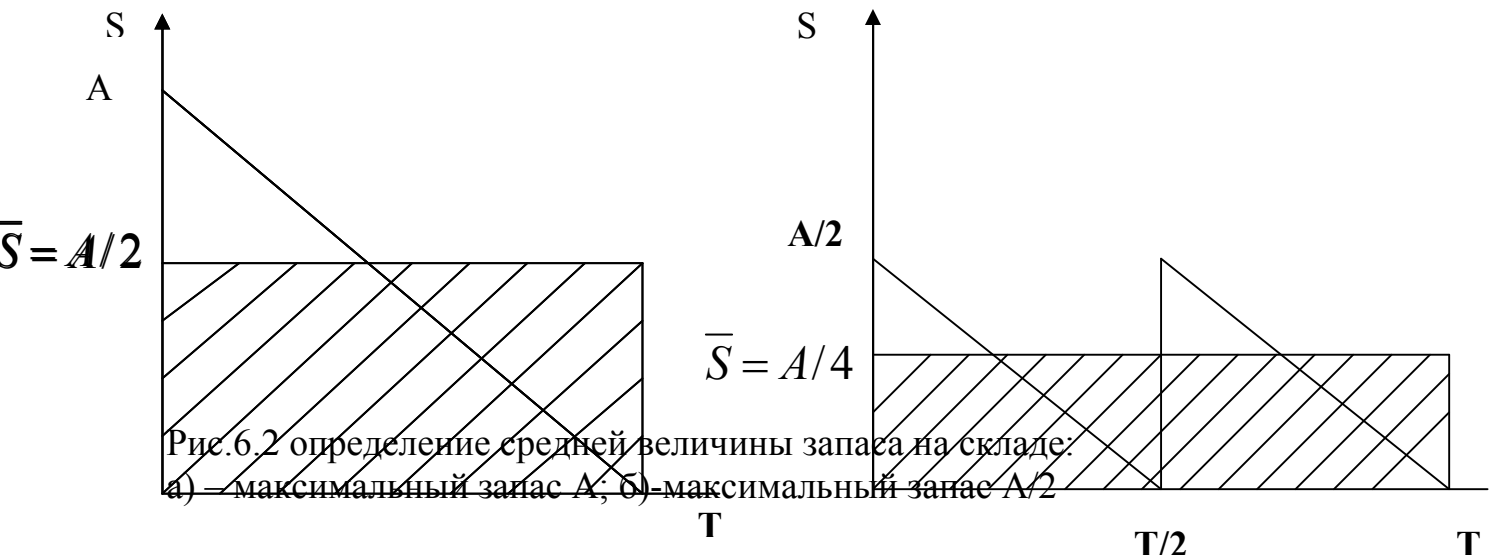
Исходные данные и оптимальные размеры заказа, рассчитанные по формуле Уилсона

Исходные данные				S_0 , шт.	Кол-во заказов N	Периодичность заказа, T_3 , дн.	Источник
C_0	A	C_n	i^*				
1	2	3	4	5	6	7	8
200	1550	560	0,20	75	20	13	Аникин Б.А. и др. [11]
250	500	40	0,10	250	2	130	Гаджинский А.М.,[5]
15	1200	0,1		600	2	130	Неруш Ю.М. [17]
60,8	1200	29,3	0,22	151	8	32	Сергеев В.И. [23]
19	2400	5	0,2	300	6	43	Бауэрсокс Д., Клосс Д. [2]
50	900	45**	0,25	89	10	26	Линдерс М., Фарон Х. [10]
300	3000	5		600	5	52	Shapiro S.F.
25	1000	0,2		500	2	130	Джонсон Д. и др. [7]

Примечание: *)-доля от годовой стоимости запаса на хранение;

**)- в стоимость хранения включены затраты на транспортировку;

Из рис.6.2 виден принцип получения зависимости $\bar{S} = S/2$. Так, если бы за время T был произведен один заказ, равный потребности в заказываемом продукте A , то в среднем на хранении находилось бы $A/2$ продукции. Если два заказа с интервалом $T/2$, то среднее количество хранимой продукции было бы $A/4$ и т.д.



Однако, практика аренды складских помещений, а также расчеты затрат на хранение на складах ряда фирм, говорят о том, что как правило учитывается не средний размер партии, а площадь (или объем) склада, которая требуется для всей поступившей партии

$$C_x = akS, \quad (6.9)$$

где: a - затраты на хранение единицы продукции с учетом занимаемой площади (объема) склада, руб.\м² (руб.\м³);

k - коэффициент, учитывающий пространственные габариты единицы продукции, м²\шт. (м³\шт.).

С учетом (6.9) расчетная формула для оптимальной величины заказа запишется в виде

$$S_0 = \sqrt{C_0 A / ak}, \quad (6.10)$$

Теперь, когда становится ясным, что оплата за хранение продукции может быть связана не только с величиной \bar{S} , предлагается ввести более гибкую зависимость вида

$$C_x = \beta C_n i S, \quad (6.11)$$

где: β - коэффициент, отражающий связь между долей от стоимости объема заказа и установленной арендной платой. Коэффициент β может изменяться в широких пределах.

При подстановке (6.11) в формулу (6.1) после преобразований находим

$$S_0 = \sqrt{C_0 A / \beta C_n i}, \quad (6.12)$$

При $\beta = 0,5$ приходим к зависимости (3).

Вторым не менее важным условием, которое необходимо учитывать при расчете ЕОQ, являются скидки. Известно, что при покупке партии товара большинство фирм дает скидки, величина которых зависит от размера партии S .

Наиболее часто в работах по управлению запасами приводится дискретные зависимости, отражающие изменение цены единицы продукции C_{nj} от размера партии S_i , рис.6.3. Здесь возможны различные ситуации. Первая, когда цена меняется, а затраты на хранение остаются такими же, т.е. не зависят от изменения цены. Вторая, когда вместе с изменением цены пропорционально изменяются затраты на хранение. Третья, наиболее общая, ситуация, при которой между изменениями цены и изменяющимися затратами на хранение не наблюдается однозначной зависимости. Для примера в табл.6.2 приведены скидки на цены и затраты на хранение в зависимости от размера партии [17].

Аналитическая зависимость общих издержек, связанных с запасами, записывается в виде системы уравнений для каждой j -й цены и для каждого уравнения рассчитывается оптимальная величина заказа S_{oj} . Если величины S_{oj} находятся внутри граничных значений j -й партии, то они сохраняются для дальнейших сравнительных расчетов. Если нет, то расчеты общих издержек производятся для граничных значений j -ой цены и они учитываются при сравнении издержек.

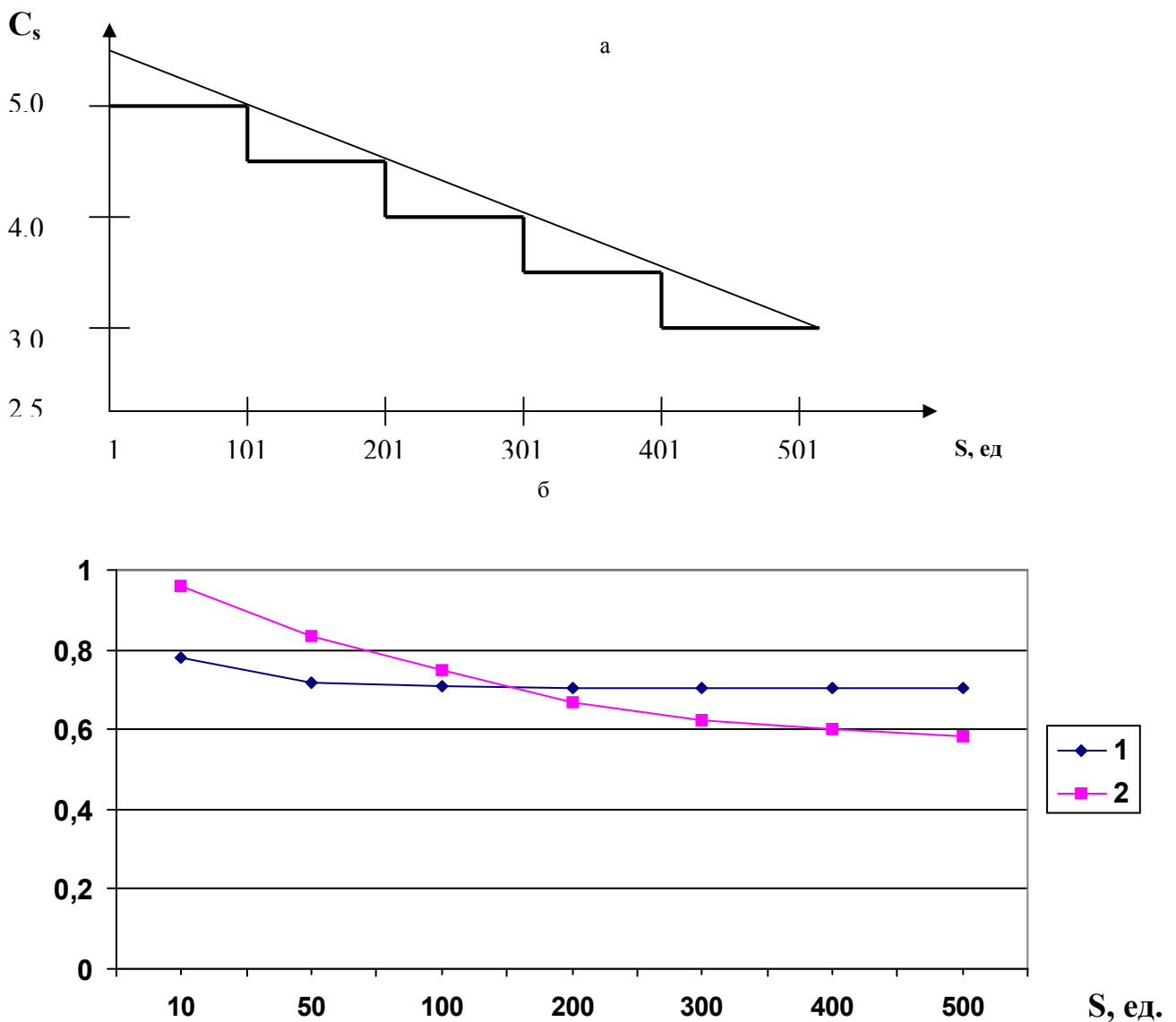


Рис. 6.3. Зависимости, отражающие скидки с цены продукции:
 а - дискретная ("ступенчатая") зависимость и ее аппроксимация прямой, формула (6.14);
 б - нелинейные зависимости скидок, формула (6.15): 1 ($a_0 = 0,7$; $b_0 = 0,99$);
 2 ($a_0 = 0,5$; $b_0 = 0,99$).

Изменение цены и затраты на хранение от размера партии

Номер	Размер партии поставки, ед.	Цена единицы товара C_{nj} , у. е.	Доля от цены на хранение единицы товара i	Затраты на хранение единицы товара C_{xj} , у. е.
1	янв.99	2,5	0,24	0,6
2	10000-19999	2,0	0,20	0,4
3	20000 и более	1,5	0,20	0,3

Запишем систему уравнений для общих издержек с учетом данных, приведенных в табл.6.2, а также следующих условий [17]: $A=10^6$ ед.; $C_0=2,5$ у.е.; $\beta = 0,5$

$$\begin{aligned}
 & \frac{25 \cdot 10^6}{S} + \frac{2,5 \cdot 0,24 \cdot 5}{2} + 2,5 \cdot 10^6, \quad S < 9999, \\
 & \frac{25 \cdot 10^6}{S} + \frac{2,0 \cdot 0,2 \cdot S}{2} + 2,0 \cdot 10^6, \quad 10000 \leq S < 19999, \\
 & \frac{25 \cdot 10^6}{S} + \frac{1,5 \cdot 0,2 \cdot S}{2} + 1,5 \cdot 10^6, \quad 20000 \leq S.
 \end{aligned} \tag{6.13}$$

С помощью формулы (6.3) находим оптимальные величины заказа для каждой партии: $S_{01}=9130$ ед.; $S_{02}=11180$ ед.; $S_{03}=12910$ ед.

Поскольку величины заказов S_{01} и S_{02} лежат в пределах граничных значений, то они должны быть выбраны в качестве оптимальных. Для третьей величины S_{03} ограничение на размер партии не соблюдается, поэтому рассчитываются минимальные общие издержки на границе при $S = 20\,000$ ед.

$$C_{3\min} = \frac{25 \cdot 10^6}{20000} + \frac{0,3 \cdot 0,2 \cdot 20000}{2} + 1,5 \cdot 10^6 = 1504250 \text{ у.е.}$$

Проведя аналогичные расчеты для второго уравнения при S_{02} , т.е. для оптимальной партии, находим $C_{2\min} = 2000450$ у.е.

Следовательно, наименьшие общие затраты, связанные с запасами, соответствуют величине партии $S = 20000$ ед.

При увеличении количества ступеней «лестницы скидок», вместо системы уравнений (6.13) используются непрерывные зависимости, рис. 6.3.,

$$C_s = C_n (1 - \gamma S), \tag{6.14}$$

или

$$C_s = C_n \left(a_0 + \frac{a_1}{b_0 + b_1 S} \right), \tag{6.15}$$

где γ , a_i , b_i - коэффициенты.

Рассмотрим пример определения C_n и коэффициента γ уравнения (6.14) на основании данных, приведенных в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Скидки с цены за объем закупок [2]	
Расходы, дол.	Объем закупок, ед.
5,0	1-99
4,5	100-200
4,0	201-300
3,5	301-400
3,0	401-500

Из рис.6.3. видно, что можно применить разные зависимости: по минимуму, по максимуму или средней величине объема закупок при одинаковой цене за единицу товара. Если выбрана зависимость для максимальных значений, то в качестве опорных точек могут быть взяты любые значения из правого столбца таблицы, например 99 ед. и 300 ед. Тогда, уравнения для определения C_n и γ запишутся в виде

$$\begin{aligned} 5 &= C_n (1 - \gamma \cdot 99), \\ 4 &= C_n (1 - \gamma \cdot 300). \end{aligned}$$

После преобразований находим $C_n = 5,492$, $\gamma = 0,0009$, т.е. $C_s = 5,492 (1 - 0,0009 S)$, $1 \leq S < 1110$.

Рассмотрим зависимость (6.15), рис.6.3. б. Коэффициент a_0 отражает предельное снижение цены единицы продукции C_n при $S \rightarrow \infty$. Допустим, что коэффициент $a_1 = 1 - a_0$.

Коэффициенты b_0 и b_1 позволяют охарактеризовать изменения кривой C_s . Предположим, что $0 < b_0 < 1$ и коэффициенты b_0 и b_1 связаны соотношением $b_1 = 1 - b_0$.

В табл. 6.4. приведены значения функции C_s при $C_n = 1$ для различных величин заказа S (от 10 до 500), при $a_0 = 0,7$ и $a_0 = 0,5$, а также различных коэффициентах b_0 . Из анализа данных табл. 6.4. следует, что функция (6.15) позволяет довольно гибко учитывать зависимость между величиной скидки и объемом заказа.

Для примера рассчитаем коэффициенты a_1 и b_1 по данным табл. 6.3.

Поскольку предельное уменьшение цены $C_{\min} = 3$ дол., то $a_0 = 3/5 = 0,6$ и, соответственно, $a_1 = 0,4$.

Для определения коэффициента b_0 воспользуемся значениями $S = 250$ ед., $C_s = 4,0$ дол., и после подстановки в уравнение (6.15) получим:

$$4 = 5(0,6 + \frac{0,4}{b_0 + (1 - b_0)250}),$$

откуда $b_0 = 0,996$, $b_1 = 1 - b_0 = 0,004$.

Определим оптимальный размер заказа с учетом скидки по формуле (6.14) и введения коэффициента β при учете оплаты за хранение. Тогда, критериальное уравнение запишется в виде

$$C_\Sigma = \frac{C_0 A}{S} + \beta C_n i S (1 - \gamma S) \rightarrow \min, \quad (6.16)$$

Приравняв частную производную $\partial C_\Sigma / \partial S = 0$, после преобразований находим

$$aS^3 + bS^2 + d = 0, \quad (6.17)$$

где: $a = 2\beta\gamma C_{ni}$; $b = -\beta C_{ni}$; $d = C_0 A$.

Изменение величины скидки в зависимости от объема заказа,
формула (6.15)

Заказ S, шт.	Коэффициенты b_0 (при $a_0=0,7$)			Коэффициенты b_0 (при $a_0=0,5$)		
	0,7	0,9	0,99	0,7	0,9	0,99
10	0,780	0,860	0,975	0,635	0,751	0,959
50	0,719	0,751	0,901	0,532	0,584	0,836
100	0,710	0,728	0,850	0,516	0,546	0,751
200	0,705	0,714	0,800	0,508	0,524	0,667
300	0,703	0,710	0,775	0,505	0,516	0,625
400	0,702	0,707	0,760	0,504	0,512	0,600
500	0,702	0,705	0,750	0,503	0,509	0,583

Для решения кубического уравнения (6.17) можно воспользоваться аналитическим или численным (итерационным) способами.

Аналитический способ. Один из вариантов сводится к следующему:

1. Вводится новая переменная $y = S + (b/3a)$.
2. При подстановке в уравнение (6.17), после преобразований находим:

$$y^3 + 3py + 2q = 0, \quad (6.18)$$

где $p = -b^2/9a^2$; $q = \frac{d}{2a} + \frac{b^3}{27a^3}$

3. Число действительных корней уравнения (6.18) зависит от знака дискриминанта

$$D = q^2 + p^3$$

При $D > 0$ действительный корень равен (формула Кардана)

$$Y_1 = \sqrt[3]{-q + \sqrt{D}} + \sqrt[3]{-q - \sqrt{D}}, \quad (6.19)$$

При $D < 0$ для определения корней уравнения (6.18) используются специальные формулы.

Приближенный способ (метод итераций). Запишем уравнение (6.17) в виде

$$S = \frac{S_0}{\sqrt{1 - 2\gamma S}}, \quad (6.20)$$

где S_0 рассчитывается по формуле (6.12).

Подставив в правую часть $S=S_0$, находим первое приближение S_1 и сравним с S_0 , затем подставляем $S=S_1$ и находим S_2 и т.д. Процесс повторяется несколько раз до достижения заданной точности.

Пример. Определим оптимальную величину заказа при учете скидок, формула (6.14), и следующих исходных данных: $A=1200$ ед., $C_0=60,8$ у.е.; $C_n=29,3$ у.е., $i=0,22$; $\beta=0,5$ и $\gamma=0,001$. Тогда, уравнение суммарных затрат запишется в виде

$$C_{\Sigma} = \frac{72960}{S} + 3,223S(1 - 0,001S) \rightarrow \min, \quad (6.21)$$

Для исследования зависимости $C_{\Sigma}=f(S)$, выполним вспомогательные расчеты (см. табл. 6.5) и построим график $C_{\Sigma}=f(S)$, рис.6.4. Из рис.6.4 видно, что учет скидок приводит к изменению традиционной зависимости $C_{\Sigma}=f(S)$; в данном случае у зависимости суммарных затрат C_{Σ} наблюдается не только минимум, но и максимум. Это говорит о том, что если величина заказа ограничена, например $S < S_A$ (см. рис.6.4), то оптимальное значение S_0 совпадает с минимумом функции $C_{\Sigma}=f(S)$.

Для определения S_0 воспользуемся формулой (6.12)

$$S_0 = \sqrt{\frac{1200 \cdot 60,8}{0,5 \cdot 29,2 \cdot 0,22}} = 151$$

Тогда первое приближение

$$S_1 = \frac{151}{\sqrt{1 - 2 \cdot 0,001 \cdot 151}} = 181$$

Второе приближение

$$S_2 = \frac{151}{\sqrt{1 - 2 \cdot 0,001 \cdot 181}} = 189$$

Продолжив вычисления, находим $S_3=191,5$; $S_4=192,2$. В виду того, что $\Delta S = |S_4 - S_3| < 1$, примем $S_{\text{опт.}}=192$.

Пример 2. Определены зависимости составляющих суммарных затрат C_{Σ} при следующих исходных данных: $C_0 = 19$ долл.; $A = 2400$ шт.; $\beta = 0,5$; $i = 0,2$ [2]. Скидки учтены в виде зависимости (6.14); $C_n = 5,492$ дол.; $\gamma = 0,0009$. Таким образом, выражение для суммарных затрат запишется в виде:

$$C_{\Sigma} = \frac{19 \cdot 2400}{S} + 0,5 \cdot 5,492 \cdot 0,2 \cdot S(1 - 0,0009S) =$$

$$= \frac{45600}{S} + 0,5492 S - 0,000494 S^2, \quad (6.22)$$

Таблица 6.5

Расчет составляющих и суммарных затрат на выполнение заказа с учетом скидок на величину заказа, формула (6.21)

Величина заказа, S ед.	Затраты на выполнение заказа	Затраты на хранение C_x		Суммарные затраты C_{Σ}	
		Без учета скидки	С учетом скидки	Без учета скидки	С учетом скидки
100	729,6	322,0	290,1	1051,6	1019,7
150	486,4	483,5	411,0	969,9	897,4
200	364,8	644,6	515,7	1009,4	880,5

250	291,8	805,5	604,3	1097,3	896,1
300	243,2	967,0	676,8	1210,2	919,8
400	182,4	1289,2	773,3	1474,6	955,7
500	145,9	1611,5	805,3	1757,4	951,1
600	121,6	1933,8	773,3	2055,4	895,1
700	104,2	2256,1	676,8	2360,3	781,0
800	91,2	2578,4	515,7	2669,6	606,9

На рис.6.5 представлены составляющие затрат, связанные с заказом и хранением, а также с учетом и без учета скидок на цену товара от величины заказа (вспомогательные расчеты – табл. 6.6).

В отличие от ранее приведенных зависимостей на рис.6.1 и рис.6.4 у $C_{\Sigma} = f(S)$ при учете скидок не наблюдается минимума. Это имеет принципиальное значение, поскольку в данном случае невозможно рассчитать значение ЕОQ – оптимальную величину заказа и она должна быть определена как «экономичная» величина исходя из других критериев или ограничений.

Таблица 6.6

Расчет составляющих сумм-х затрат с учетом скидок на величину заказа, формула (21)

Величина заказа, S ед.	Затраты на выполнение заказа	Затраты на хранение		Суммарные затраты	
		C_x		C_{Σ}	
		Без учета скидки	С учетом скидки	Без учета скидки	С учетом скидки
100	456	54,9	50	510	506
200	228	109,8	90,1	337,8	318,1
300	152	164,8	120,3	318,8	272,3
400	114	219,7	140,6	333,7	254,6
500	91,2	274,6	151,1	365,8	242,3
600	76,0	329,5	151,7	405,5	227,7
700	65,1	384,4	142,4	449,5	207,5
800	57,0	439,4	132,2	496,4	180,2

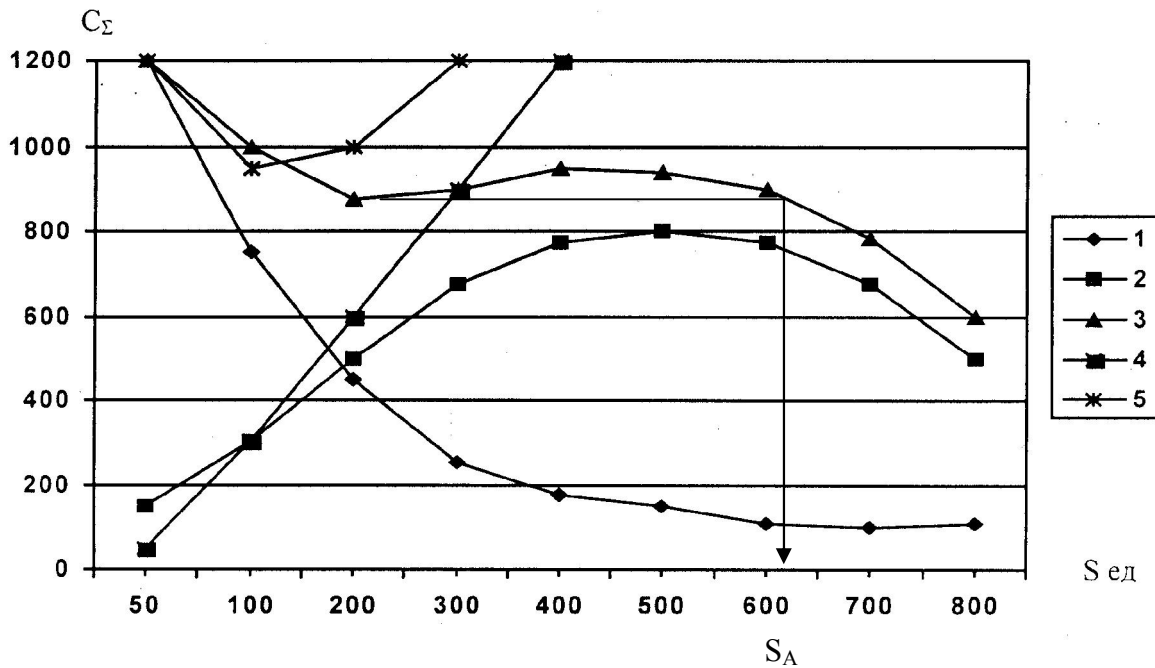


Рис. 6.4. Суммарные затраты на выполнение заказа с учетом скидок на величину заказа, зависимость (6.21):

1 - затраты на выполнение заказа; 2 - затраты на хранение с учетом скидок; 3 - суммарные затраты с учетом скидок; 4 - затраты на хранение (без учета скидок); 5 - суммарные затраты без учета скидок.

Рассмотрим вариант при использовании зависимости (6.15). Тогда уравнение (6.15) запишется в виде:

$$\frac{C_0 A}{S} = \beta C_n i S \left(a_0 + \frac{a_1}{b_0 + b_1 S} \right) \rightarrow \min, \quad (6.23)$$

Примем, что $a_0=0,6$; $a_1=0,4$; $b_0=0,996$; $b_1=0,004$.

Исследуем зависимость $C_\Sigma = f(S)$. При подстановке исходных данных: $C_0=19$ долл., $A_0=2400$; $\beta=0,5$; $C_n=5$ долл.; $i=0,2$ находим

$$C_\Sigma = \frac{45600}{S} + 0,3S + \frac{0,2S}{0,996 + 0,004S}, \quad (6.24)$$

Вспомогательные расчеты приведены в табл.6.7. Графики составляющих и суммарных затрат на рис. 6.6. Из рис.6.6 видно, что при учете скидок минимум C_Σ смещается в область больших величин заказа S , при этом сохраняется подобие с зависимостью C_Σ , рассчитанной без учета скидок.

Для точного определения оптимальной величины заказа воспользуемся стандартной процедурой, т.е. найдем $S_{\text{опт}}$ из решения уравнения $dC_\Sigma/dS=0$, где C_Σ описывается выражением (6.1). После преобразований находим

$$KS^4 + LS^2 + M^2 + NS + Q = 0 \quad (6.25)$$

где $K = \beta c_{ni} a_o b_1^2$; $L = 2\beta c_{ni} a_o b_o b_1$; $M = \beta c_{ni} a_o b_o^2 + \beta b_o c_{ni} a_1 - c_o A b_1^2$; $N = -2c_o A b_o b_1$; $Q = -c A b_o^2$.

Анализ показал, что наиболее приемлемым является приближенный способ, при этом итерационное уравнение можно записать в виде:

$$S_{i-1} = \sqrt[4]{((-LS - M)S - N)S - Q} / K \quad (6.26)$$

Рассчитаем коэффициенты уравнения (6.25):

$$K=0,5 \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot 0,6 \cdot 0,004^2=4,8 \cdot 10^{-6}$$

$$L=2 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot 0,6 \cdot 0,996 \cdot 0,004=2,39 \cdot 10^{-3}$$

$$M=0,5 \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot 0,6 \cdot 0,996^2+0,5 \cdot 0,996 \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot 0,4 - 19 \cdot 2400 \cdot 0,004^2= -0,2328$$

$$N= -2 \cdot 19 \cdot 2400 \cdot 0,996 \cdot 0,004= -363,3$$

$$Q= -19 \cdot 2400 \cdot 0,996^2= -45236$$

При подстановке численных значений в уравнение (6.26) получим

$$S_{i+1} = \sqrt[4]{((-2,39 \cdot 10^{-3} S_i + 0,2328)S_i + 363,3)S_i + 45236} / 4,8 \cdot 10^{-6} \quad (6.27)$$

В качестве начальной итерации примем $S_0=300$. При подстановке в (6.27) находим $S_1=389,6$.

Последующие значения: $S_2=360,1$; $S_3=374,7$; $S_4=368,2$; $S_5=371,3$; $S_6=370$. Следовательно, шестая итерация позволяет получить приемлемую точность $\Delta=|S_6 - S_5| \sim 1$.

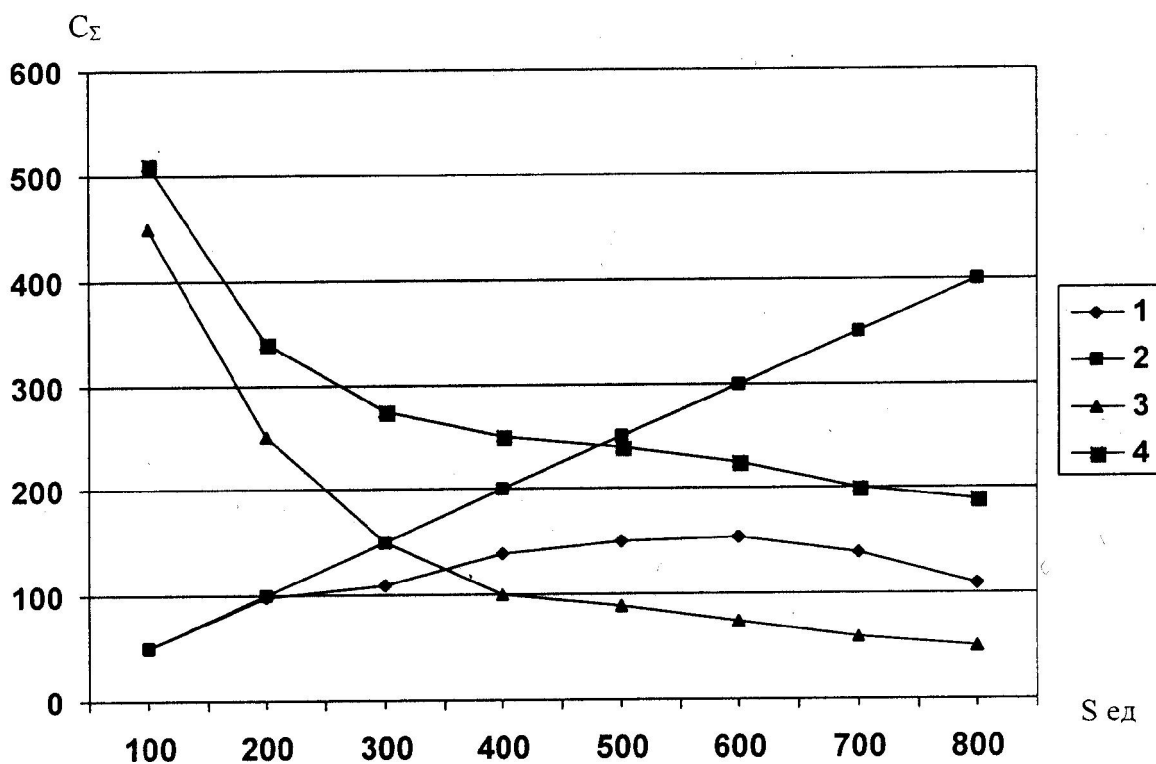


Рис. 6.5. Составляющие суммарные затраты на выполнение заказа с учетом скидков на величину заказа, зависимость (6.22):

1 - затраты на хранение с учетом скидков; 2 - затраты на хранение (без учета скидков); 3 - затраты на выполнение заказа; 4 - суммарные затраты.

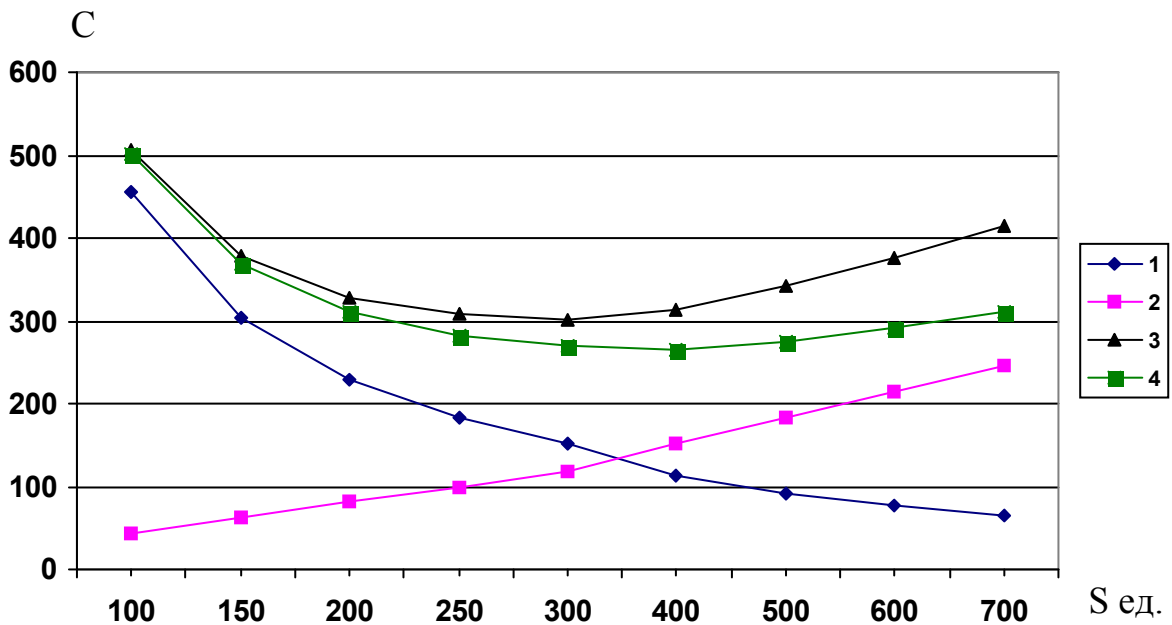


Рис. 6.6. Составляющие суммарные затраты на выполнение заказа с учетом скидок на величину заказа, зависимость (6.24):

1 - затраты на выполнение заказа; 2 - затраты на хранение; 3 - суммарные затраты; 4 - суммарные затраты с учетом скидки.

Таблица 6.7

Расчет составляющих и суммарных затрат с учетом скидок на величину заказа

Величина заказа, S ед.	Затраты на выполнение заказа	Затраты на хранение		Суммарные затраты	
		C_x		C_Σ	
		Без учета скидки	С учетом скидки	Без учета скидки	С учетом скидки
100	456	50	44,3	506	500,3
150	304	75	63,8	379	367,8
200	228	100	82,3	328	310,3
250	182,4	125	100	307,4	282,4
300	152,0	150	117,3	302	269,3
400	114,0	200	150,8	314	264,8
500	91,2	250	183,4	341,2	274,6
600	76	300	215,3	376	291,3
700	65,1	350	246,9	415,1	312,0

В заключении сопоставим различные варианты расчета EOQ – экономического размера заказа. Для проведения расчетов были выбраны следующие исходные данные:

- $A = 2400$ ед., $C_0 = 19$ долл., $C_n = 5$ долл., $i = 0,2$;

- коэффициент β , учитывающий затраты на хранение, принимался равным 0,25, 0,5 и 0,75;
- значения цены C_n с учетом скидок были взяты из табл.6.3. и составили 5, 4 и 3 долл.; при расчете суммарных затрат с учетом скидок (дискретная зависимость) учитывались затраты на заказ и хранение;
- учет снижения цены C_n производился для двух зависимостей – линейной (уравнение (6.14), $\gamma=0,0009$) и нелинейной (уравнение (6.15), $a_0=0,6$, $b_0=0,996$).

Таблица 6.8

Результаты расчета оптимальной величины заказа

Варианты	Коэффициент β		
	0,25	0,5	0,75
Основная модель (формула Уилсона)	$\frac{427}{107}$	$\frac{302}{151}$	$\frac{246}{185}$
С учетом скидок (дискретная зависимость)	$\frac{427}{278(200)}$	$\frac{302}{328(200)}$	$\frac{246}{378(200)}$
• $C_{S1}(<200)$			
• $C_{S2}(201-400)$	$\frac{477}{194(400)}$	$\frac{337^*}{270}$	$\frac{276^*}{165}$
• $C_{S3}(401-600)$	$\frac{551^*}{83}$	$\frac{389}{234(400)}$	$\frac{318}{294(400)}$
С учетом скидок			
• линейная зависимость	$\frac{\text{нет}^{**}}{152(600)}$	$\frac{\text{нет}^{**}}{228(600)}$	$\frac{\text{нет}^{**}}{302(600)}$
• нелинейная зависимость	$\frac{537^*}{182}$	$\frac{370^*}{270}$	$\frac{300^*}{328}$
Примечания: *) в числителе – величина заказа, в знаменателе – суммарные затраты; **) отсутствует оптимальное значение			

Анализ результатов табл. 6.8 позволяет констатировать:

- величина заказа S_0 для различных вариантов расчета колеблется в широких пределах: от минимального значения $S_{0\min}=246$ ед. до максимального $S_{0\max}=551$ ед., т.е. более, чем в два раза;
- при $\beta=\text{const}$ (например, $\beta=0,5$) колебания S_0 невелики – от 302 ед. до 370 ед.;
- суммарные затраты для представленных вариантов изменяются от 83 долл. до 378 долл., т.е. более чем в четыре раза.
- при $\beta=\text{const}$ ($\beta=0,5$) диапазон значений уже – от 151 до 328 долл.

Таким образом, учет особенностей формулы Уилсона и ее модификаций позволяет повысить точность расчета путем выбора вариантов наиболее полно соответствующей системе осуществления заказов и хранения партий продукции конкретного предприятия.

Приведенные варианты определения оптимальной величины заказа расширяют границы ограничений принятых при выводе классической формулы Уилсона-Харриса и позволяет учесть влияние разных факторов, связанных с затратами на хранение партии товара на складе и скидок с оптовой цены в зависимости от размера заказываемой партии. С теоретической точки зрения при различном сочетании составляющих уравнения (6.1) возможно получение различных аналитических зависимостей – уравнений третьего, четвертого и более высоких порядков, в частности, кубического уравнения аналогичного уравнению Ван-дер-Ваальса, используемого в термодинамике.

7. Применение методов прогнозирования в логистике

7.1. Основные положения теории прогнозирования

В снабженческой, производственной и распределительной логистиках широко используются методы прогнозирования, поскольку значения прогнозных оценок развития анализируемых процессов или явлений являются основой принятия управленческих решений при оперативном, тактическом и стратегическом планировании. Очевидно также, что от точности и надежности прогноза зависит эффективность реализации различных логистических операций и функций: от оценки вероятности дефицита продукции на складе до выбора стратегии развития фирмы.

Различным аспектам теории прогнозирования посвящено значительное количество исследований. В большинстве работ по прогнозированию, прогноз определяется как вероятностное научно обоснованное суждение о перспективах, возможных состояниях того или иного явления в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их осуществления. Под методологией прогнозирования понимается область знаний о методах, способах и системах прогнозирования, а именно:

- метод прогнозирования – способ исследования объекта, направленный на разработку прогноза;
- методика прогнозирования – совокупность одного или нескольких методов;
- система прогнозирования – упорядоченная совокупность методик и средств реализации.

Известно, что теория прогнозирования включает анализ объекта прогнозирования; методы прогнозирования, подразделяющиеся на математические (формализованные) и экспертные (интуитивные); системы прогнозирования, в частности, непрерывного, при котором за счет мониторинга осуществляется корректировка прогнозов в процессе функционирования объекта.

В работах по теории прогнозирования при анализе объектов производится классификация прогнозов, при этом в качестве основных признаков указываются следующие:

- масштабность, отражающая количество значащих переменных при описании объекта;
- сложность, характеризующая степень взаимосвязи переменных;
- детерминированность или стохастичность переменных;
- информационная обеспеченность периода ретроспекции, включая все возможные варианты от объектов с полным количественным обеспечением до объектов, у которых такое обеспечение отсутствует.

Одним из основных классификационных признаков является также период прогноза, при этом большинство авторов выделяют три вида прогнозов: краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные. Естественно, что временные интервалы прогнозов зависят от природы объекта, то есть изучаемой области деятельности. Так, при рассмотрении технико-экономических показателей деятельности фирм период краткосрочного прогноза не превышает 1 года, среднесрочные прогноз – от 1 до 5 лет, долгосрочный – свыше 5 лет.

Наконец, математические методы прогнозирования подразделяются на три группы:

- симплексные (простые) методы экстраполяции по временным рядам;
- статистические методы, включающие корреляционный и регрессионный анализ и другие;

- комбинированные методы, представляющие собой синтез различных вариантов прогнозов.

При формировании методики прогнозирования целесообразно, на наш взгляд, рассматривать прогноз в узком (I тип прогноза) и в широком (II тип прогноза) смысле.

В узком смысле прогноз выполняется при условии, что основные факторы, определяющие развитие прогнозируемого процесса или явления, не претерпят существенных изменений.

Прогнозы I типа осуществляются с применением симплексных или статистических методов на основе временных рядов;

число значимых переменных включают от 1 до 3-х параметров, то есть по масштабности они относятся к сублокальным прогнозам;

при использовании одного параметра, например, времени, такие прогнозы считаются сверхпростыми, при двух-трех взаимосвязанных параметрах – сложными;

по степени информационной обеспеченности периода ретроспекции прогнозы I типа могут быть отнесены к объектам с полным информационным обеспечением.

Для повышения точности и достоверности прогнозных оценок I типа целесообразно использование комбинированных методов, при этом желательно использование большого количества вариантов прогноза, рассчитанных на основе различных подходов или альтернативных источников информации.

Прогноз II типа (в «широком» смысле) подразумевает, что исходные данные для получения оценок определяются с использованием опережающих методов прогнозирования: патентный, публикационный и др. Как правило, прогнозы II типа используются для долгосрочного прогнозирования и разбиваются на два этапа: первый – получение прогнозных оценок основных факторов; второй – собственно прогноз развития процесса или явления. Учитывая объективную сложность и трудоемкость выполнения прогнозов II типа, можно констатировать, что наибольшее распространение получили методы прогнозирования I типа.

Наиболее часто для прогнозирования I типа используется метод экстраполяции. В общем случае модель прогноза включает три составляющие (рис.7.1.) и записывается в виде:

$$\bar{y}_t = \bar{y}_t + v_t + \varepsilon_t, \quad (7.1.)$$

где \bar{y}_t – прогнозные значения временного ряда;

\bar{y}_t - среднее значение прогноза (тренд);

v_t – составляющая прогноза, отражающая сезонные колебания (сезонная волна);

ε_t - случайная величина отклонения прогноза.

В частных случаях количество составляющих модели меньше, например, только y_t и ε_t .

Подробно вопросы прогнозирования с использованием методов экстраполяции изложены в ряде работ, но в виду отсутствия общепринятого алгоритма обработки временных рядов может быть предложена следующая последовательность расчета.

1. На основе значений временного ряда на прогнозном периоде (интервале наблюдения) с использованием метода наименьших квадратов определяются коэффициенты уравнения тренда \bar{y}_t , видом которого задаются. Обычно для описания

тренда используются полиномы различных порядков, экспоненциальные, степенные функции и т. п.

2. Для исследования сезонной волны значения тренда исключаются из исходного временного ряда. При наличии сезонной волны определяют коэффициенты уравнения, выбранного для аппроксимации v_t .

3. Случайные величины отклонения ε_t определяются после исключения из временного ряда значений тренда и сезонной волны на прогнозируемом периоде. Как правило, для описания случайной величины ε_t используется нормальный закон распределения.

4. Для повышения точность прогноза применяются различные методы (дисконтирование, адаптация и другие). Наибольшее распространение в практике расчетов получил метод экспоненциального сглаживания, позволяющий повысить значимость последних уровней временного ряда по сравнению с начальными.

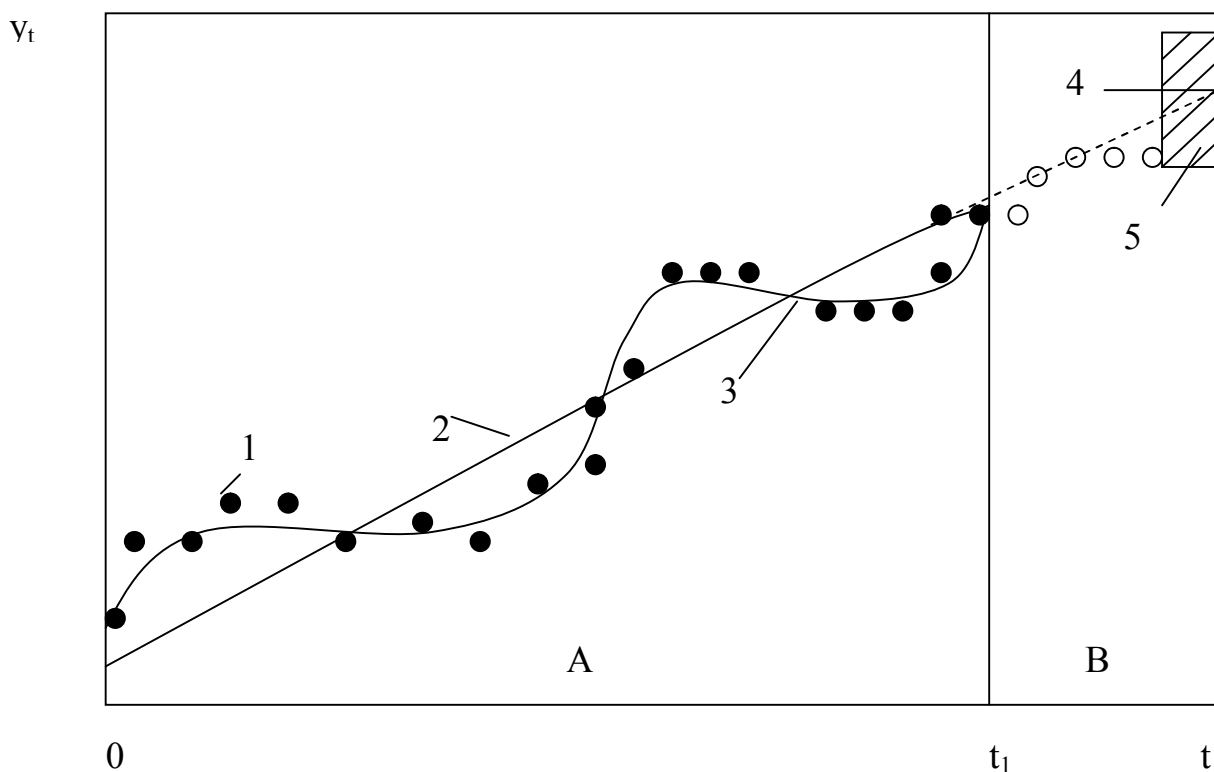


Рис. 7.1. Прогнозирование на основе временных рядов:

1 – экспериментальные данные на интервале наблюдения (A); 2 – тренд; 3 – тренд и сезонная волна; 4 – значение точечного прогноза на интервале упреждения (B); 5 – интервальный прогноз.

7.2. Пример прогноза текущего запаса на складе

Рассмотрим применение методов прогнозирования на основе данных расхода деталей на складе, взятом из работы [2]. В табл. 7.1. приведены три реализации текущего расхода; для каждой реализации даны величины расхода за день и интегральные характеристики, представляющие собой расход деталей со склада за соответствующий цикл.

Проиллюстрируем возможные варианты прогнозов для одной реализации и для ансамбля из трех реализаций.

Пример 1. Воспользуемся первой реализацией. Допустим, что нам известны значения расхода деталей со склада за пять дней работы, табл.7.2.

Выберем уравнение тренда \bar{y}_t в виде линейной зависимости

$$y_t = a_0 + a_1 t \quad (7.2.)$$

Расчет коэффициентов уравнения a_0 и a_1 производится по формулам:

$$a_0 = \frac{\sum y_i \sum t_i^2 - \sum t_i \sum y_i t_i}{N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (7.3.)$$

$$a_1 = \frac{N \sum y_i t_i - \sum y_i \sum t_i}{N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (7.4.)$$

Напомним, что формулы (7.3.), (7.4) получены на основе метода наименьших квадратов.

Входящие в формулы значения сумм рассчитаны в табл. 7.2. Подставляя их значения, находим $a_0 = 45,2$, $a_1 = -3,0$. Таким образом, уравнение прогноза пишется в виде

$$y_t = 45,2 - 3,0t$$

Таблица 7.1.

Динамика спроса в течение трех циклов расхода запасов

1-й цикл			2-й цикл			3-й цикл		
День j	Спрос ед.	Всего с начала цикла	День j	Спрос ед.	Всего с начала цикла	День j	Спрос ед.	Всего с начала цикла
1	9	9	11	0	0	21	5	5
2	2	11	12	6	6	22	5	10
3	1	12	13	5	11	23	4	14
4	3	15	14	7	18	24	3	17
5	7	22	15	10	28	25	4	21
6	5	27	16	7	35	26	1	22
7	4	31	17	6	41	27	2	24
8	8	39	18	9	50	28	8	32
9	6	45	19	*	50	29	3	35
10	5	50	20	*	50	30	4	39

Примечание: * - дефицит

Для оценки границ интервального прогноза необходимо рассчитать среднее квадратичное отклонение

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (7.5)$$

Вспомогательные расчеты приведены в табл. 7.2. Подставляя значения в формулу (7.5), находим σ_t

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot 13} = 1,8$$

На основании полученных зависимостей y_i и σ_t рассчитываются прогнозные оценки

- среднего времени расхода текущего запаса \bar{T} ;
- страхового запаса y_c с заданной доверительной вероятностью P ;
- вероятности отсутствия дефицита деталей на складе в течение прогнозируемого периода.

Расчет прогнозной величины среднего времени расхода \bar{T} производится по формуле (7.2). Приняв $y_t = 0$, находим

$$\bar{T} = \frac{-a_0}{a_1} = \frac{-45,2}{-3,0} = 15 \text{ дней}$$

Для расчета страхового запаса воспользуемся формулой

$$y_c = \sigma_t \cdot t_\beta \quad (7.6)$$

где σ_t – среднее квадратичное отклонение, формула (7.5);

t_β – параметр нормального закона распределения, соответствующий доверительной вероятности β .

Параметр t_β определяет для нормального закона число средних квадратических отклонений, которые нужно отложить от центра рассеивания (влево и вправо) для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна β .

В нашем случае доверительные интервалы откладываются вверх и вниз от среднего значения y_t .

На рис. 7.2. приведены границы, соответствующие $y_t \pm \sigma$.

В табл. 7.3. приведены наиболее часто встречающиеся в практических расчетах значения вероятности β и параметра t_β для нормального закона распределения.

Таким образом, страховой запас рассчитывается также, как и границы интервального прогноза, т.е. по формуле (7.6).

Таблица 7.2.

Исходные данные и результаты расчета коэффициентов уравнения (7.2) при $N = 5$

						(
						y
						t
						-

					y j 2
					1 0 4 4 4
					Σ
*Примечание: значения округлены					

Для рассматриваемого примера для доверительной вероятности $\beta=0,9$ находим по табл. 7.3 $t_{\beta} = 1,643$ и по формуле (7.5) величину страхового запаса

$$y_c = 1,8 \cdot 1,643 = 2,96.$$

Примем $y_c = 3,0$.

На рис. 7.2. приведены границы интервального прогноза при $\beta=0,9$.

Рассчитанное значение страхового запаса соответствует только одному дню наступления дефицита, а именно согласно прогнозу $T=15$. Для учета возможных нарушений срока поставки, необходимо также при расчете страхового запаса оценить влияние задержки, связанной с выполнением заказа, в частности, с транспортировкой.

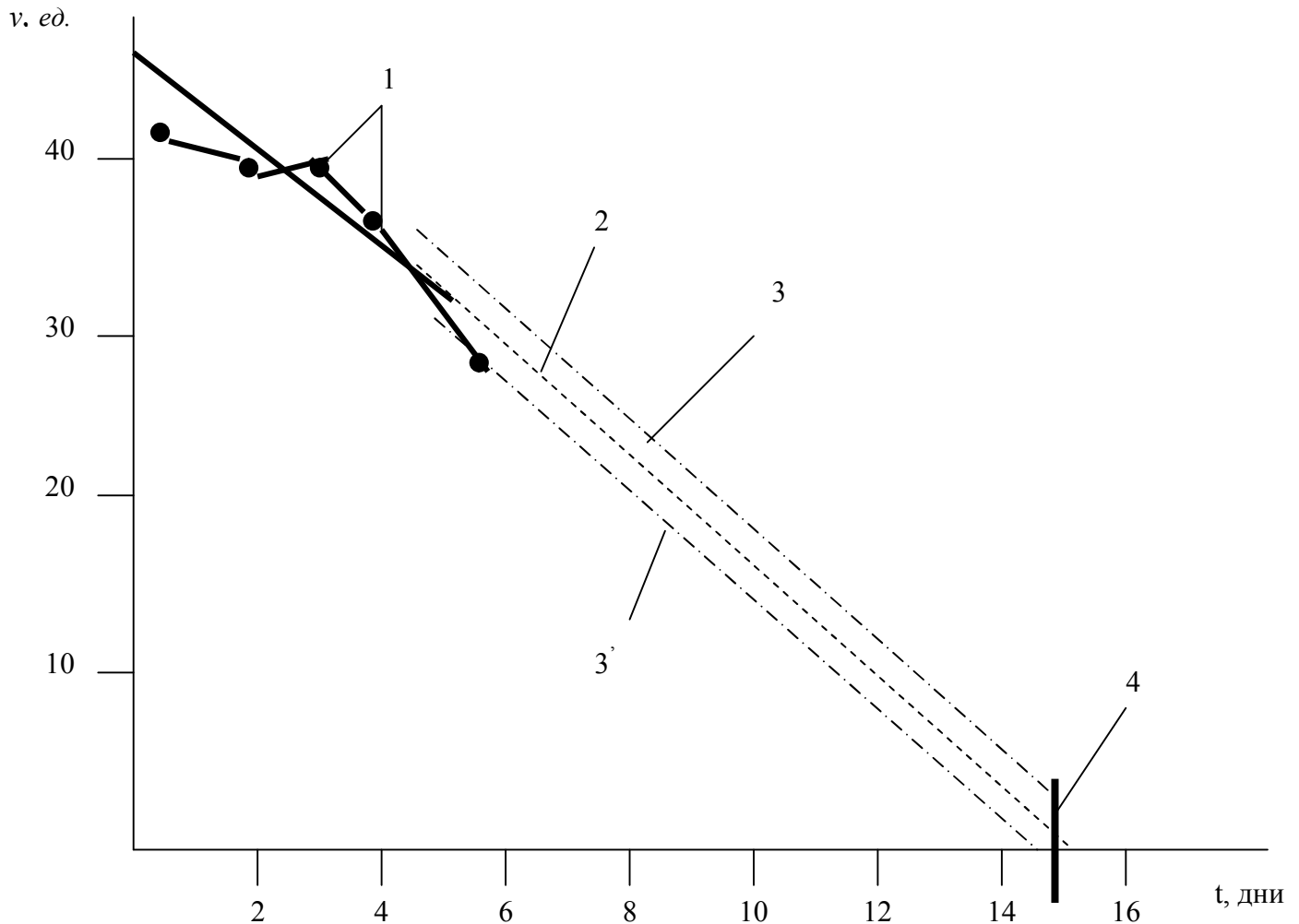


Рис. 7.2. Прогноз текущего расхода деталей на складе ($N = 5$)

1-исходные данные; 2-уравнение тренда; 3, 3'-границы интервального прогноза; 4- время расхода запаса T .

К сожалению, по одной реализации невозможно оценить вероятностный характер длительности функциональных циклов поставки. Однако можно предположить, что выявленная тенденция расхода запаса, формула (7.2), сохраниться. В этом случае, для оценки прогнозной величины страхового запаса можно воспользоваться формулой

$$y_c^* = |a_l| \tau + t_\beta \sigma_l \quad (7.7)$$

где τ - параметр, характеризующий количество дней задержки поставки заказа.

Таблица 7.3.

Доверительная вероятность β и параметр t_β
нормального закона распределения

β	t_β	β	t_β
0,80	1,28	0,92	1,75
0,82	2	0,94	0
0,84	1,34	0,95	1,88
0,86	0	0,96	0
0,88	1,40	0,98	1,96
0,90	4	0,99	0
0,91	1,47	0,99	2,05
	5	9	3
	1,55		2,32
	4		5
	1,64		2,57
	3		6
	1,69		3,29
	4		0

Рассчитаем величину страхового запаса при условии задержки на один день по сравнению с прогнозной оценкой T=15 дней, т.е. на 16 день. По формуле (7.7) находим

$$y_c^* = |-3,0|1,0+1,643 \cdot 1,8=6,0 \text{ ед.}$$

Аналогично, при $\tau=2$ (17 день) $y_c^*=9,0$ ед.

Для оценки вероятности отсутствия дефицита допустим, что отклонения ежедневного расхода деталей от среднего значения (тренда) подчиняются нормальному закону распределения. Тогда, воспользовавшись уравнением функции нормального закона, определим вероятность отсутствия дефицита по формуле

$$P(y) = 1 - F(y) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{(y-y_t)^2}{2\sigma^2}} dy, \quad (7.8)$$

где y_t – уравнение тренда, формула (7.2)

σ – среднее квадратическое отклонение, формула (7.5).

Таблица 7.4.

Значения * нормальной функции
распределения $\Phi(x)$, вероятности $P(x)$ и параметра x

--	--	--	--	--	--

* некоторые значения округлены					

Сделаем в интеграле замену переменной

$$\frac{y - y_t}{\sigma} = x \quad (7.9)$$

и приведем его к виду

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{y-y_t}{\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (7.10)$$

Интеграл (7.10) не выражается через элементарные функции, поэтому для расчетов можно воспользоваться численными методами и ЭВМ или специальными таблицами. Для нормальной функции распределения с параметрами среднее значение $m_x=0$ и $\sigma_x=1$.

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (7.11)$$

Очевидно, что $F(y) = \Phi\left(\frac{y - y_t}{\sigma}\right)$.

В табл. 7.4. приведен ряд значений функции $\Phi(x)$ и $P(x)$.

Между параметрами β и x , а также β и $\Phi(x)$ существует соотношение

$$2\Phi(x) - 1 = \beta \quad (7.12)$$

На рис. 7.3 приведены графики нормальной функции распределения и плотности нормального распределения.

Появление дефицита означает, что текущая величина запаса на складе равна нулю, т. е. $y = 0$.

Следовательно, для определения вероятности отсутствия дефицита необходимо:

- по формуле (7.9) рассчитать $x = \frac{-y_t}{\sigma}$;
- по табл. 7.4 с помощью x найти $P(x)$.

Для рассматриваемого примера рассчитаем вероятности отсутствия дефицита деталей на складе на 13, 14 и 15 день. Так, для $t=13$ получаем

$$y_{t=12} = 45,2 - 3,0 \cdot 13 = 6,2,$$

и

$$x = \frac{-6,2}{1,8} = -3,44.$$

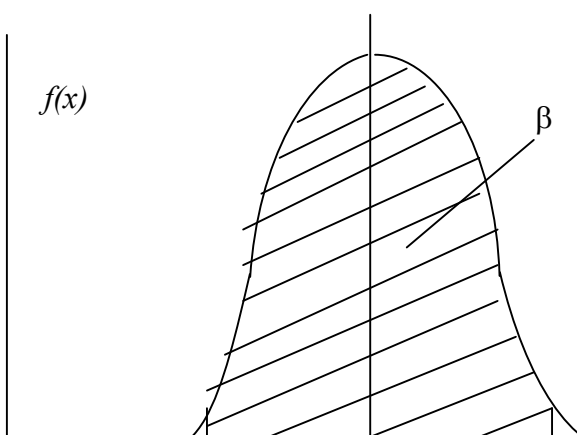
По табл. 7.4 находим $P(T=13) > 0,999$, т.е. вероятность дефицита ничтожно мала.

Аналогично, для $T=14$ получим $y_{T=14} = 3,2$; $x = -1,78$, и вероятность отсутствия дефицита $P_{T=14} \cong 0,95$.

Наконец, для $T=15$, вероятность отсутствия дефицита $P \cong 0,5$.

Следует подчеркнуть, что также как при оценке прогнозной величины страхового запаса, определение вероятности отсутствия дефицита по одной реализации справедливо только при строгом соблюдении сроков поставки. Если они не соблюдаются, то расчет должен проводиться с учетом рассеивания длительности функциональных циклов поставки.

а)



б)

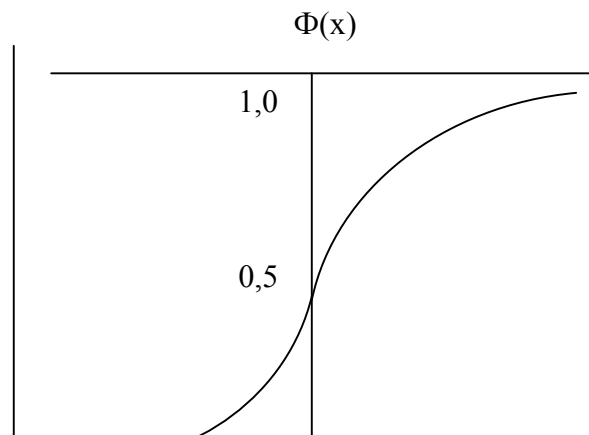


Рис. 7.3. Нормальный закон распределения:

а) плотность распределения; б) функция распределения.

В заключении определим ошибку прогноза среднего времени T , поскольку имеются реальные данные о текущем расходе в табл. 7.1.

$$\Delta_T = \left| \frac{T_\phi - T_n}{T_n} \right| \cdot 100\% \quad (7.13)$$

где T_ϕ , T_n – соответственно фактическая и прогнозная продолжительность цикла, дн.

Подставив значения в (7.13), находим

$$\Delta_T = \left| \frac{10 - 15}{10} \right| \cdot 100\% = 50\%$$

Ошибка прогноза велика, но это закономерно, так как нарушено одно из эмпирических правил экстраполяционного прогнозирования: между предпрогноznым периодом t и периодом упреждения (прогноза) $\tau = T - t$ должно соблюдаться соотношение:

$$\frac{t}{T - t} = 3 \quad (7.14)$$

Если следовать соотношению (7.14), то при $t = 5$ допустимая величина времени прогноза

$$T = \frac{4}{3}t \quad (7.15)$$

Следовательно, величина надежного прогноза соответствует $T \cong 7$ дней и период упреждения составляет $\tau = 2$ дня.

Пример 2. В работе [2] указывается, что средняя длина функционального цикла расхода запасов составляет $\bar{T}=10$ дней. Тогда, по формуле (7.15) находим $t=7,5$ дней.

Увеличим длину динамического ряда до $N=7$ и, выполнив аналогичные расчеты (табл. 7.5), получим уравнение тренда

$$y_t^*=47-3,9t$$

Соответственно, $\sigma_t^*=2,1$.

Рассчитаем среднее прогнозное время расхода запаса со склада

$$\bar{T} = \frac{-47,0}{-3,9} \cong 12 \text{ дней,}$$

и ошибку прогноза, формула (7.13)

$$\Delta_T = \left| \frac{10-12}{10} \right| \cdot 100\% = 20\%$$

Таблица 7.5

Исходные данные и результаты расчета коэффициентов уравнения (7.2) при $N=7$

					$(\bar{y} - y_i)^2$
					4,
					4
					1

					0, 0 4
					7, 2 9
					1 2, 9 6
					0, 2 5
					0, 3 6
					0, 4 9
					Σ

$a_0 = \frac{223 \cdot 140 - 28 \cdot 784}{7 \cdot 140 - 28^2} = 47,3 \approx 47;$	$a_1 = \frac{7 \cdot 784 - 223 \cdot 28}{7 \cdot 140 - 28^2} \approx -3,9$
------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

Рассчитаем величину страхового запаса для 12, 13 и 14 дня по формуле (7.7). Примем $\beta=0,95$, т. е. $t_\beta=1,96$. Тогда

$$y_c(\tau = 0) = |-3,9| \cdot 0 + 1,96 \cdot 2,1 = 4,11 \approx 4,0$$

$$y_c(\tau = 1) = |-3,9| \cdot 1 + 4,0 \approx 8,0$$

$$y_c(\tau = 2) = |-3,9| \cdot 2 + 4,0 \approx 12,0$$

Определим вероятность дефицита на складе на десятый день.

По формуле (7.9) находим $x = \frac{-(47,3 - 3,9 \cdot 10)}{2,1} = -3,95$; по табл. (7.4) $P_{T=10} \approx 1,0$,

т.е. наличие дефицита маловероятно. Аналогично для $P_{T=11} \approx 0,98$, для $P_{T=12} \approx 0,6$.

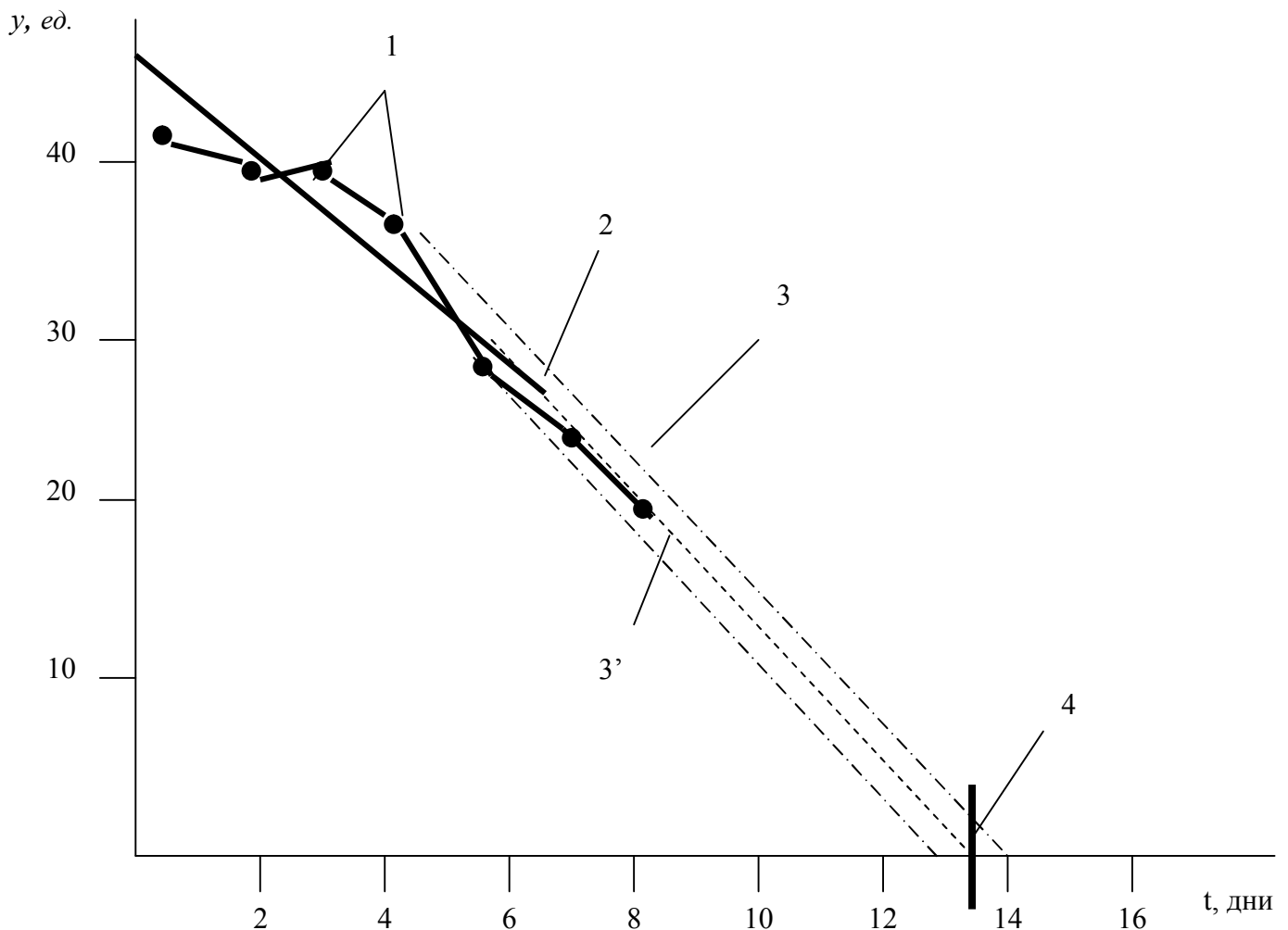


Рис. 7.4. Прогноз текущего расхода деталей на складе ($N = 7$)

1-исходные данные; 2-уравнение тренда; 3, 3'-границы интервального прогноза; 4- время расхода запаса T .

Пример 3. Рассмотрим ансамбль из трех реализаций расхода деталей на складе. Как и в предыдущем примере допустим, что информация ограничена 7 днями.

Рассчитаем средние значения и дисперсии для каждого дня прогнозного периода по формулам:

$$\bar{m}_j = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ij}}{n}, \quad (7.16)$$

$$D_j = \sum_{i=1}^n \frac{(m_{ij} - \bar{m}_j)^2}{n-1} \quad (7.17)$$

Например, для 1 дня найдем

$$m_j = \frac{41 + 50 + 45}{3} = 45,3$$

$$D_j = \frac{(41 - 45,3)^2 + (50 - 45,3)^2 + (45 - 45,3)^2}{3-1} = 19,9.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 7.6.

Для аппроксимации средних значений $m(t)$ выберем линейную зависимость

$$m(t) = b_0 + b_1 t \quad (7.18)$$

Воспользовавшись методом наименьших квадратов, найдем коэффициенты b_0 и b_1 . Спрогнозируем среднюю величину времени расхода запаса.

$$T = \frac{-b_0}{b_1} = \frac{-51,6}{-4,92} = 10,49 \text{ дн.}$$

Зависимости $D(t)$ и $\sigma(t)$ носят явно нелинейный характер и для точных прогнозов они могут быть аппроксимированы полиномами различных порядков, например, в виде параболы.

$$\sigma(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 \quad (7.19)$$

В первом приближении ограничимся средними значениями дисперсии и среднего квадратического отклонения σ , которое рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum D_j}{N}} = \sqrt{\frac{\sum (m_y - y_{ij})^2}{N}} \quad (7.20)$$

При подстановке значений из табл. 7.6 находим

$$\sigma = \sqrt{\frac{161,9}{7}} = 4,81$$

Рассчитаем величину страхового запаса.

В первом случае расчет производится по формуле (7.6). Например, при $\beta = 0,95$ находим

$$y_c = 1,96 \cdot 4,81 = 9,42 \approx 9$$

Таблица 7.6.

Расчет параметров для ансамбля реализаций

t_i	y_{1i}	y_{2i}	y_{3i}	\bar{m}_{y_i}	$(m_y - y_{1i})^2$	$(m_y - y_{2i})^2$	$(m_y - y_{3i})^2$	$\sum \frac{(m_y - y_{ji})^2}{n-1}$	σ_i
1	41	50	45	45,3	17,64	22,09	0,09	19,91	4,46
2	39	44	40	41,0	4,0	9,00	1,0	7,0	2,64
3	38	39	36	37,7	0,09	1,69	2,89	2,33	1,52
4	35	32	33	33,3	2,89	1,69	0,09	2,33	1,52
5	28	22	29	26,3	2,89	18,49	7,29	14,33	3,79
6	23	15	28	22,0	1,0	49,0	36	43	6,55
7	19	9	26	18,0	1,0	81,0	64	73	8,54
Суммы								161,9	

Во втором случае расчет y_c производится по формуле (7.7).

Особенность расчета для ансамбля реализаций состоит в том, что имеется возможность оценки величины $\bar{\tau}$ - среднего количества дней, в которые наблюдается дефицит деталей. В общем случае $\bar{\tau}$ можно рассчитать по формуле.

$$\bar{\tau} = \frac{\sum t_i n_i}{\sum n_i} \quad (7.21)$$

где t_i – число дней дефицита в i -ой реализации; $t_i=0, 1, 2, \dots$;

n_i – количество i -х реализаций.

Например, в рассматриваемом примере в первой реализации ($i=1$) не наблюдается дефицита, т. е. $t_1=0$; у второй ($i=2$) – два дня дефицита $t_2=2$; а у третьей ($i=3$) нет дефицита.

Тогда по формуле (7.21)

$$\bar{\tau} = \frac{0 \cdot 2 + 2 \cdot 1}{3} = 0,66$$

При подстановке в (7.7) находим

$$y_c^* = 0,66 \cdot 4,92 + 1,96 \cdot 4,81 = 3,24 + 9,42 = 12,66$$

В заключении следует сделать следующие замечания:

1. Рассчитанные величины среднего запаса получены при условии, что наблюдающая величина дефицита и вариация ежедневного расхода - независимые величины. Несомненно, это допущение требует проверки.
2. При наличии большого количества реализаций расчет величины $\bar{\tau}$ должен быть выполнен до проведения прогнозных расчетов.
3. Проверка формул (7.7) и (7.21) может быть осуществлена с использованием имитационного моделирования.

7.3. Комбинированный прогноз

На формирование стратегии автотранспортного предприятия (АТП) на рынке влияют факторы как внешней, так и внутренней среды, в том числе - определяющие состояние спроса на услуги. Основным является вопрос о потенциальных возможностях предприятия, определяемых технико-технологическими и организационно-финансовыми факторами среды. Принципиальное различие между предъявляемыми к перевозке грузами (или спросом) и провозными возможностями АТП состоит в том, что первое следует отнести к условиям внешней среды, т.е. «природе», состояние которой формируется под действием большого количества факторов и в подавляющем большинстве случаев не зависит от транспортной политики конкретного АТП (если рассматриваемое предприятие не является монополистом в данном сегменте рынка транспортных услуг), а второе определяется политикой и тактикой действий предприятия, не имея случайного характера, а скорее подчиняясь неким внутренним закономерностям. Таким образом, под влиянием случайных факторов объем перевозок представляет собой случайную величину, подчиняющуюся определенному закону или функции распределения $F(Q)$. Введение функции распределения для описания состояния «природы» позволяет, согласно теории статистических решений, использовать вероятностные критерии принятия решений в условиях неопределенности.

Что касается состояния АТП, то оно может быть представлено в виде различных стратегий A_i , каждая из которых количественно характеризуется числом автомобилей N_i и их провозными возможностями W_i .

Указанные стратегии A_i являются дискретными величинами, если используется число автомобилей N_i , или непрерывными за счет варьирования показателей, входящих в расчет производительности автомобиля W_i .

Связь между A_i стратегией и объемом перевозок Q_i определяется в виде матрицы (рис.7.4), элементы которой a_{ij} отражают «выигрыш», получаемый АТП при выборе i -ой стратегии.

Стратегия АТП	Объем перевозок					
	Q_1	Q_2	...	Q_j	...	Q_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
...
A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{in}
...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}

Рис. 7.4. Матрица возможных стратегий A_i АТП при различных объемах перевозок Q_j (состояния «природы»)

В ряде работ, где предпринимались попытки использования теории статистических решений для конкретных хозяйственных объектов, в качестве элемента матрицы – «выигрыша» a_{ij} - использовались условные величины. В качестве «выигрыша» могут быть использованы различные экономические показатели: доход, прибыль и другие, а также показатели, способствующие усилению конкурентных или рыночных позиций, усилению влияния на клиентуру и укреплению имиджа предприятия, улучшению качества производимых услуг.

Возможны три соотношения между объемом перевозок Q_j и стратегией предприятия A_i : первое, $a_{ij} > \Delta_i$ - состояние «выигрыша»; второе, $-\Delta_i \leq a_{ij} \leq \Delta_i$ - нейтральное состояние; третье $a_{ij} < -\Delta_i$, т.е. состояние «проигрыша». Величина Δ_i - вероятностное отклонение за счет случайного характера величин, определяющих значение элементов матрицы. Теоретически возможен вариант, когда области значений a_{ij} будут расположены иным образом, чем это показано на рис. 7.5. В частности, введение оценки «упущенной выгоды» может изменить границы областей 1-3.

Считается, что наилучшей стратегией $A=A_i$ является та, при которой показатель A_i обращается в максимум:

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot Q_j \rightarrow \max, \quad (7.22)$$

где $Q_j=F(Q_j)$ - вероятность j -го состояния «природы».

Таким образом, оптимальная стратегия АТП может быть определена при наличии $F(Q_j)$ и матрицы стратегий a_{ij} .

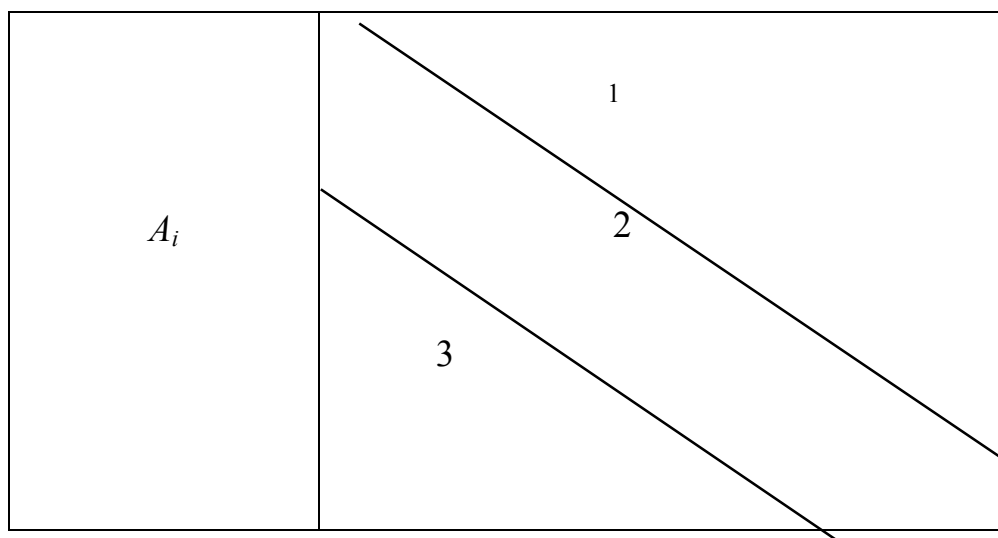


Рис. 7.5. Распределение на различные области матрицы стратегий АТП: 1 – «выигрыш»; 2 - нейтральное состояние; 3 – «проигрыш».

Рассмотрим возможные варианты расчета $F(Q_j)$. Традиционно для количественной оценки прогноза Q_i используется метод экстраполяции по динамическим рядам с использованием полиномов различной степени.

Результаты прогноза представляются в виде среднего значения Q и дисперсии D_Q , по которым определяется вид функции распределения $F(Q_j)$; далее с использованием формулы (7.22) выбираем стратегию АТП.

Основная трудность использования вышеописанной методики - это невысокая точность прогноза. Повышение точности может быть достигнуто за счет комбинированных методов прогноза, предусматривающих синтез двух и более прогнозных вариантов.

Каждый метод прогнозирования обладает определенной достоверностью, имеет свои преимущества и недостатки. Считается, что комбинированные методы прогнозирования (синтез прогнозов) позволяют компенсировать недостатки одних способов достоинствами других. На рис. 7.6. представлена блок-схема комбинированного прогноза для двух вариантов прогноза, один из которых – прогноз, выполненный эвристическим методом, основанным на статистической обработке мнений экспертов.

Процедура получения экспертных оценок может быть формализована и представлена в виде блок-схемы, рис.7.7. Рассмотрим некоторые блоки подробнее.

Формирование группы экспертов - важнейшая составляющая экспертного метода. Не останавливаясь подробно на вопросах персонального подбора, затронем только количественную сторону, а именно, число экспертов. Известно, что при прогнозировании в целях минимизации расходов на прогноз стремятся привлечь минимальное число экспертов при условии обеспечения ошибки результата прогнозирования не более E , где $0 < E < 1$. Поэтому, рекомендуемое число экспертов может быть определено по формуле:

$$N_{min} = 2,5 + \frac{1,5}{E}. \quad (7.23)$$

При подстановке предельных значений E находим:

$N_{min}(E=0) \rightarrow \infty$, $N_{min}(E=1) = 4$. Таким образом, минимальное количество экспертов равно 4.

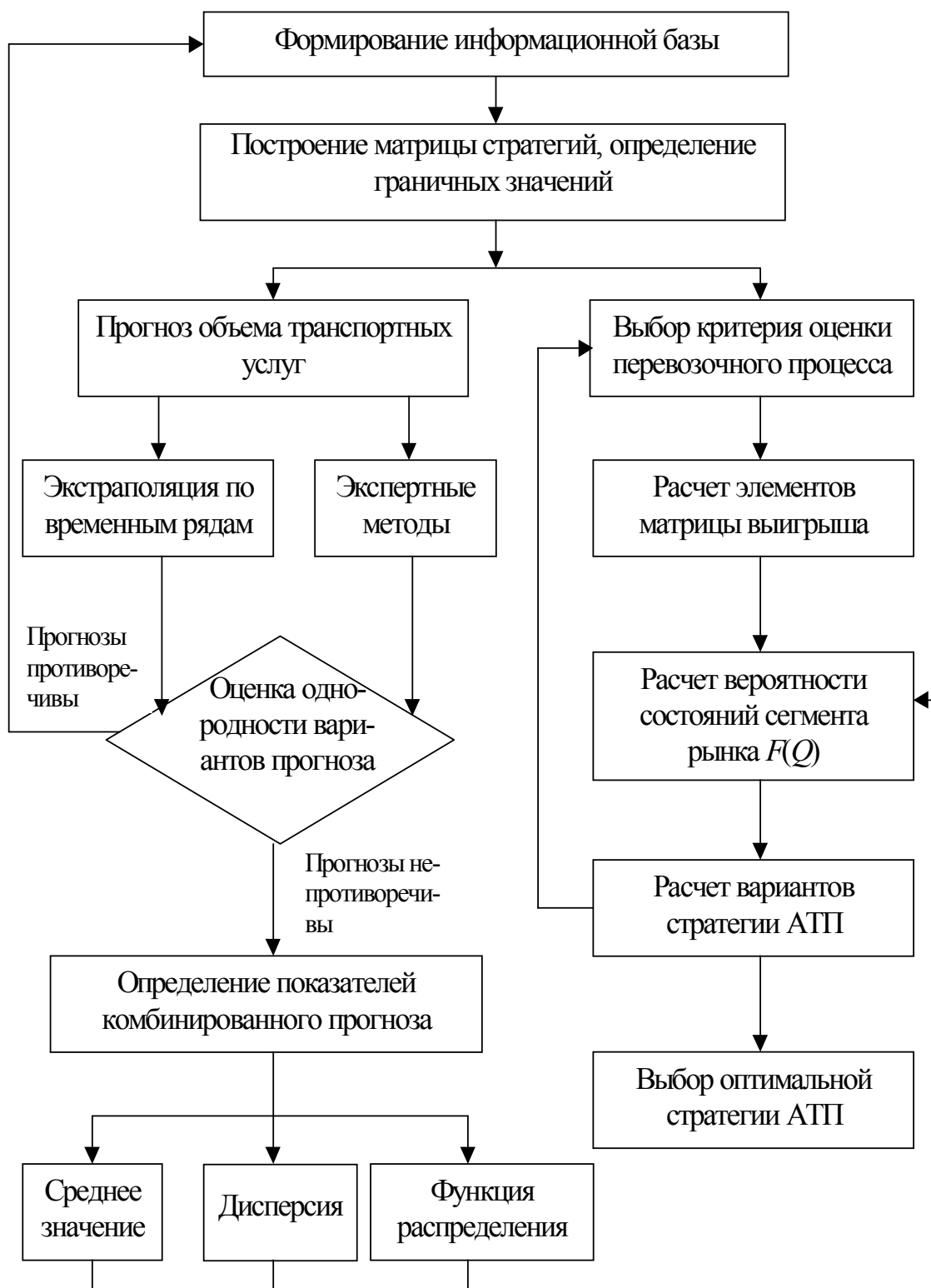


Рис.7.6. Блок – схема выбора стратегии АТП в целевом сегменте рынка транспортных услуг



Рис. 7.7 Блок-схема прогноза на основе экспертных опросов

Для определения максимальной численности экспертной группы используется неравенство:

$$N_{max} \leq 3 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{2 \cdot K_{max}}, \quad (7.24)$$

где K_i - компетентность i -го эксперта, рассчитываемая на основе анкеты самооценки;

K_{max} - максимально возможная компетентность по используемой шкале компетентности экспертов.

Статистический анализ результатов опроса предусматривает проведение двух взаимосвязанных процедур: традиционной статистической обработки в виде средних значений, дисперсий и т.п., а также оценки всей экспертной группы - степени согласованности, взаимосвязи и других показателей мнений экспертов. Оценка группы экспертов проводится с использованием части полученных статистических оценок. Если последние не удовлетворяют соответствующим критериям, то в блок-схеме предусмотрена корректировка, которая приводит, в частности, к изменению состава экспертов и повторной процедуре опроса.

Методика статистической обработки данных включает следующие этапы:

1. Определение для каждого фактора суммы рангов:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} = a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{im}, \quad (7.25)$$

где a_{ij} - ранг, присвоенный j -м экспертом i -му фактору;

m - число экспертов.

2. Определение средней величины суммы рангов:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}, \quad (7.26)$$

где k - число факторов.

3. Определение суммы квадратов отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} - \bar{a} \right)^2, \quad (7.27)$$

4. Определение коэффициента конкордации W , позволяющего оценить степень согласованности мнений экспертов (при отсутствии равных рангов):

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot k \cdot (k^2 - 1)}, \quad (7.28)$$

Если W существенно отличается от нуля, то можно полагать, что между оценками экспертов существует определенное согласие.

5. Оценка неслучайности согласия мнений экспертов производится с помощью критерия Пирсона по величине $\chi^2 = \sqrt{S}$ при числе степени свободы $\bar{n} = k - 1$ и заданном уровне значимости α

$$\chi^2_{\tau}(n, \alpha) < \chi^2, \quad (7.29)$$

где $\chi^2_{\tau}(n, \alpha)$ - табличное значение.

В случае соблюдения неравенства с доверительной вероятностью $P=1-\alpha$ можно утверждать, что мнения экспертов относительно вероятности факторов согласуются не случайно.

Представленный вариант получения прогноза на основе экспертных оценок является универсальным и в случае использования баллов заканчивается построением ранжированной диаграммы рангов.

Для перехода к конкретному прогнозу, в частности, объема перевозок, последовательности расчета сводятся к следующему:

1. Составляется ряд интервальных значений Q_j возможных объемов перевозок для рассматриваемого клиента; разбивка на n интервалов осуществляется на основе $F(Q_j)$.
2. Эксперты оценивают значимость каждого Q_j с использованием баллов, шкала которых охватывает n интервалов, т.е. $j=1, 2 \dots n$.
3. Проводится статистическая обработка оценок экспертов, и после ранжирования каждому Q_j присваивается новый номер в порядке убывания; т.е. интервалу Q_j с наименьшей суммой баллов присваивается номер 1 и т.д.

Полагаем, что интервалу Q_1 соответствует наиболее правдоподобная гипотеза (Π_1), затем вторая (Π_2) и т.д.

4. Вероятности гипотез (Π_1), (Π_2), \dots , (Π_n) определяются по формуле:

$$q_i = \frac{2 \cdot (n - i + 1)}{n \cdot (n + 1)}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (7.30)$$

5. Восстанавливаем функцию распределения экспертного прогноза объема перевозок $F(Q_{эj})$.

6. Для восстановленной «экспертной» функции находятся среднее значение $\bar{Q}_э$ и дисперсия $D_{эq}$.

Значения весовых коэффициентов для определения комбинированных оценок вероятностей каждого интервала находим по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_1 = \frac{D_{эq}}{D_q + D_{эq}}, \\ \mu_2 = \frac{D_q}{D_q + D_{эq}}, \end{array} \right. \quad (7.31)$$

где μ_1 и D_q – весовой коэффициент и дисперсия экстраполяционного прогноза;

μ_2 и $D_{эq}$ – весовой коэффициент и дисперсия экспертного прогноза.

7. Вероятности $F^*(Q_j)$ для комбинированного прогноза рассчитываются следующим образом:

$$F^*(Q_j) = \mu_1 \cdot F(Q_j) + \mu_2 \cdot F(Q_{эj}). \quad (7.32)$$

7.4. Пример прогноза количества контейнеров

Рассмотрим пример прогноза функции распределения вероятностей объема перевозок контейнеров для одного из клиентов АТП. Исходные данные о среднем количестве вывозимых контейнеров в месяц по годам приведены в табл.7.7 и на рис.7.8.

Определим коэффициенты уравнения тренда в виде

$$Q = a_1 + a_2 \cdot t + a_3 \cdot t^2, \quad (7.33)$$

где Q – среднемесячное количество контейнеров, шт;

a_1, a_2, a_3 – искомые коэффициенты;

$t = T - T_0$; T – текущий год; T_0 – базовый год.

Для определения коэффициентов a_i воспользуемся методом наименьших квадратов, согласно которому расчет a_i производится по формулам:

$$a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta_0}, \quad a_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta_0}, \quad a_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta_0}.$$

Приведенные в формулах определители 3-го порядка записываются в виде:

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} N & \Sigma t & \Sigma t^2 \\ \Sigma t & \Sigma t^2 & \Sigma t^3 \\ \Sigma t^2 & \Sigma t^3 & \Sigma t^4 \end{vmatrix}, \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} \Sigma Q & \Sigma t & \Sigma t^2 \\ \Sigma Qt & \Sigma t^2 & \Sigma t^3 \\ \Sigma Qt^2 & \Sigma t^3 & \Sigma t^4 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} N & \Sigma Q & \Sigma t^2 \\ \Sigma t & \Sigma Qt & \Sigma t^3 \\ \Sigma t^2 & \Sigma Qt^2 & \Sigma t^4 \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} N & \Sigma t & \Sigma Q \\ \Sigma t & \Sigma t^2 & \Sigma Qt \\ \Sigma t^2 & \Sigma t^3 & \Sigma Qt^2 \end{vmatrix}.$$

Суммирование в формулах определителей производится для всех значений i от 1 до N , где N – количество точек динамического ряда. В рассматриваемом примере $N = 5$.

Известно, что для расчета величины определителя 3-го порядка можно воспользоваться «правилом Саррюса»,¹ согласно которому к определителю приписываются два столбца; произведение элементов на диагоналях, идущих «слева-направо-вниз» берутся со знаком плюс, соответственно «справа-вниз» – со знаком минус, т.е.

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{31} & a_{32} \\ - & - & - & + & + \end{vmatrix} =$$

$$= a_{11} \cdot a_{22} \cdot a_{33} + a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31} + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} - a_{13} \cdot a_{22} \cdot a_{31} - a_{11} \cdot a_{23} \cdot a_{32} - a_{12} \cdot a_{22} \cdot a_{33}$$

Рассчитаем величину определителя Δ_0 . В табл.7.7 приведены результаты расчетов сумм, входящих в Δ_0 . При подстановке их значений находим

¹ Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М. «Наука», 1964

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} 5 & 15 & 55 \\ 15 & 55 & 225 \\ 55 & 225 & 979 \end{vmatrix} = 269225 + 185625 + 185625 - 166375 - \\ -253125 - 220275 = 700$$

Проведя аналогичные расчеты, получим

$$\Delta_1 = 6720, \quad \Delta_2 = 2950, \quad \Delta_3 = 550.$$

Тогда величины искомым коэффициентов равны

$$a_1 = 9,60; \quad a_2 = -4,21; \quad a_3 = 0,78.$$

Таким образом, уравнение (7.33) запишется в виде:

$$Q = 9,60 - 4,21 \cdot (T-1997) + 0,78 \cdot (T-1997)^2.$$

При подстановке $T=2003$ г. находим прогнозное среднее значение среднемесячного количества контейнеров:

$$\bar{Q} = 9,60 - 4,21 \cdot (2003 - 1997) + 0,78 \cdot (2003 - 1997)^2 = 12,46$$

Округлив, примем для 2003 г. $\bar{Q} = 12$ штук.

Помимо среднего значения прогноза рассчитывается среднее квадратическое отклонение σ_Q :

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q^{\phi}_i - \bar{Q}_i)^2}{(N-1)}}. \quad (7.34)$$

Подставляя значения суммы (см. табл.7.7), находим, $\sigma_Q=0,72$. Для дальнейших расчетов примем $\sigma_Q = 1$.

Таблица 7.7

Исходные данные и результаты расчета сумм для определения коэффициентов уравнения тренда (7.33)

Год T_i	Количество контейнеров (Q^{ϕ}_i)	$t_i^* =$ $T_i - T_0$	t_i^2	t_i^3	t_i^4	$Q^{\phi}_i t_i$	$Q^{\phi}_i t_i^2$	Q_i^{**}	$(Q^{\phi}_i - Q_i)^2$
1998	6	1	1	1	1	6	6	6,1	0,017
1999	5	2	4	8	16	10	20	4,3	0,490
2000	3	3	9	27	81	9	27	4,0	0,980
2001	6	4	16	64	256	24	96	5,2	0,578
2002	8	5	25	125	625	40	200	8,0	0,002

Суммы	$\Sigma = 28$	$\Sigma t_i = 15$	$\Sigma t_i^2 = 55$	$\Sigma t_i^3 = 225$	$\Sigma t_i^4 = 979$	$\Sigma Q_i t_i = 89$	$\Sigma Q_i t_i^2 = 349$	$\Sigma (Q_i^{\phi} - Q_i)^2 = 2,07$
Примечание: * T_0 – базовый год, $T_0 = 1997$; ** Среднее значение при расчете по формуле (7.33)								

На рис. 7.8. приведены исходные данные и результаты прогноза количества вывозимых контейнеров в 2003 г.

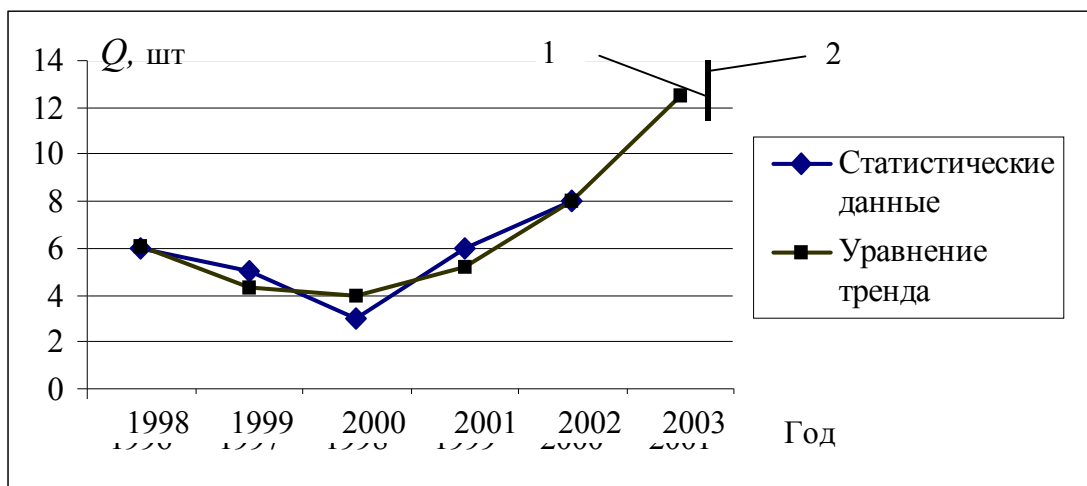


Рис. 7.8. Динамика среднемесячного количества вывозимых контейнеров: 1 – среднее значение прогноза на 2001 г.; 2 – интервальное значение прогноза ($Q \pm \sigma_Q$)

Рассчитаем значения функций распределения прогнозируемого количества контейнеров $F(Q)$ при условии, что она подчиняется нормальному закону

$$F_1(Q_i) = \frac{1}{\sigma_Q \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(Q_i - Q)^2}{2 \cdot \sigma_Q^2}} \quad (7.35)$$

где Q_i – величина середины i -го интервала;

Например, для $Q_i = 9$ контейнеров, получим

$$F_1(Q_i) = \frac{1}{1 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(9-12)^2}{2 \cdot 1^2}} = 0,004.$$

Напомним, что

$$F_1(Q_i) = \int_{Q_i - \frac{\Delta Q}{2}}^{Q_i + \frac{\Delta Q}{2}} f(x) dx = \Delta Q_i f(\bar{Q}_i) \quad (7.36)$$

Результаты расчетов $F_1(Q_i)$ приведены в табл.7.8.

Таблица 7.8
Комбинированный прогноз вероятностей количества контейнеров

Количество контейнеров, Q_i , шт.	Прогноз вероятностей (по динамическому ряду) $F(Q_i)$	Экспертные оценки		Комбинированный прогноз вероятностей $F^*(Q_i)$
		Ранжированный ряд	Прогноз вероятностей $F(Q_{эi})$	
9	0,004	2	0,238	0,082
10	0,054	1	0,286	0,131
11	0,242	3	0,190	0,224
12	0,398	4	0,143	0,312
13	0,242	5	0,095	0,192
14	0,054	6	0,043	0,050
Суммы	0,994		0,995*	0,991*

Примечание: погрешности расчета ($\Sigma F(Q_i) < 1$) связаны с тем, что учтены не все интервалы, а также из-за вычисления с округлением.

Для прогноза с помощью метода экспертного опроса составим ряд вероятного числа контейнеров. В качестве экспертов были привлечены пять менеджеров из автотранспортных и экспедиторских фирм. Наиболее предпочтительный вариант оценивался одним баллом, наименее – шестью баллами. Итоги опроса экспертов приведены в табл. 7.9.

С учетом суммы баллов присвоим новые ранжированные номера i каждому числу контейнеров (столбец 3, табл.7.8) и по формуле (7.30) рассчитаем соответствующие вероятности $F(Q_{эi})$.

Например, для первой строки табл. 7.8 при $i = 2$ находим

$$F(Q_{э2}) = \frac{2 \cdot (6 - 2 + 1)}{6 \cdot (6 + 1)} = 0,238,$$

для второй строки $i = 1$, $F(Q_{э1}) = 0,286$ и т.д.

Плотности распределения прогнозного количества контейнеров для двух вариантов приведены на рис. 7.9.

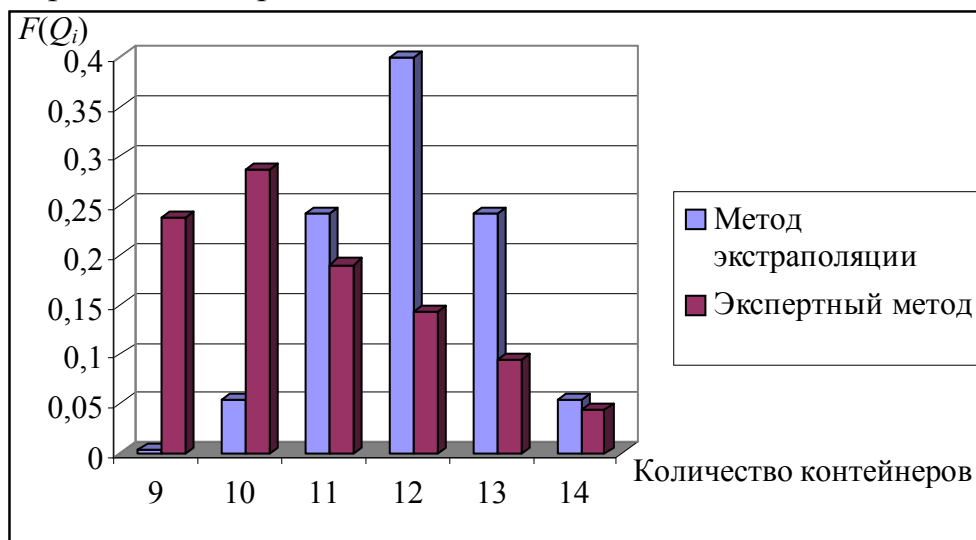


Рис. 7.9. Вероятности прогнозного количества вывозимых контейнеров

Рассчитаем статистические параметры экспертного прогноза с использованием формул для среднего значения

$$\bar{Q}_9 = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot F(Q_{9i}), \quad (7.37)$$

и среднего квадратического отклонения

$$\sigma_{Q_9} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_9) \cdot F(Q_{9i})}, \quad (7.38)$$

— Так, подставляя данные табл. 7.8, находим

$$Q_9 = 9 \cdot 0,238 + 10 \cdot 0,286 + 11 \cdot 0,190 + 12 \cdot 0,143 + 13 \cdot 0,095 + 14 \cdot 0,043 = 10,65$$

По формуле (7.38) находим $\sigma_{Q_9} = 1,43$.

Определим весовые коэффициенты комбинированного прогноза по формуле (7.31):

$$\mu_1 = \frac{2,059}{1 + 2,059} = 0,66; \quad \mu_2 = 0,33$$

Таблица 7.9

Результаты опроса экспертов о прогнозном количестве контейнеров на 2003 г

Количество контейнеров Q_i , шт	Эксперты					Сумма баллов
	1	2	3	4	5	
9	1	3	2	4	2	12
10	2	1	1	1	3	8
11	3	2	4	5	1	15
12	4	5	5	2	4	20
13	5	4	3	6	5	23
14	6	6	6	3	6	27

Рассчитаем статистические параметры среднемесячного количества контейнеров в 2003 г. по результатам экстраполяционного и экспертного прогнозов:

среднее значение

$$Q^* = \mu_1 \cdot \bar{Q} + \mu_2 \cdot \bar{Q}_9 = 0,66 \cdot 12,00 + 0,33 \cdot 10,65 = 11,73$$

среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{Q^*} = \sqrt{(\mu_1 \cdot \sigma_{\bar{Q}})^2 + (\mu_2 \cdot \sigma_{Q_9})^2} = \sqrt{(0,66 \cdot 1)^2 + (0,33 \cdot 1,43)^2} = 0,84$$

Следовательно, по данным комбинированного прогноза можно принять среднее количество контейнеров равным 12 штук в месяц.

В заключение, рассчитаем вероятности состояний «природы» $F^*(Q_i)$, необходимых для выбора наилучшей стратегии по формуле (7.32). Например, для первой строки табл. 7.8 находим

$$F^*(Q_i) = 0,66 \cdot 0,004 + 0,33 \cdot 0,238 = 0,082.$$

Поскольку экспертный опрос может быть выполнен практически в любое время, то в сочетании с экстраполяционным методом описанная методика дает более гибкий вариант комбинированного краткосрочного прогноза по сравнению с другими подходами.

8. Определение количества и координат складов в регионе

8.1 Определение месторасположения склада

Для решения одной из фундаментальных логистических задач – определения месторасположения распределительного склада в регионе необходимо знать:

- месторасположение (координаты x_i, y_i) фирм-производителей и потребителей (клиентов) данной продукции;
- объемы поставок продукции (Q_i);
- маршруты доставки (характеристику транспортной сети);
- затраты (или тарифы) на транспортные услуги (T_i).

В зависимости от выбранного критерия оптимизации и учета расстояний между поставщиками, потребителями и складом рассматриваются следующие типовые случаи.

Первый вариант [25 и др.]. Месторасположение распределительного склада определяется в виде координат центра тяжести грузовых потоков по формулам:

$$A_x = \frac{\sum Q_i x_i}{\sum Q_i}, \quad (8.1)$$

$$A_y = \frac{\sum Q_i y_i}{\sum Q_i}, \quad (8.2)$$

где: A_x, A_y – координаты распределительного склада, км;

Q_i – объем (вес) груза, т;

x_i, y_i – соответственно расстояние от начала осей координат до расположения поставщика или клиента, км.

Второй вариант [20]. Месторасположение склада определяется как «центр равновесной системы транспортных затрат». Расчет координат склада производится по формулам:

$$A_x = \frac{\sum T_i x_i Q_i}{\sum T_i Q_i}, \quad (8.3)$$

$$A_y = \frac{\sum T_i y_i Q_i}{\sum T_i Q_i}, \quad (8.4)$$

где T_i - транспортный тариф для i -го поставщика или потребителя (клиента), руб./т.км.

Суммирование в формулах (8.1) - (8.4) производится от $i = 1$ до m , где m - общее количество поставщиков и потребителей.

Очевидно, что при $T_i = const.$, формулы (8.1), (8.2) и (8.3), (8.4) совпадают.

С другой стороны, транспортные тарифы T_i в формуле (8.3), (8.4) играют роль весовых коэффициентов, которые могут принимать различные значения и, следовательно, расширяют возможности учета различных факторов по сравнению с формулами (8.1), (8.2). Однако, не следует забывать, что тарифы функционально связаны с грузооборотом (т.км) и объемом перевозок (т), поэтому их упрощенный учет в расчетных зависимостях требует дополнительного обоснования, либо введения более сложных зависимостей.

Рассмотрим пример расчета координат склада по первому и второму вариантам. Исходные данные о координатах расположения поставщиков P_i и клиентов K_i приведены в табл.8.1; также представлены вспомогательные расчеты. При подстановке значений в формулы (8.1),(8.2) находим

$$A_x = \frac{390625}{1300} = 300 \text{ км,}$$

$$A_y = \frac{555625}{1300} = 427 \text{ км.}$$

Второй вариант расчета, формулы (8.3), (8.4) дает

$$A_x = \frac{320125}{1055} = 303 \text{ км,}$$

$$A_y = \frac{422625}{1055} = 400 \text{ км.}$$

Приведенные на рис.8.1 местоположение складов показывают, что в данном конкретном случае их координаты различаются незначительно.

Таблица 8.1

Определение координат склада

Исходные данные				По формулам (8.1), (8.2)		По формулам (8.3), (8.4)		
x_i	y_i	T_i	Q_i	$x_i Q_i$	$y_i Q_i$	$T_i x_i Q_i$	$T_i Q_i$	$T_i y_i Q_i$
0	575	0,8	300	0	172500	0	240	138000
300	500	0,5	250	75000	125000	37500	125	62500
550	600	0,6	150	82500	90000	49500	90	54000
150	125	1	150	22500	18750	22500	150	18750
275	300	1	75	20625	22500	20625	75	22500
400	275	1	125	50000	34375	50000	125	34375
500	100	1	100	50000	10000	50000	100	10000
600	550	1	150	90000	82500	20000	150	82500
Суммы			1300	390625	555625	320125	1055	422625

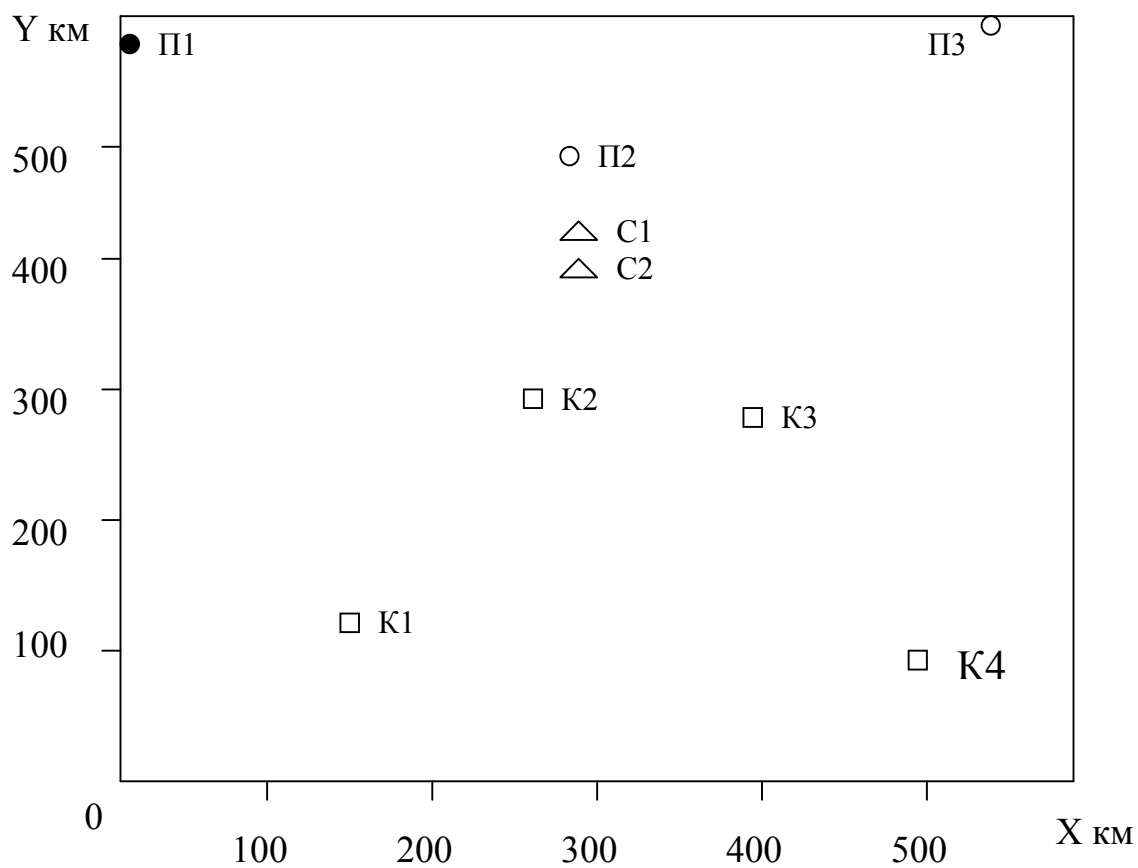


Рис.8.1 Расположение поставщиков П, клиентов К и складов: С₁ - первый вариант; С₂ - второй вариант.

Третий вариант [23, 28]. Координаты склада определяются исходя из условия, что сумма расстояний от данных точек m с учетом спроса Q_i до точки (x,y) - координат склада- была минимальной. Целевая функция записывается в виде:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^m Q_i \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \rightarrow \min \quad (8.5)$$

где a_i, b_i - координаты i -го поставщика или потребителя.

Принципиальное отличие третьего варианта заключается в том, что, во-первых, он сформулирован как классическая оптимизационная задача, во-вторых, расстояние между складом и другими объектами определяется как «гипотенуза», тогда как в задачах первом и втором вариантах рассматриваются расстояния по осям X и Y .

Для нахождения координат склада используется аналитический метод, согласно которому на первом этапе определяется система из 2-х уравнений в виде частных производных функций $P(x,y)$.

$$\frac{\partial P(x, y)}{\partial X} = 0; \quad \frac{\partial P(x, y)}{\partial Y} = 0 \quad (8.6)$$

Поскольку решение данной системы затруднено, на втором этапе используется итерационный метод. Так первое приближение для $x^{(1)}$ рассчитывается по формуле:

$$x^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i a_i}{m \bar{Q}} \quad (8.7)$$

Входящее в формулу \bar{Q} определяется из уравнения

$$\bar{Q} = \frac{(\max Q_i + \min Q_i)}{2} \quad (8.8)$$

На третьем этапе значения $x^{(l)}$ подставляется во второе уравнение системы (8.6) для частной производной по Y и находится первое приближение для $y^{(l)}$. Затем $y^{(l)}$ подставляется в уравнение для частной производной по X и находится второе приближение $x^{(2)}$ и т.д. до тех пор, пока разница итераций $P^{(k)}(x,y)$ и $P^{(k+1)}(x,y)$ не станет меньше достаточно малого положительного числа E .

Однако, попытка использовать описанный итерационный метод решения наталкивается на такие же трудности, как и аналитическое решение системы (8.6). Это нетрудно показать на следующем примере. Запишем в явном виде первое уравнение системы (8.9).

$$\frac{\partial P(x, y)}{\partial X} = \sum_{i=1}^m \frac{Q_i(X - a_i)}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}} = 0 \quad (8.9)$$

Допустим, что $m=2$, $ax^{(l)}$ рассчитано по формуле (8.7)

Тогда, для нахождения $y^{(l)}$ надо решить уравнение:

$$\frac{Q_1(y - b_1)}{\sqrt{(x^{(l)} - a_1)^2 + (y - b_1)^2}} + \frac{Q_2(y - b_2)}{\sqrt{(x^{(l)} - a_2)^2 + (y - b_2)^2}} = 0 \quad (8.10)$$

После преобразований получим кубическое уравнение для определения $y^{(l)}$: очевидно, что с увеличением m расчетные формулы усложняются, следовательно, использование итерационного подхода не упрощает поиск координат склада.

Рассмотрим подход, основанный на непосредственном поиске минимума функции (8.5). Исходные данные для расчетов приведена в табл.8.1.

Для примера рассчитаем величину транспортной работы при перевозках от производителей на склад и со склада клиентам, выбрав в качестве координат склада следующие значения:

$x_1=250$ км, $y_1 = 425$ км. Тогда по формуле (8.5) для первого поставщика ($a_1 = 300$ км, $b_1 = 575$ км) находим:

$$P = 300\sqrt{(300 - 250)^2 + (575 - 425)^2} = 87300 \text{ т.км.}$$

Результаты расчетов $P(x_1, y_1)$ для всех поставщиков и клиентов приведены в табл. 8.2: $P(x_1, y_1) \approx 342$ тыс.км

Таблица 8.2

Определение транспортной работы при координатах склада

$$x_1 = 250 \text{ км}, y_1 = 425 \text{ км}$$

Q _i , Т	Координаты, км		$R_i = \sqrt{(x_1 - a_i)^2 + (y_1 - b_i)^2}$, км	Q _i R _i , т.км.
	a _i	b _i		
300	0	575	291	87300
250	300	500	90	22500
150	550	600	347	52050
150	150	125	316	47400
75	275	300	127	9525
125	400	275	212	26500
100	500	100	410	41000
150	600	550	371	55650
<i>Сумма</i>				341925

Расчеты были выполнены в виде трех блоков. В первый блок вошли расчеты для пяти точек (рис.8.2), координаты которых и результаты расчетов приведены в табл. 8.3.

Анализ результатов позволил выявить направление поиска координат склада (второй блок, три точки), изменив его вдоль координаты $x = 300$ км. Наконец, минимальное значение транспортной работы оказалось равным $P = 329950$ т.км. (при принятом в расчетах шаге $\Delta = 25$ км), что соответствует координатам склада: $x = 300$ км; $y = 500$ км.

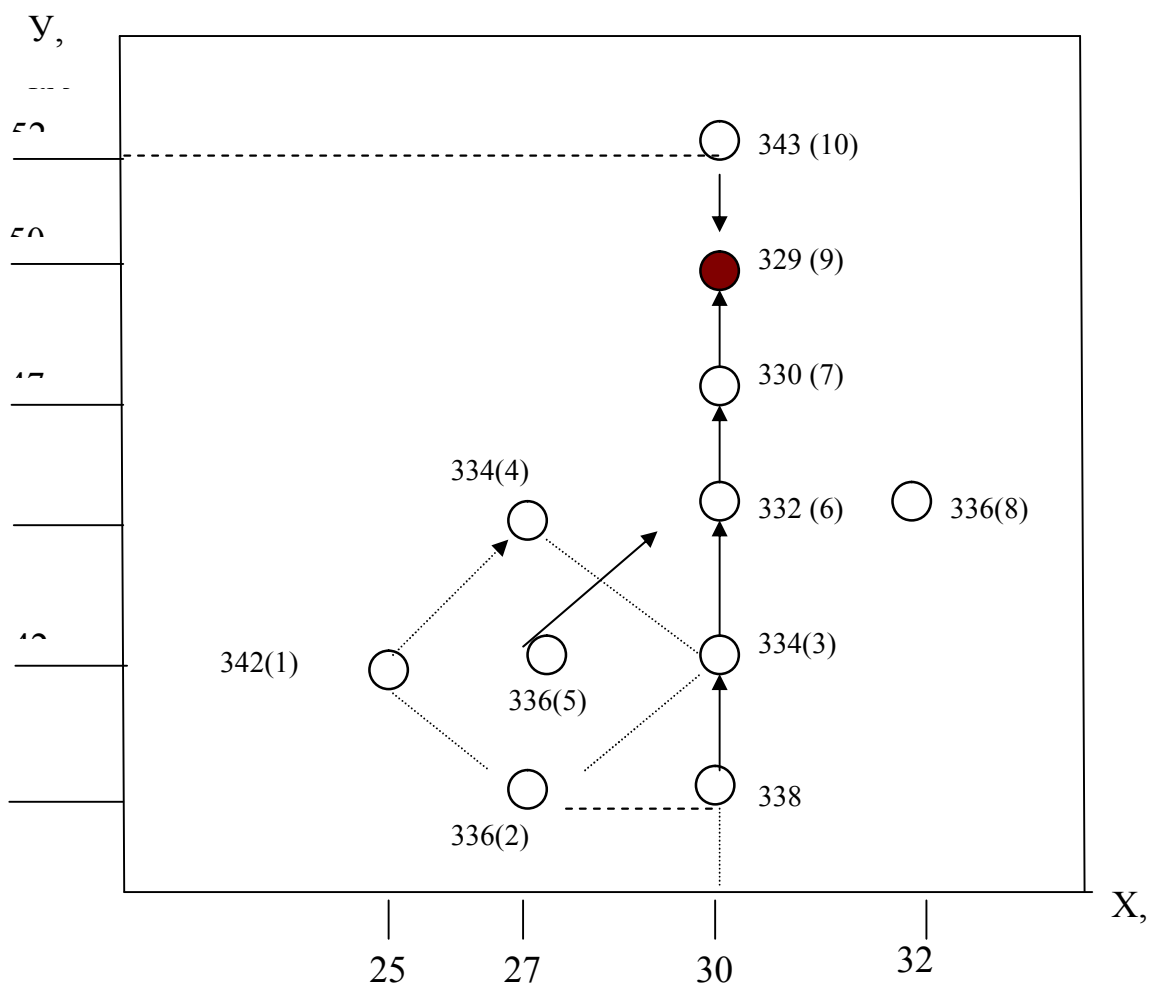


Рис.8.2 Графическая интерпретация поиска минимума функции $P(x, y)$:
 342(1) – транспортная работа в тыс.км (номер варианта расчета в табл.8.3)

Таблица 8.3
 Определение координат склада (численный метод)

Расчетный блок	Вариант	Координаты склада		$P(x, y)$, т.км
		x	y	
I	1	250	425	342200
	2	275	400	336170
	3*	300	425	334200
	4	275	450	333360
	5	275	425	336800
	6	300	450	331700

II	7	300	475	330030
	8	325	450	336100
III	9**	300	500	329950
	10	300	525	343400
Примечания: * вариант, соответствующий координатам «центра тяжести»; ** минимальное значение $P(x, y)$ из приведенных в таблице.				

Следует подчеркнуть, что разница значений $P(x, y)$ между 6 и 7 вариантами составляет 0,46%, а между 9 и 7 – 0,1%. С одной стороны это затрудняет поиск минимума функции $P(x, y)$, с другой стороны говорит о том, что минимум $P(x, y)$ при заданном выражении целевой функции соответствует область значений, незначительно отличающихся друг от друга. Таким образом, с небольшой погрешностью координаты склада могут быть выбраны внутри этой области, что позволяет учесть всевозможные и часто противоречивые ограничения: административные, правовые и т.п.

Заметим, что для поиска минимума $P(x, y)$ можно воспользоваться ускоренным алгоритмом, суть которого сводится к итерационному процессу расчета координат склада по формулам:

$$\bar{x}_{j+1} = \left(\sum_{i=1}^m Q_i a_i / R_{i,j} \right) / \sum_{i=1}^m Q_i / R_{i,j}, \quad (8.11)$$

$$\bar{y}_{i+1} = \left(\sum_{i=1}^m Q_i b_i / R_{i,j} \right) / \sum_{i=1}^m Q_i / R_{i,j}, \quad (8.12)$$

где

$$R_{i,j} = \sqrt{(a_i - \bar{x}_{j-1})^2 + (b_i - \bar{y}_{j-1})^2} \quad (8.13)$$

Вывод зависимостей (8.11), (8.12) покажем на примере первой из них. За основу берутся частные производные $dP(x, y)/dx$ и $dP(x, y)/dy$, см. формулу (8.6). После суммирования, находим

$$\sum_{i=1}^m \frac{Q_i a_i}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}} - X \sum_{i=1}^m \frac{Q_i}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}} = 0$$

Решая уравнение относительно X , получим формулу, представляющую собой итерационное выражение

$$x_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{Q_i a_i}{\sqrt{(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2}}}{\sum_{i=1}^m \frac{Q_i}{\sqrt{(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2}}} \quad (8.14)$$

Таблица 8.4

Определение координат склада (первая итерация ускоренного алгоритма)

Q_i	a_i	b_i	$(a_i-300)^2$	$(b_i-425)^2$	R_i	Q_i/R_i	$Q_i a_i/R_i$	$Q_i b_i/R_i$
					i			
300	0	575	90000	22500	335	0,895	0	515,9
250	300	500	0	5625	75	3,333	999,9	1666,5
150	550	600	62500	30625	305,2	0,491	270,3	294,6
150	150	125	22500	90000	335	0,448	67,2	56,0
75	275	300	625	15625	127,5	0,588	161,8	176,4
125	400	275	10000	22500	180,3	0,693	277,3	190,6
100	500	100	40000	105625	385,6	0,262	131,0	26,2
150	600	550	90000	15625	325	0,461	276,6	253,5
<i>Суммы</i>						7,171	2184,1	3179,9

Расчет начинается с первого шага при $\bar{x}_j = \bar{x}_0$ и $y_i = \bar{y}_0$, определяемых по формулам (8.1), (8.2) для координат «центра тяжести»

При подстановке $x_0 = 300$ км, $y_0 = 425$ км по формулам (8.11), (8.12), рассчитываем значения сумм (табл.8.4) и находим первое приближение:

$$\bar{x}_1 = \frac{2184,9}{7,174} = 303 \text{ км}; \quad \bar{y}_1 = \frac{3179,9}{7,171} = 440 \text{ км}$$

Второе приближение для координат склада:

$$\bar{x}_2 = 305 \text{ км}; \quad \bar{y}_2 = 460 \text{ км}$$

Транспортная работа для второй итерации:

$$P(\bar{x}_2, \bar{y}_2) = 330\,900 \text{ т.км.}$$

В заключение сопоставим варианты расчетов координат склада при использовании различных подходов, табл.8.5

Транспортная работа рассчитывалась по формуле (8.5), исходные данные для расчета приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.5

Сопоставление результатов расчета координат склада

Вариант расчета	Координаты склада, км		P* (x, y), т.км.
	x	y	
Формула (1)	300	427	334200*
Формула (2)	303	400	338250
Формула(3)			
- численный метод поиска минимума;	300	500	329950
- ускоренный алгоритм поиска, формулы (8.11), (8.12).	305	460	330900
Примечание: при расчетах P(x, y) координаты x, y округлены до значений кратных $\Delta = 25$ км.			

Анализ результатов позволяет констатировать, что в рассматриваемом условном примере наблюдается незначительная разница значений транспортной работы, рассчитанной при различных подходах к определению координат склада, тогда как сами координаты, в частности по оси y, различаются существенно.

В работе [2] помимо приведенных формул даны итерационные зависимости для определения координат склада x и y по критерию «часы-тонны-километры», в котором помимо объемов перевозных грузов Q_i и расстояний R_{ij} учитывается время перевозки t_{ij} . Считается, что в этом случае координаты склада будут выбраны с минимальными издержками на транспортировку. Однако, данное утверждение требует, на наш взгляд, проведения соответствующих расчетов и сравнительного анализа с другими вариантами.

8.2 Транспортная составляющая логистических издержек в зависимости от количества складов в регионе

Одна из наиболее интересных задач теории логистики – определение количества складов в регионе и координат их расположения. Предполагается, что известны:

- координаты поставщиков (x_i, y_i) и потребителей (x_j, y_j);
- объемы производимой (Q_i) и потребляемой клиентурой (P_j) продукции;
- даны характеристики транспортной сети региона (например, для крупного города имеется сеть дорог, позволяющих осуществлять перевозки между поставщиками, потребителями и складами, количество и расположение которых требуется определить).

Данной задаче уделено много внимания в работах зарубежных и отечественных специалистов. Так, в ряде изданий приводятся графики для отдельных составляющих и обобщенных логистических издержек от количества складов (рис.8.3). Считается, что транспортные затраты и упущенная выгода от продаж уменьшаются с увеличением количества складов, тогда как расходы на содержание запасов, эксплуатацию складского хозяйства и управление складской системой возрастают. Наличие указанных противоречивых тенденций приводит к тому, что зависимость общих затрат на функционирование системы распределения от количества складов имеет параболический характер с явно выраженным оптимумом. К сожалению, отсутствие соответствующих формул и количественных характеристик не позволяет проводить необходимые расчеты; т.е. вышеуказанные зависимости носят качественный характер, основанный на логике и здравом смысле.

Другое направление, связанное с решением рассматриваемой задачи, может быть охарактеризовано как аналитическое. В этом случае целевая функция для решения оптимального количества складов представляет собой так называемую транспортно-производственную задачу, решение которой предполагает использование алгоритма «комбинаторного поиска последовательных оценок вариантов» [23] или методов динамического

программирования. Однако, как и в первом случае, отсутствие примеров расчетов говорит о необходимости дальнейших исследований.

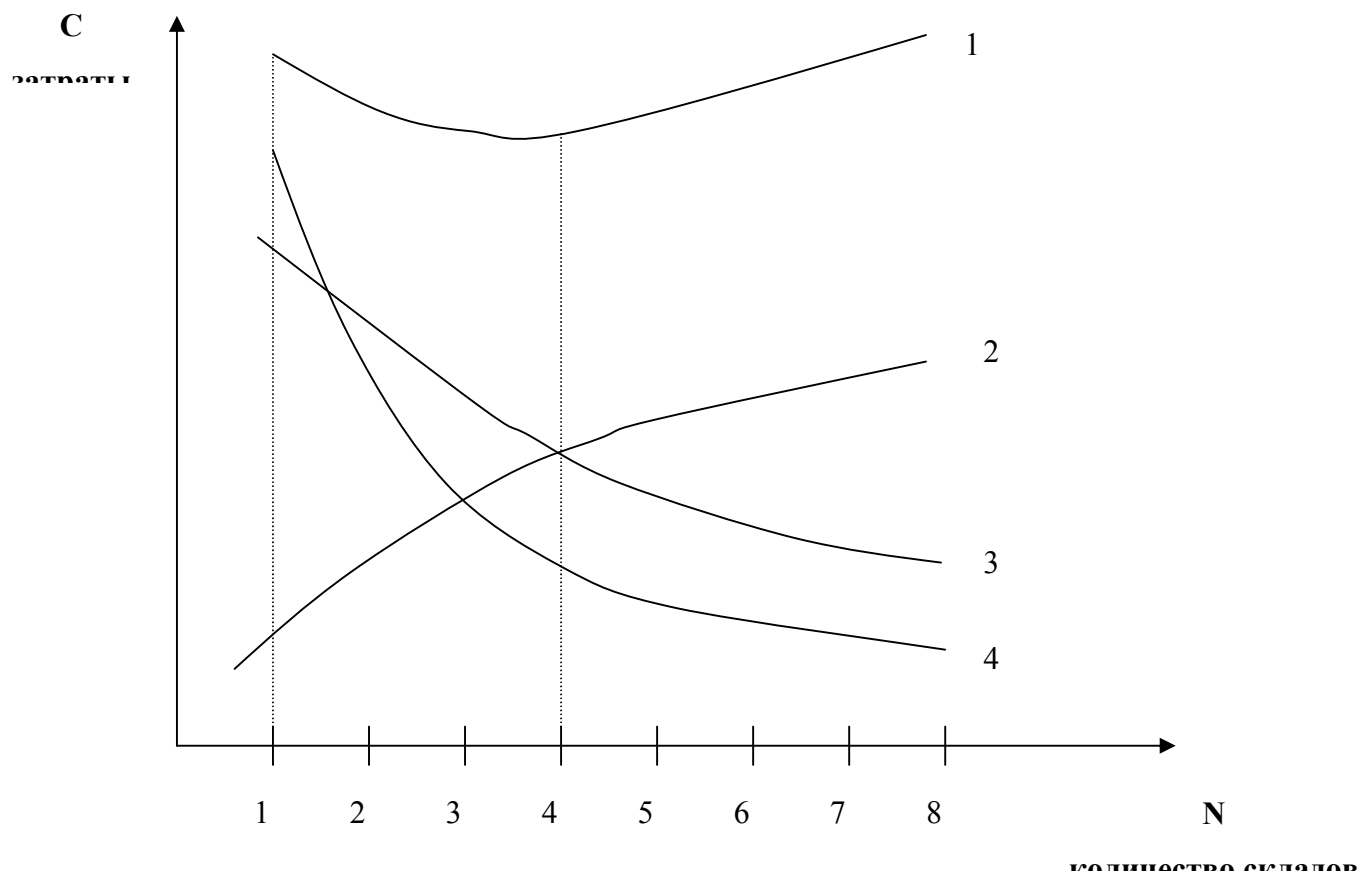


Рис. 8.3 Зависимость совокупных затрат на функционирование системы распределения от количества складов.

- 1 - совокупные затраты;
- 2 - затраты на хранение запасов, эксплуатацию складов и на управление системой распределения;
- 3 - общие затраты по доставке товаров;
- 4 - потери из-за удаленности склада от потребителя.

Учитывая важность транспортной составляющей в общих издержках, нами были проведены расчеты для конкретных ситуаций расположения поставщиков и потребителей в регионе. Каждый расчет включил следующие варианты.

Первый вариант – отсутствие складов. В этом случае решается классическая транспортная задача закрепления n потребителей за m

поставщиками. Расстояние между объектами определяется как корень квадратный из суммы квадратов разностей их координат, см. формулу (8.5). Для распределения объемов перевозок используется ускоренный алгоритм Фогеля с последующим поиском оптимального варианта – минимума транспортной работы методом потенциалов.

Второй вариант – один склад. При определении координат склада используется алгоритм численного поиска с минимизацией транспортной работы (см. раздел 8.1).

Третий вариант – два и более складов в распределительной сети региона.

Особенности расчетов задач третьего варианта характеризуется тем, что, во-первых, вводится условие о примерном равенстве мощностей складов. Если мощности складов могут варьироваться, то задача становится многокритериальной.

Во-вторых, расстояние между складами по оси X (или Y) не должно быть меньше определенной величины. Если не ввести это искусственное ограничение, то возможно вырождение общей задачи поиска искомой зависимости транспортных издержек от количества складов при оптимальном варианте.

Рассмотрим итерационный алгоритм поиска координат на примере 2-х складов.

Первый этап. Выбираются координаты первого и второго складов, затем решается транспортная задача (см. первый вариант) при наличии m поставщиков и 2-х потребителей (склады).

Второй этап. Вновь решается транспортная задача, но при условии 2-х поставщиков (склады) и n потребителей.

Третий этап. Результаты расчетов транспортной работы для первого и второго этапа суммируются и фиксируются в качестве первого приближения.

Четвертый этап. По выбранному правилу меняются координаты складов и повторяются расчеты первого – третьего этапов. Поиск вариантов координат

складов прекращается в случае, когда разница величин транспортной работы двух последовательных итераций становится меньше заданной величины.

В табл.8.6 для примера приведены результаты расчетов транспортной работы. Анализ данных позволяет сделать следующие выводы:

1. В реальных логистических распределительных сетях транспортная работа и транспортные издержки не всегда уменьшаются по гиперболической зависимости при увеличении количества складов в регионе.

2. Исследования по поиску решений задачи определения количества складов в регионе должны быть продолжены, при этом расчет транспортной составляющей общих логистических издержек может быть выполнен на основе предложенного алгоритма.

Таблица 8.6

Результаты расчетов транспортной работы при разном количестве складов в регионе *

Количество складов	Координаты склада, км; загрузка, т.	Транспортная работа, т.км.
Нет складов	-	249 500
Один склад	$x_A = 320$ км, $y_A = 370$ км	388 230
Два склада **	1 вариант : - склад А: $x_A = 200$ км, $y_A = 300$ км; 300 т; склад В: $x_B = 400$ км, $y_B = 300$ км, 400т.	334 250
	2 вариант : - склад А: $x_A = 300$ км, $y_A = 200$ км, 300 т; склад В: $x_B = 300$ км, $y_B = 400$ км, 400т.	343 875
Три склада ***	склад А: $x_A = 200$ км, $y_A = 400$ км, 200 т. склад В: $x_B = 300$ км, $y_B = 200$ км, 300т. склад С: $x_C = 400$ км, $y_C = 400$ км, 200т.	343 150

Примечания:

*исходные данные с незначительной корректировкой взяты из [11];

** приведены результаты после нескольких итераций;

*** приведен один из вариантов.

8.3 Алгоритм оценки влияния размещения складской сети на транспортные расходы

Рассмотренный в предыдущем разделе подход к оценке транспортной составляющей логистических издержек при выборе количества и расположения складов в регионе представляет собой принципиально новое направление исследований: при количестве складов больше двух традиционно транспортная задача решается дважды - сначала от m поставщиков к k складам, затем от k складов к n потребителям.

С целью обработки предложенного подхода были проведены дополнительные расчеты с использованием алгоритма, блок-схема которого приведена на рис.8.4 [14]. Рассмотрим подробнее этапы расчета.

Этап 1. Решение задачи оптимального закрепления потребителей за поставщиками однородной продукции при прямых поставках.

Если расположение поставщиков и потребителей задано координатами их размещения на плоскости, то кратчайшие расстояния между поставщиками и потребителями L_{ij} , км могут быть определены по формуле:

$$L_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (8.15)$$

где x_i, y_i – координаты поставщика;

x_j, y_j – координаты потребителя.

Поскольку минимизируется транспортная работа P , ткм, то целевая функция имеет вид:

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_{ij} * Q_{ij} * W_{ij} \rightarrow \min, \quad (8.16)$$

где $i=(1, \dots, m)$ – поставщики;

$j=(1, \dots, n)$ – потребители;

Q_{ij} – объем груза, перевозимого от i -го поставщика к j -му потребителю, т;

W_{ij} – произведение весовых долей i -го поставщика и j -го потребителя.

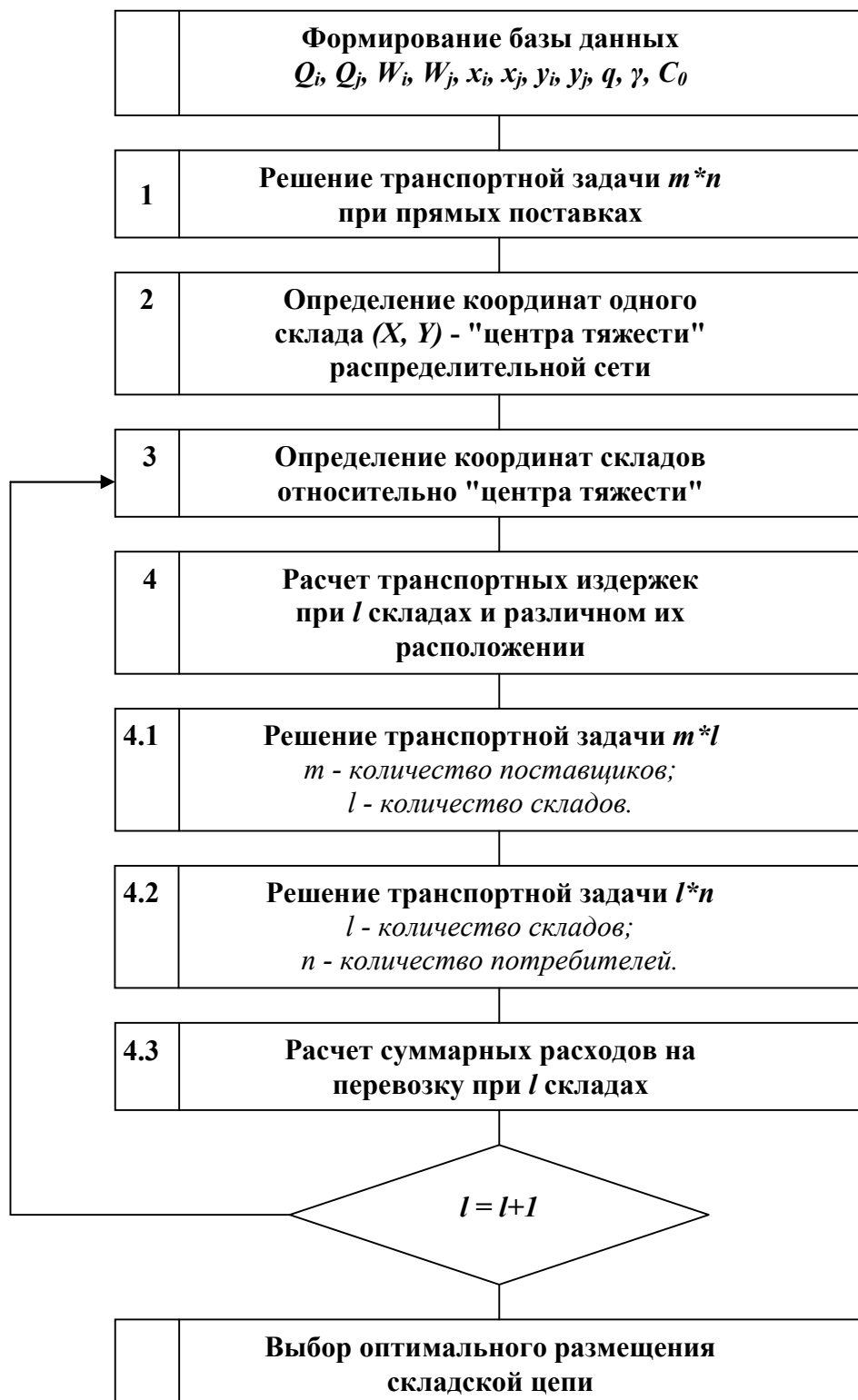


Рис.8.4 Алгоритм определения транспортных расходов для различного количества складов

При проектировании распределительной сети часто требуется учесть дополнительные факторы, влияющие на план оптимального закрепления потребителей за поставщиками, например, невозможность прямых транзитных поставок от i -го поставщика к j -му потребителю или приоритетность j -го потребителя по отношению к другим. Названные факторы учитываются весовыми долями i -го поставщика W_i и j -го потребителя W_j .

Расчет суммарных расходов на перевозку S производится по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_{ij} * L_{ij} * C_0, \quad (8.17)$$

где Z_{ij} – количество груженых ездов от i -го поставщика к j -му потребителю;
 C_0 – тариф на перевозку, у.е./км.

Количество груженых ездов Z_{ij} рассчитывается следующим образом:

$$Z_{ij} = Q_{ij} / q_{ij} * \gamma_{ij}, \quad (8.18)$$

где q_{ij} – номинальная грузоподъемность подвижного состава, используемого при перевозке от i -го поставщика к j -му потребителю, т;
 γ_{ij} – коэффициент использования грузоподъемности подвижного состава, используемого при перевозке от i -го поставщика к j -му потребителю.

Этап 2. Решение задачи позиционирования склада.

При решении задачи позиционирования склада целевая функция имеет вид:

$$P = \sum_{i=1}^m L_i * Q_i * W_i + \sum_{j=1}^n L_j * Q_j * W_j \rightarrow \min \quad (8.19)$$

где L_i, L_j – соответственно расстояние от склада до i -го поставщика и до j -го потребителя;

Q_i, Q_j – соответственно объем груза перевозимый на склад от i -го

поставщика и со склада до j -го потребителя.

Расстояние от склада до i -го поставщика или j -го потребителя находится по формуле (1), где $X=x_i, Y=y_i$ – искомые координаты склада, при которых достигается минимум целевой функции (8.19).

Транспортные расходы рассчитываются по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^m Z_i * L_i * C_0 + \sum_{j=1}^n Z_j * L_j * C_0, \quad (8.20)$$

где Z_i, Z_j – соответственно количество ездов от i -го поставщика до склада и от склада до j -го потребителя.

Этап 3. Определение координат складов относительно «центра тяжести».

Принимают найденные координаты склада X и Y в качестве «центра тяжести» размещения складской сети и устанавливают правила нахождения координат складов относительно «центра тяжести». Расстояние от складов до «центра тяжести» определяют по правилу:

- определяют расстояния между координатами максимально удаленных друг от друга пунктов

$$\begin{aligned} \Delta X &= \max(x_i, x_j) - \min(x_i, x_j), \\ \Delta Y &= \max(y_i, y_j) - \min(y_i, y_j), \end{aligned} \quad (8.21)$$

где x_i, y_i – координаты поставщиков;

x_j, y_j – координаты потребителей.

- выбирают минимальное расстояние и определяют радиус окружности R , на которой диаметрально располагаются склады

$$\begin{aligned} \Delta &= \min(\Delta X, \Delta Y), \\ R &= 0.1 * \Delta, \end{aligned} \quad (8.22)$$

- склады располагают сначала горизонтально, а затем вертикально относительно осей координат;
- первоначально принятый радиус $R = 0,1\Delta$ увеличивают до $0,2\Delta$, затем до $0,3\Delta$ и т.д.

Этап 4. Расчет минимальных суммарных расходов на перевозку при различном расположении складов.

При наличии двух и более складов целевая функция имеет вид:

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l L_{ik} * Q_{ik} * W_{ik} + \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n L_{kj} * Q_{kj} * W_{kj} \rightarrow \min, \quad (8.23)$$

где $i=(1, \dots, m)$ – поставщики;

$k=(1, \dots, l)$ – склады;

$j=(1, \dots, n)$ – потребители;

L_{ik}, L_{kj} – соответственно расстояние от i -го поставщика до k -го склада и от k -го склада до j -го потребителя;

Q_{ik}, Q_{kj} – соответственно объемы перевозок грузов от i -го поставщика до k -го склада и от k -го склада до j -го потребителя;

W_{ik}, W_{kj} – соответственно произведение весовых долей i -го поставщика и k -го склада, k -го склада и j -го потребителя.

Расстояния от i -го поставщика до k -го склада и от k -го склада до j -го потребителя вычисляются по формуле (1).

Суммарные расходы на перевозку рассчитываются по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l Z_{ik} * L_{ik} * C_0 + \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n Z_{kj} * L_{kj} * C_0, \quad (8.24)$$

где Z_{ik}, Z_{kj} – соответственно количество груженых ездов от i -го поставщика до k -го склада и от k -го склада до j -го потребителя.

Количество груженых ездов вычисляется по формуле (8.18).

По приведенному выше алгоритму было проведено моделирование размещения складской сети и оценка ее влияния на транспортные расходы. Все расчеты были проведены в Excel с помощью средства «Поиск решения». Расчеты были проведены для двух вариантов. В первом варианте доставка грузов от поставщиков на склады и развозка его со складов потребителям производится однотипным подвижным составом, имеющем грузоподъемность q равную 10 т, при $\gamma = 1$. Во втором варианте доставка грузов от поставщиков на склады и от поставщиков потребителям при прямых поставках

осуществляется подвижным составом, имеющем грузоподъемность q равную 10 т, при $\gamma = 1$, а развозка его потребителям производится малотоннажным подвижным составом, имеющим грузоподъемность q равную 1,5 т, при $\gamma = 1$. Величина тарифа на перевозку C_0 при осуществлении перевозки крупнотоннажным подвижным составом принята равной 1,3 у.е., а при перевозках малотоннажным подвижным составом – 0,4 у.е. Во всех вариантах значение W_{ij} принято равным 1. Исходные данные для расчета представлены в табл.8.7.

Таблица 8.7

Исходные данные для расчета

№ п/п	Поставщики			Потребители		
	Объем предложения, т	Координаты, км		Объем спроса, т	Координаты, км	
		Q_i	x_i		y_i	Q_j
1	100	200	125	100	575	400
2	50	300	400	50	400	100
3	150	550	300	150	400	250
4	150	150	725	150	700	600
5	750	275	300	750	200	350
6	125	800	675	125	275	575
7	300	500	100	300	600	700
8	500	750	550	500	550	650

Результаты расчетов по первому варианту представлены в табл.8.8 и на рис.8.5.

Таблица 8.8

Результаты расчета величины транспортных расходов в зависимости от количества складов и их расположения по первому варианту

Расположение складов	Радиус	Величина транспортных расходов, у.е. при количестве складов				
		нет	1 склад	2 склада	3 склада	4 склада
Горизонтальное	0.1Δ	52409	148078	126092	125452	123671
Вертикальное		52409	148078	133599	128022	125522
Горизонтальное	0.2Δ	52409	148078	111697	110445	106461
Вертикальное		52409	148078	126225	116923	109434

Горизонтальное*	0.3Δ	52409	148078	108477	106532	114798
Вертикальное		52409	148078	128903	111843	104116
Горизонтальное	0.4Δ	52409	148078	118683	118445	114300
Вертикальное**		52409	148078	137870	114171	110587

Примечание:

* минимум транспортных расходов при 2-х и 3-х складах;

** максимум транспортных расходов при 1-м складе.

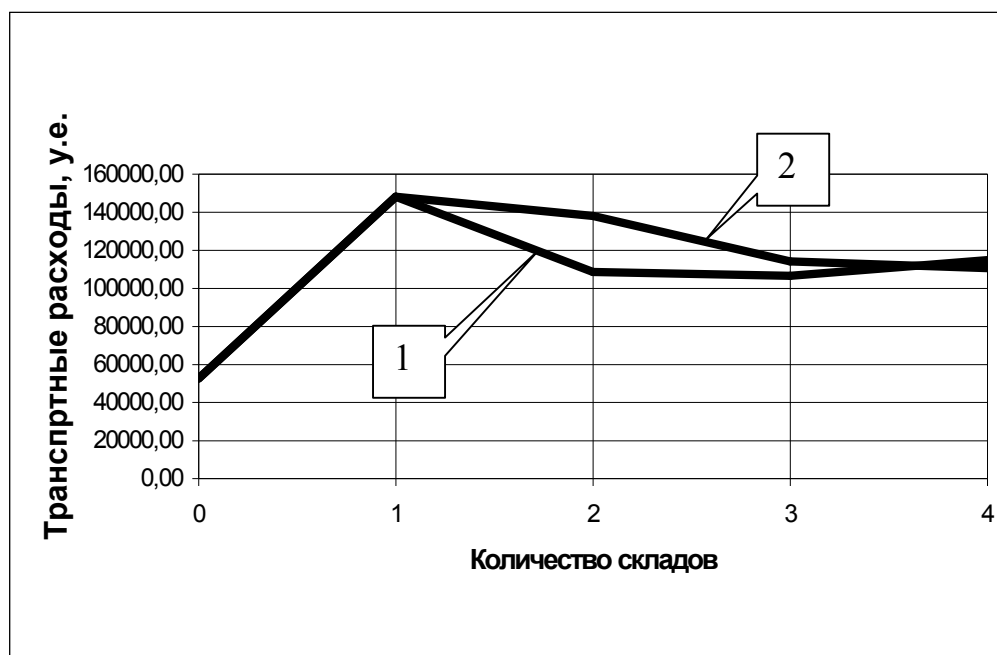


Рис. 8.5. Зависимость транспортных расходов от количества складов и их расположения по первому варианту:

1 - минимум транспортных расходов; 2- максимум транспортных расходов.

Результаты расчетов по второму варианту представлены в табл.8.9 и на рис.8.6.

Таблица 8.9

Результаты расчета величины транспортных расходов в зависимости от количества складов и их расположения по второму варианту

Расположение складов	Радиус	Величина транспортных расходов, у.е. при количестве складов				
		нет	1 склад	2 склада	3 склада	4 склада
Горизонтальное	0.1Δ	52409	222853	191227	187762	187814
Вертикальное		52409	222853	200311	193342	188478
Горизонтальное	0.2Δ	52409	222853	166286	162205	161460

Вертикальное		52409	222853	188636	174965	162833
Горизонтальное*	0.3Δ	52409	222853	160109	157616	154720
Вертикальное		52409	222853	191407	170816	153677
Горизонтальное	0.4Δ	52409	222853	177474	178676	161772
Вертикальное**		52409	222853	205101	176589	165237

Примечание:

* минимум транспортных расходов при 2-х и 3-х складах;

** максимум транспортных расходов при 1-м складе.

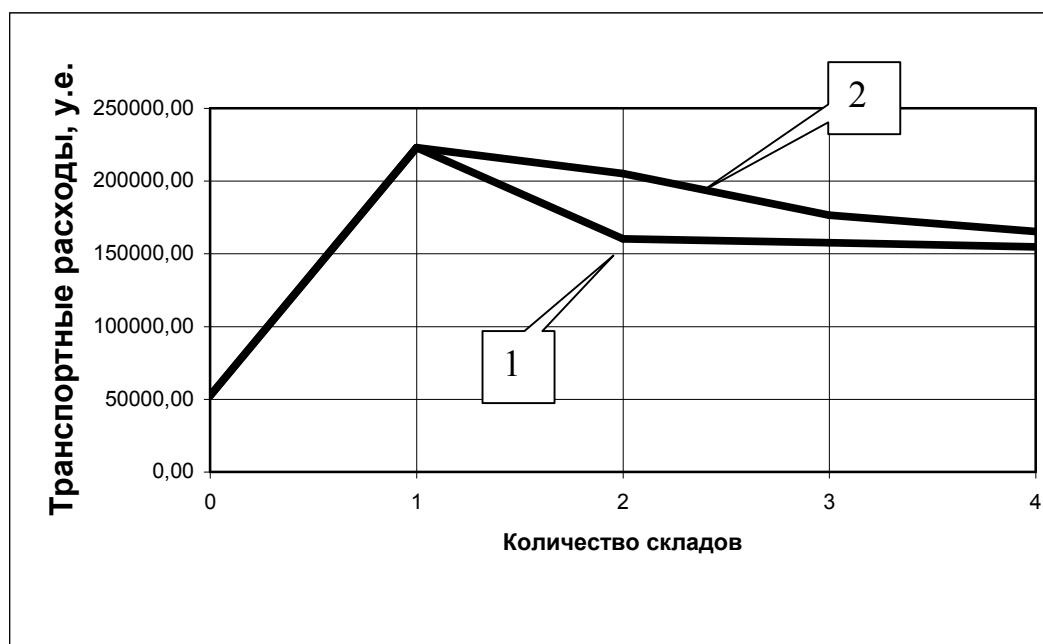


Рис. 8.6. Зависимость транспортных расходов от количества складов и их расположения по второму варианту:

1- минимум транспортных расходов; 2- максимум транспортных расходов.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) при прямых транзитных связях между производителями и потребителями величина транспортных расходов минимальна;

2) на величину транспортных расходов сильное влияние оказывает не только количество складов в распределительной сети, но и их пространственное расположение относительно поставщиков и потребителей;

3) величина транспортных расходов сильно возрастает при мелкопартионной отправке товаров со складов потребителям малотоннажным подвижным составом (сравните графики на рис.8.5 и рис.8.6);

3) для конкретной распределительной сети можно найти оптимальное количество складов, при котором величина транспортных расходов будет минимальна, но при изменении координат поставщиков и потребителей, а также координат самих складов величина транспортных расходов изменится, и надо будет искать новое решение;

4) полученные зависимости отличны от известных зависимостей суммарных расходов на транспортировку от числа складов, приведенных в литературе;

5) дальнейшие исследования должны быть направлены на построение таких алгоритмов решения задачи оптимального размещения складской сети, которые позволили бы учесть наличие одного или нескольких складов в регионе, многономенклатурность товаров, а также другие факторы, влияющие на оптимальное месторасположение складской сети.

9. Расчет текущего и страхового запаса.

9.1. Общие зависимости для расчета норм запасов.

Материальные запасы – это находящиеся на различных стадиях производства (и обращения) продукция производственно-технического назначения, изделия народного потребления и другие товары, ожидающие вступления в процесс внутреннего потребления или потребления производственного [21].

Управления запасами – важная функция логистики, которой посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых.

Управление запасами предусматривает решение двух основных задач:

- определение размеров запаса;
- разработка системы контроля за фактическим размером запаса и своевременным его наполнением.

В табл. 9.1. приведена классификация [23], отражающая основные признаки и соответствующие свойства запасов. Рассмотрим подробнее деление запасов по функциональному признаку. Согласно табл. 9.1. выделяются текущие, страховые (гарантийные), подготовительные, сезонные и другие виды запасов. Наибольший интерес с точки зрения использования моделей и методов теории логистики представляют задачи определения текущего и страхового запасов.

Напомним, что согласно терминологическому словарю [21]:

- текущий запас – это основная часть производственных (товарных) запасов, обеспечивающая непрерывность снабжения производственного процесса (оптовой торговли) между двумя очередными поставками;
- страховой или гарантийный запас, предназначенный для непрерывного снабжения производства в случае непредвиденных обстоятельств (нарушение сроков, объемов поставок и т.д.), является величиной постоянной и в нормальных условиях – неприкосновенной;



Рис. 9.1. Классификация запасов.

- нормы запасов – расчетное минимальное количество сырья и материалов, которое должно находиться у предприятий и снабженческо-сбытовых организаций для обеспечения бесперебойного снабжения производства или реализации продукции.

В табл. 9.1., 9.2. приведены формулы для расчета норм текущего и страхового производственного запаса, взятые в основном из работы А.Р. Родионова и Р.А. Родионова «Логистика: Нормирование сбытовых запасов и оборотных средств предприятия» – М.: Дело, 2002 г.

Если величины T_T и T_C выражены в днях, то для расчета нормы текущего и страхового запаса в натуральном выражении используются зависимости

Таблица 9.1.

Формулы для расчета текущей составляющей нормы производственного запаса T_T .

Автор метода, год	Расчетная формула	Обозначения
Айзенберг-Горский М.П., 1956	$T_T = \frac{T_{cp} + S_{cp}}{2} - 1$	T_{cp} - средний интервал между поставщиками, дни; S_{cp} - средний интервал между суточными отпусками, дни.
Баскин А.М., 1965	$T_T = \frac{T_{cp} - S_{cp}}{2}$	
Методика Минтянсмаша	$T_T = T_{cp} / 2 = \frac{1}{2N} \sum_i^N t_i$	
Фасоляк Н.Д., 1972	$T_T = \frac{1}{2} [T_{cp} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (t_i - T_{cp})^2} + (1/R_{cp}) \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (Q_i - Q_{cp})^2}]$	R_{cp} - среднесуточный расход (в год); t_i - интервал i -й поставки; Q_i - объем i -й поставки; Q_{cp} - средний объем поставки; N - количество поставок (в год).
Федорчук Б.К., 1967	$T_T = \frac{\sum_i^N Q_i t_i}{2 \sum_i^N Q_i}$	

$$q = T_T \cdot \lambda, \quad (9.1)$$

$$q_c^* = T_c \cdot \lambda, \quad (9.2)$$

где λ – среднесуточная потребность, ед./день.

Из анализа табл. 9.1. и 9.2. следует:

- приведенные зависимости значительно отличаются друг от друга, что с одной стороны отражает их специфику (сбытовые, производственные и товарные запасы), с другой стороны говорит о том, что нет единого методического подхода;

Таблица 9.2.

Формулы для расчета страховой составляющей нормы производственного запаса T_C

Автор метода, год	Расчетная формула	Обозначения
-------------------	-------------------	-------------

Инютина К.В., 1969	$T_c = \sqrt{\frac{\sum_i^N (t_i - T_{cp})^2}{\sum_i^N Q_i}}$	t_i – интервал i -й поставки, дни; T_{cp} – средний интервал между поставками, дни; Q_i – объем i -й поставки; N – количество поставок.
Фасоляк Н.Д., 1977	$T_c = K \frac{\sum_j^N (t_j - T_{cp}) Q_j}{\sum_j^N Q_j}$	K – коэффициент, показывающий надежность обеспечения запасом; t_j – величины интервалов, большие T_{cp} .
Мельникова Е.А. и др., 1979	$T_c = \frac{\max Z_m - Z }{\varphi R_{cp}}$	R_{cp} – среднесуточный расход (в год); Z_m – отклонение суточного остатка от среднего уровня перед поставками (Z).
Хрящев А.С., Федорчук Б.К., 1980	$T_c = \frac{3\sigma}{R_{cp}} - \frac{Q_{cp}}{2R_{cp}}$	σ – среднеквадратическое отклонение суточных остатков топлива от среднего уровня, вычисленного по скользящей средней.
Вожжов А.П., 1981	$T_c = \sqrt{p^2(\sigma_T + \sigma_c) + (p^2 + p')(\sigma_Q + \sigma_R)}$	p – коэффициент гарантийности, определяющий величину компенсаций случайных отклонений поставок (или расходов); $\sigma_T, \sigma_c, \sigma_Q, \sigma_R$ – среднеквадратические отклонения интервалов поставок, интервалов отпуска, объемов поставок и отпусков; p' – коэффициент гарантийности, определяющий величину случайных отклонений от среднего значения.
Щетина В.А. и др. [23], 1988	$T_c = \delta \cdot \sigma_\tau / \sqrt{n}$	δ – параметр (аргумент) функции Лапласа $\Phi(\delta)$; σ_τ – среднее квадратическое отклонение интервала между поставками; n – максимальное количество поставок в году ретроспективного периода.

- отсутствие сравнительных примеров расчета не позволяет отдать предпочтение какому-либо из приведенных формул без проведения дополнительных исследований;
- все зависимости получены до 1990 г., т.е. в условиях плановой экономики; помимо этого они базируются на статистических данных, полученных в результате наблюдений за поставками и расходами в предыдущие периоды.

Принципиально другой подход к оценке времени и размера текущего запаса, приведенный в разделе 6 (формула Уилсона), базируется не только на данных наблюдений за поставками (расходами), но и экономических показателях. С учетом формул раздела 6, норма текущей составляющей производственного запаса запишется в виде (в днях)

$$T_T = D \sqrt{\frac{C_0}{2AC_n i}} \quad (9.3)$$

в натуральных единицах

$$q = \sqrt{\frac{C_0}{2C_x i}} \quad (9.4)$$

Пример. Рассчитаем норму текущего запаса по данным о поставке двигателей на склад автотранспортного предприятия, табл. 9.3. [28]. Для сравнения выполним расчеты по формуле Федорчука Б.К. и формуле, приведенной в методике Минтянжмаша (табл. 9.1).

При подстановке величин из табл. 9.3. находим

$$T_T = \frac{1}{2N} \sum t = \frac{54}{2 \cdot 11} = 2,45 \text{ дня}$$

$$T_T = \frac{\sum Q_i t_i}{2 \sum Q_i} = \frac{208}{2 \cdot 72} = 1,44 \text{ дня}$$

Очевидно, что, во-первых, результаты различны; во-вторых, обе формулы дадут одинаковый результат в случае одинаковых поставок $Q_i = const$.

Таблица 9.3.

Данные о поставках двигателей на склад

Дата поставки на склад	Интервал времени между поставками t_i	Объем поставки Q_i , ед.	$t_i Q_i$
2.01	1	10	10
13.01	11	2	22
23.01	10	2	20
27.01	4	5	20
30.01	3	8	24
31.01	1	16	16
13.02	13	1	13
18.02	5	7	35
22.02	4	9	36
23.02	1	6	6
24.02	1	6	6
Суммы	$\sum t_i = 54$	$\sum Q_i = 72$	$\sum t_i Q_i = 208$

9.2 Анализ формулы Бауэрсокса-Клосса для расчета страхового запаса

В условиях неопределенности, вызванной различными причинами, но главным образом случайным характером ежедневного спроса d_j и продолжительности функционального цикла T_i , в работе [2] рекомендована формула для расчета требуемой величины страхового запаса.

$$SS = k\sigma_s, \quad (9.5)$$

где k – коэффициент, определяемый с помощью табулированной функции $f(k)$;

σ_c – общее среднее квадратичное отклонение.

В виду отсутствия в работе [2] ссылок на других авторов назовем ее формулой Бауэрсокса-Клосса.

Функция $f(k)$ – функция потерь, определяющая площадь, ограниченную правой «ветвью кривой нормального распределения». В табл.9.4 приведены значения k и $f(k)$.

Согласно [2] функция $f(k)$ рассчитывается по формуле

$$f(k) = (1-SL)Q/\sigma_c, \quad (9.6)$$

где SL – величина дефицита;

Q – размер заказа.

Величина дефицита SL в цитируемой работе называется также «уровнем доступности продуктов» или «желательный уровень обслуживания». Судя по размерности, SL может быть названа вероятностью отсутствия дефицита.

Входящее в формулы (9.5) и (9.6) общее среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле

$$\sigma_c = \sqrt{\overline{T}\sigma^2 d + \overline{D}^2 \sigma_T^2}, \quad (9.7)$$

где $\overline{T}, \overline{D}$ – соответственно среднее значение продолжительности функционального цикла и количество продаж продукта в день;

σ_c, σ_d – соответственно средние квадратические отклонения случайных величин T и D .

Для иллюстрации формул приводится пример расчета при исходных данных $Q=300$ ед., $\sigma_c=13$ ед., $SL=0,99$. По формуле (9.6) находится $f(k)=0,2308$; $k=0,4$ (по табл.1) и затем по формуле (9.5)

$$SS=0,4 \cdot 13=5,2 \text{ ед.}$$

Таким образом, по формулам Бауэрсокса-Клосса страховой запас в 5 единиц «обеспечивает насыщение спроса клиентов на 99% при размере заказа 300 единиц».

В табл.9.5 приведены результаты расчетов при других Q : 200 и 100 единиц. Из табл.9.5 следует парадоксальный вывод: чем меньше размер заказа Q , тем больше страховой запас SS .

Отсутствие убедительных доказательств данного явления в работе [2] потребовало дополнительных расчетов при различных Q , результаты которых приведены в табл.9.5. Анализ этих результатов показал

1. При величине заказа $Q=50$ ед., соответствующей средней продолжительности функциональных циклов поставок $\bar{T}=10$ дней, величина страхового запаса $SS=18$ ед. Эта величина сопоставима с $\sigma_c=13$ ед., но значительно меньше величины $3\sigma_c$, соответствующей «величине дефицита $SL=0,99$ ».

Таблица 9.4

Значения функции потерь $f(k)$ и коэффициента k (фрагмент)

$f(k)$	k	$f(k)$	k
0,3989	0,0	0,0366	1,4
0,3068	0,2	0,0232	1,6
0,2304	0,4	0,0110	1,8
0,1686	0,6	0,0074	2,0
0,1202	0,8	0,0036	2,3
0,0833	1,0	0,0014	2,6
0,0561	1,2	0,0003	3,0

2. При величине заказа $Q=518$ ед. страховой запас $SS=0$ и при дальнейшем увеличении Q остается равным нулю.

3. Поскольку в комментариях к формулам (9.5) - (9.7) ничего не говорится об ограничениях, то был проведен расчет при $Q=\bar{D}=5$ ед., т.е. при $\bar{T}=1$ день. Величина запаса составила $SS=29,6$ ед., следовательно, превзошла среднюю ежедневную поставку в 6 раз.

4. Полученные результаты настораживают не только с точки зрения страхового запаса, но и возможной вариации «величины дефицита» SL. Так, при $Q=300$ ед., $\sigma_c=13$ ед. варьирование значений функции $f(k)$ от 0,3989 до 0,0003 в формуле (2) привело к изменению SL всего на 0,017, т.е. от $SL=0,983$ до $SL=1,00$.

Таблица 9.5
Зависимость страхового запаса от размера заказа
(по Бауэрсоксу-Клоссу)

Размер заказа Q, ед.	$f(k)$	k	Страховой запас SS, ед.
300	0,400	0,4	5,2
200	0,154	0,65	8,4
100	0,077	1,05	13,6
50*	0,0380	1,4	18,2
518,6*	0,3989	0	0
13*	0,0100	1,85	24,0
5*	0,0038	2,28	29,6
1*	0,00077	2,76	36,0
*) расчеты выполнены авторами			

Но не поддается объяснению область значений, когда «величина дефицита» SL становится меньше нуля, что противоречит физической сущности данной вероятностной характеристики. Например, в анализируемом примере при $f(k) = 0,4$ и $Q = 5$ ед. находим

$$SL = 1 - \frac{0,4 \cdot 13}{5} = - 0,04$$

Рассмотрим другой подход к расчету страхового запаса. При наличии статистической информации о ежедневных продажах (\bar{D} , σ_D , Закон распределения) и продолжительности функционального цикла выполнения заказа (\bar{T} , σ_T , Закон распределения).

Для расчета используется формула

$$d_3 = t_p \sigma_c, \quad (9.8)$$

где d_3 – величина страхового запаса

t_p – коэффициент, соответствующий вероятности P отсутствия дефицита продукции на складе.

σ_c – среднее квадратическое отклонение.

Расчет по формуле (9.8) производится при следующих допущениях.

1. В начальный момент на складе находится Q единиц продукции, рассчитываемой по формуле

$$Q = \bar{T} \cdot \bar{D} \quad (9.9)$$

Вывод формулы (9.9) приведен, например, в работе Е. С. Вентцель для «математического ожидания суммы случайного числа случайных величин:

$Z = \sum_{x=1}^y x$, где x и y – случайные величины. Аналогичная формула приведена в [2].

2. Если по мере реализации суммарный расход $\sum d_i$ достигает Q в момент времени T_j , а заявки продолжают приходить, то наступает ситуация дефицита. Предполагается, что неудовлетворенные заявки продолжают накапливаться до случайного момента T_k – времени поступления нового заказа. Таким образом, речь идет о прогнозируемом процессе накопления заявок, а не на реальном расходе на интервале $\Delta T = T_k - T_j$

3. Допустим, что статистические параметры, характеризующие ежедневный расход (или объем продаж), \bar{D} и σ_d – постоянны и не зависят от продолжительности цикла T ; закон распределения ежедневных продаж – нормальный. Для продолжительности функционального цикла, подчиняющегося нормальному закону, среднее значение равно \bar{T} , а среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_T = \nu_T \cdot \bar{T}, \quad (9.10)$$

где ν_T – коэффициент вариации, определенный на основе статистической обработки для базовой выборки.

Например, если статическая информация собрана для базового функционального цикла с параметрами $\bar{T}=10$ дней и $\sigma_T=2$ дня [1], то $\nu_T=0,2$ и для цикла с $\bar{T}=20$ дней, соответственно $\sigma_{T=20}=0,2 \cdot 20=4$ дня.

Таким образом, формула (2) может быть записана в виде

$$\sigma_c = \sqrt{[\sigma_d^2 + (\overline{Dv}_T)^2 \overline{T}] \overline{T}}, \quad (9.11)$$

а при подстановке σ_c в формулу (9.8), получим

$$d_3 = t_p \sqrt{[\sigma_d^2 + (\overline{Dv}_T)^2 \overline{T}] \overline{T}}, \quad (9.12)$$

Рассчитаем величину страхового запаса для $Q=\overline{D}=5$ ед. и $\sigma_d=2,54$; $v_T=0,2$, т.е. при средней ежедневной поставке $\overline{T}=1$ день. Очевидно, $\overline{T}=1$ является нижней границей продолжительности функционального цикла при расчете по формуле (9.12). При подстановке $t_p=1,282$, что соответствует вероятности отсутствия дефицита 0,9, находим

$$d_3 = 1,282 \sqrt{[(2,54)^2 + (5 \cdot 0,2)^2] \cdot 1} = 3,5 \text{ ед.}$$

Соответственно, при $P=0,99$ и $t_p=2,33$ $d_3=6,36$ ед.

При учете того, что ежедневная поставка $Q=5$ ед. и страховой запас (при $P=0,99$) равен $d_3 \sim 6$ ед. на складе в начале дня должен находиться запас в 11 единиц.

Результаты расчетов для других величин поставок приведены в табл.9.6. Там же для сравнения приведены результаты расчетов по формулам (9.5), (9.6) при условии, что расчет общего среднего квадратического отклонения приводился по формуле (9.11).

Из анализа табл.9.6 следует.

- при расчете по формуле (9.12) величина страхового запаса возрастает с увеличением длительности функционального цикла поставок продукции со склада;
- при использовании откорректированной зависимости для общего среднего квадратического отклонения σ_c , формула (9.11), величина страхового запаса также возрастает при увеличении длительности цикла T , но менее интенсивно, чем при расчете по формуле (9.12).
- поскольку в работе [2] не удалось найти объяснение, почему уменьшается величина страхового запаса при расчете по формулам (9.5)-(9.7), то, на наш

взгляд, не следует использовать указанные формулы для расчетов без проведения дополнительных исследований.

Таблица 9.6

Величина страхового запаса при различных размерах заказа Q.

Размер заказа Q, ед.	Продолжительность цикла T, дн.	σ_c , формула (7)	Страховой запас, ед.		
			P = 0,9	P = 0,99	P = 0,99*
5	1	2,73	3,5	6,4	4,5
50	2,6	4,85	6,2	11,3	7,4
100	10	12,83	16,5	30,0	17,6
300	60	63,2	80,9	143,1	80,8
518	103,6	106,8	136,9	248,8	135,5

*) Расчет по Бауэрсоксу-Клоссу при определении σ_c по формуле (9.11)

10 Транспортная логистика: решение задач автотранспортных перевозок*

10.1 Общий алгоритм планирования грузовых автомобильных перевозок

В период централизованного регулирования экономикой планирование перевозок между производителями и потребителями продукции успешно осуществлялось в рамках задач: транспортной и маршрутизации. Рассчитанные планы перевозки на стадии оперативного планирования в автотранспортных предприятиях корректировались с помощью диспетчеризации, особенно трудоемкой при перевозках на небольшие расстояния, с учетом конкретных объемов перевозки, типа и количества подвижного состава, грузоподъемности используемых автомобилей и т.д.

Автотранспортные предприятия представляли собой крупные народнохозяйственные комплексы. Среднее количество автомобилей на предприятиях общего пользования для крупных городов составляло 200 – 250 единиц; для областных и районных центров – 100 – 150 единиц; на ведомственном транспорте 50 – 70 единиц.

В этот период основной идеей транспортной задачи было рациональное с точки зрения затрат на перевозку закрепление потребителей за поставщиками. Применялась она для планирования перевозок массовых грузов: удобрения и проведение уборочных работ в сельском хозяйстве; продукции машиностроения; строительных грузов и т. п.

Целью маршрутизации перевозок была минимизация общего пробега автомобиля в течение смены посредством, во-первых, "увязки" ездов при планировании перевозок массовых грузов; во-вторых, организация движения при развозочных, сборных или развозочно-сборных маршрутах. Задача "увязки" ездов возникала в случае когда автомобиль в течение смены должен перевезти груз от одного или нескольких отправителей нескольким получателям по маятниковым маршрутам. При развозке продуктов (товаров) со склада в магазины, сборе тары и т. д. решалась задача коммивояжера (второй тип задач маршрутизации).

* Раздел написан при участии И.А. Пластуняк.

В период 1990 – 2000 г.г. произошли коренные изменения в экономике страны, выразившиеся в падении производства и разукрупнении предприятий, что привело к нарушению связей между поставщиками и потребителями.

На транспорте наметились две основные тенденции: уменьшение объема перевозок и старение парка подвижного состава. Приватизация, разгосударствление и акционирование в сфере автотранспорта привели к тому, что основная масса автотранспортных предприятий насчитывает в настоящее время не более 10 единиц подвижного состава. Проведенные исследования говорят о том, что при внутригородских перевозках автомобиль в 75 – 80 % случаях выполняет один рейс в день, т. е. снижается трудоемкость диспетчеризации. Параллельно происходила реструктуризация парка автомобилей в пользу малотоннажных и большегрузных машин, связанная с развитием внутрироссийского и международного рынков.

Следует отметить, что произошедшие изменения в характере спроса на транспортные услуги привели к тому, что на сегодняшний день в структуре грузооборота 80% составляют мелкопартионные грузы, перевозимые или по маятниковым или по развозочным (сборным, сборно-развозочным) маршрутам. При такой схеме организации перевозок не опадает необходимость решения транспортной задачи. Об этом свидетельствует и данные проведенного опроса среди автотранспортных предприятий северо-западного региона России (РФ), основной целью которого было выяснить схему работы автомобиля на маршруте. Результаты опроса приведены в табл.10.1.

Таблица 10.1

Схема работы автомобиля на маршруте	Количество рейсов, %
Одно место погрузки, одно место разгрузки	31,0
Одно место погрузки, несколько мест разгрузки	43,5
Несколько мест погрузки, одно место разгрузки	8,5
Несколько мест погрузки и разгрузки	17,0

Таким образом, 52,0 % предприятий осуществляют перевозку по кольцевым развозочным или сборным маршрутам и 31 % - по маятниковым маршрутам. Только 17 % респондентов отметили сложную схему организации движения "несколько мест погрузки и разгрузки", 80 % из которых занимаются междугородними перевозками, и указанная схема работы с клиентами возникает из-за стремления увеличить степень использования автомобиля по грузоподъемности (грузовместимости).

Дальнейшие исследования и опросы перевозчиков показали: в настоящее время классическая транспортная задача решается для крупных фирм, имеющих сеть складов или филиалов, а так же для средних и мелких предприятий, для уменьшения транспортных затрат при массовой перевозке сырья или готовой продукции. Решение задачи маршрутизации по-прежнему особенно актуально при внутригородских перевозках.

Очевидно, по мере развития рыночной экономики в стране, повышение эффективности транспортного процесса требует новых подходов к организации перевозок. Это привело к появлению нового направления – транспортной логистики.

Анализ публикаций дает возможность говорить, что предметом транспортной логистики является комплекс задач планирования и управления, связанных с перемещением грузов транспортом, а именно:

- обеспечение технической и технологической сопряженности участников транспортного процесса, согласования их экономических интересов;
- обеспечение технологического единства транспортно-складского хозяйства;
- совместное планирование производственного, транспортного и складского процессов;

- выбор вида транспортного средства (ТС);
- выбор типа ТС;
- определение рациональных маршрутов;
- выбор перевозчика и экспедитора.

Для решения поставленных задач в транспортной логистике используются следующие методы и модели:

1. модели выбора перевозчика;
2. маршрутизация перевозок (транспортная задача, задача коммивояжера и др.);
3. модель "точно – во – время";
4. экономико-математическая модель макрологистической системы (производственно-транспортная задача);
5. модели "производство – транспорт – потребление" и др.

При решении задач по оперативному планированию грузовых автомобильных перевозок основными экономико-математическими моделями являются модели транспортной задачи и задач маршрутизации. Развитие систем доставки грузов показывает, что дальнейшая интенсификация процесса перевозки возможна только за счет внедрения принципа фиксированного времени доставки грузов потребителям, то есть применения логистического принципа "точно – во – время".

С точки зрения организации перевозочного процесса возможны три основные схемы, с которыми сталкиваются автотранспортные предприятия (табл. 10.2)

Первая схема организации перевозок, наиболее простая с точки зрения планирования, "один – к – одному" не требует от автотранспортного предприятия решения ни транспортной задачи, ни задачи маршрутизации.

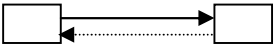
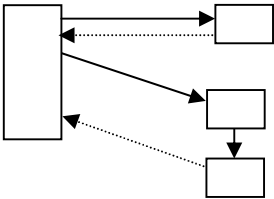
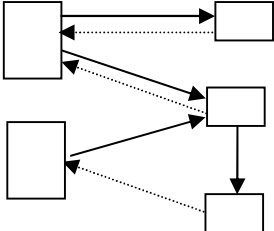
Планирование деятельности автотранспортного предприятия в случае организации перевозки по схеме 2 ("один –

ко – многим") требует решения задачи маршрутизации, которая включает в себя решение:

- задачи "увязки" ездов, если между грузоотправителями и грузополучателями перевозка осуществляется только по маятниковым маршрутам [3; 8, 17];

Таблица 10. 2

Схемы организации перевозочного процесса

Условное название схемы	Схема перевозочного процесса
1. Один – к – одному	
2. Один – ко – многим	
3. Многие – ко - многим	

- задачи коммивояжера, если между грузоотправителями и грузополучателями перевозка осуществляется только по развозочным (сборным или сборно-развозочным) маршрутам [1, 3, 8];

- двух вышеперечисленных типов задач, если при организации перевозочного процесса используются как маятниковые, так и развозочные (сборные или сборно-развозочные) маршруты.

При организации движения по схеме "многие – ко – многим" требуется на первом этапе решить транспортную задачу [4, 9], затем задачу маршрутизации (второй этап).

Учитывая возможные варианты схемы организации движения автомобиля на маршруте и временные ограничения, накладываемые на перевозку, планирование на автотранспортном предприятии можно представить в виде алгоритма (рис.10.1).

Рассмотрим более подробно блоки разработанного алгоритма. В первом блоке формируется база данных, включающая сведения о количестве транспортных средств, их типе и грузоподъемности; количестве грузоотправителей и грузополучателей; ограничениях, накладываемых грузоотправителем и грузополучателем на партию груза, которая может быть отправлена и получена соответствующим субъектом; временных ограничениях по доставке грузов в пункты назначения и их вывозу из пунктов отправления; затратах на перемещение единицы груза от каждого отправителя каждому получателю и другие. На основе полученной информации определяется схема организации перевозок (второй блок). Анализ клиентурных заявок позволяет сгруппировать их по схемам согласно табл. 10.2.

В третьем блоке, вначале, проверяется условие: используется ли при перевозке груза схема "многие – ко – многим". Если условие выполняется, то решается транспортная задача.

Экономико-математическая модель классической транспортной задачи в общем виде представлена формулами (1) – (10.5) [3]:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \quad (10.1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i \quad \left(i = \overline{1, n} \right), \quad (10.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j \quad \left(j = \overline{1, m} \right), \quad (10.3)$$

$$\forall x_{ij} \geq 0, \quad (10.4)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^m b_j, \quad (10.5)$$

где i – количество поставщиков;
 j – количество потребителей;
 a_i – ограничения по предложению;
 b_j – ограничения по спросу;
 c_{ij} – элементы целевой функции;
 x_{ij} – объем корреспонденции между i -й и j -й точками.

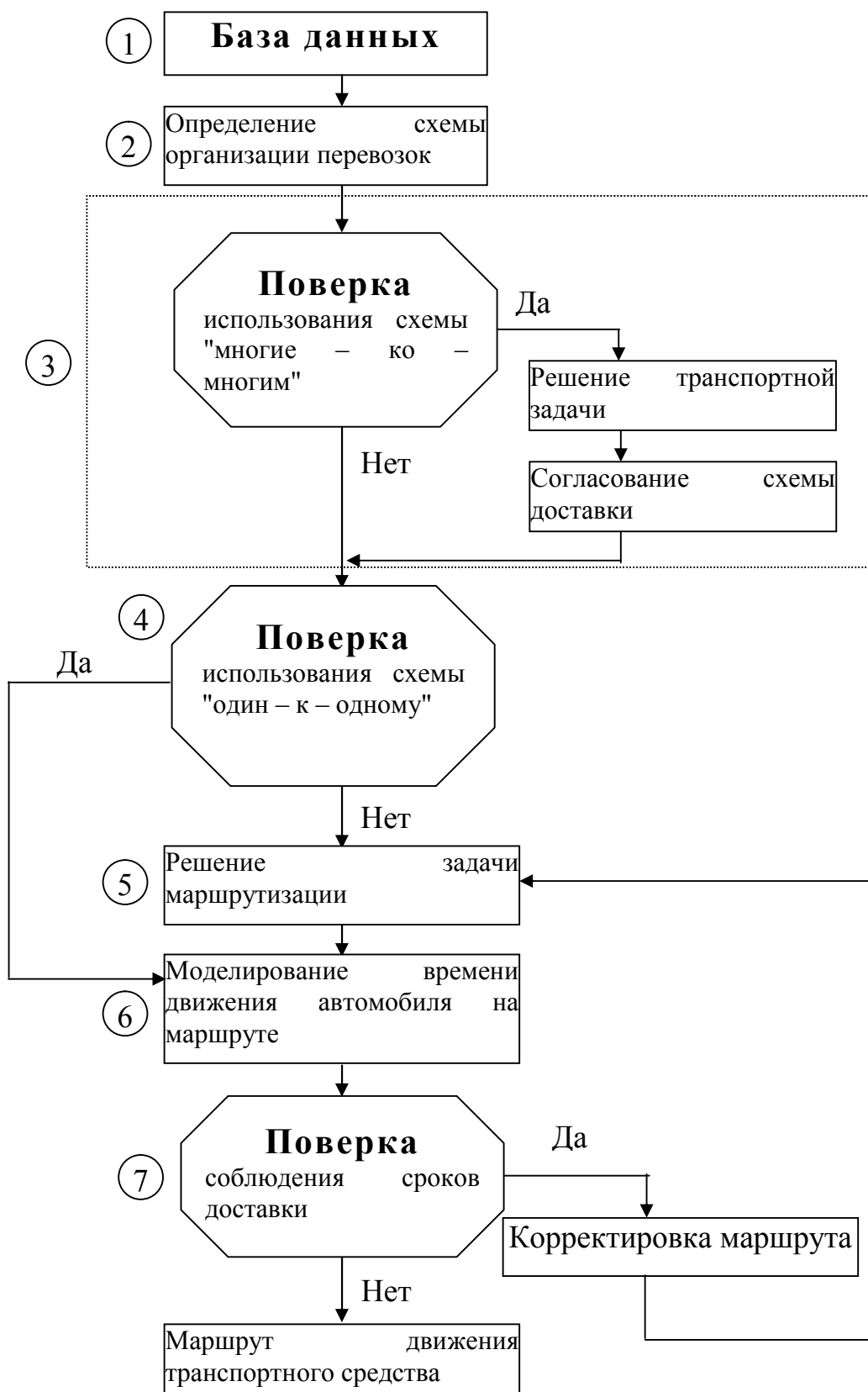


Рис.10.1 Общий алгоритм планирования грузовых автомобильных перевозок.

Критерием оптимальности в транспортной задаче могут выступать минимум транспортной работы в тонно-километрах, затраты времени или стоимость перевозки.

Для решения транспортной задачи широко применяется распределительный метод, который имеет несколько разновидностей, отличающихся в основном способом выявления оптимального решения. Наиболее известны три метода решения задач данного типа: метод Хичкова; метод Креко; модифицированный распределительный метод или метод потенциалов [8].

В настоящее время классическая транспортная задача с успехом может быть решена с помощью программы Microsoft Excel.

На последнем этапе третьего блока определяется, по каким маршрутам – маятниковому или развозочному (сборному или сборно-развозочному) – будет перевозиться груз от каждого отправителя к получателям, закрепленными за ним после решения транспортной задачи.

В четвертом блоке проверяется условие: используется ли при перевозке груза схема "один – к – одному". Если условие не выполняется, то перевозка между грузоотправителями и грузополучателями осуществляется по схеме 2 ("один – ко – многим"), при которой требуется решать задачи маршрутизации.

Математическая постановка задачи зависит от типа маршрута, по которому перевозятся грузы. В качестве примера одной из задач маршрутизации рассмотрим задачу отыскания маршрута движения автомобиля, осуществляющего развозку некоторого вида груза из некоторого базового пункта по нескольким пунктам, связанными между собой автомобильными дорогами [3]. Пусть число таких пунктов равно n и c_{ij} – расстояние от пункта i до пункта j , $i, j = \overline{0,1}$, где 0 соответствует

базовому пункту. В каждый пункт с номером $\overline{1, n}$ автомобиль должен побывать ровно один раз, и после развозки всех грузов ему необходимо вернуться в базовый пункт.

Задача состоит в определении порядка посещения автомобилем пунктов с номерами $\overline{1, n}$ так, чтобы суммарное расстояние, проходимое автомобилем, было минимальным.

Для математической формулировки рассмотренной задачи вводятся переменные x_{ij} , которые могут принимать следующие значения:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если автомобиль из пункта с номером } i \text{ переезжает в} \\ & \text{пункт с номером } j; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $i, j = \overline{0, n}$, $i \neq j$.

Следующая система соотношений образует математическую модель и отражает закономерность функционирования системы развозки грузов по n пунктам из базового пункта:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = \overline{1, n}, \quad i \neq j \quad (10.6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = \overline{1, n}, \quad j \neq i \quad (10.7)$$

$$U_i - U_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 \quad i = \overline{1, n}, \quad j \neq i \quad (10.8)$$

где U_i и U_j – произвольные вещественные значения.

Условия (10.6) - (10.7) исключают циклы (петли) на маршруте, поскольку приезд автомобиля в каждый пункт и выезд из каждого пункта происходит ровно один раз. Условие (10.8) не допускает расщепления замкнутого из $n+1$ звеньев маршрута автомобиля на несколько замкнутых маршрутов меньшего числа

звеньев. В качестве целевой функции в рассмотренной задаче выступает длина маршрута автомобиля, которая подлежит минимизации:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (10.9)$$

В качестве целевой функции можно рассматривать не только длину маршрута, но и связанные с ней экономические показатели. Например, затраты на перевозку, а также показатели качества обслуживания, например, время доставки грузов.

Сформулированная задача известна как задача коммивояжера. Существует множество математических методов, позволяющих найти как точное, так и приближенное решение поставленной задачи. Среди методов, дающих точное решение, наибольшее распространение получил метод "ветвей и границ" [8].

Приближенный метод Кларка – Райта решения задачи коммивояжера основан на понятии "выгоды", которая получается от объединения двух маятниковых маршрутов в один кольцевой. Использование этого метода дает возможность учесть расположение автотранспортного предприятия [8].

Составленный маршрут не учитывает случайного характера составляющих перевозочного процесса; их количественная оценка может быть получена с использованием моделирования (шестой блок).

Для внутригородской перевозки необходимо определить время на движение автомобиля с грузом ($t_{гpi}$) и без груза (t_{xi}) на i -ом участке, время на погрузку у j -ого поставщика ($t_{пj}$) и на разгрузку у l -ого потребителя (t_{pl}), включающие время ожидания погрузки и разгрузки соответственно. Сумма всех составляющих дает время в наряде (T_n):

$$T_n = \sum t_{пj} + \sum t_{гpi} + \sum t_{pl} + \sum t_{xi} \quad (10.10)$$

Логистический подход к моделированию времени на выполнение транспортных услуг требует увязки работы автомобильного транспорта с режимом работы поставщиков и потребителей груза, т.е. необходимо учитывать время начала и окончания обеденных (технологических) перерывов

в работе клиентов. Поэтому формула (10.10) должна быть откорректирована и представлена в виде:

$$T_n = \sum t_{пj} + \sum t_{рpi} + \sum t_{рl} + \sum t_x + \sum \eta_j + \sum \psi_l \quad (10.11)$$

где η_j – случайная составляющая, учитывающая обеденные (технологические) перерывы j-ого поставщика;

ψ_l - случайная составляющая, учитывающая обеденные (технологические) перерывы l-ого потребителя.

Включение составляющих η_j и ψ_l обусловлено возможными пересечениями, частичными накладками составляющих перевозочного процесса и времени обеденных (технологических) перерывов поставщика или потребителя. Так, например, погрузка автомобиля у поставщика не будет выполняться, если на момент прибытия оставшееся время до обеда меньше самого времени погрузки или если автомобиль прибыл во время обеденного перерыва. Аналогичные простои, связанные с технологическими (обеденными) перерывами, могут возникнуть и в пункте разгрузки.

При международной перевозке общее время нахождения автомобиля в рейсе определяется по следующей формуле [13]:

$$T_o = \sum_{i=1}^A t_{i,i+1} + \sum_{j=1}^B \tau_j + \sum_{k=1}^C \Theta_k, \quad (10.12)$$

где $t_{i,i+1}$ – время движения между i-м и (i+1)-м пунктами;

τ_j – время оформления таможенных документов в j-м пункте;

Θ_k - время погрузки, разгрузки и складирования в k-ом пункте;

A, B, C – количество участков движения автомобиля, пунктов таможенного оформления и пунктов погрузки-разгрузки соответственно.

Формула (10.12) расчета времени рейсе не учитывает специфику международных перевозок: во-первых, ограничением режима труда и отдыха водителя или экипажа согласно ЕСТР; во-вторых, запретами (ограничениями) на движение большегрузных автомобилей по территории некоторых европейских стран в выходные и праздничные дни; в-третьих, необходимостью проведения ремонтно-профилактических воздействий, в частности, устранением отказов, а также другими причинами простоя на линии, например, поверками дорожной полицией нагрузок на оси, которые входят в период производственной

деятельности водителя в течение рабочего дня, иной, чем управление автомобилем.

Таким образом, формула (10.12) для общей продолжительности рейса должна быть откорректирована с учетом вышеуказанных факторов и представлена в виде:

$$T_o = \sum_{i=1}^A t_{i,i+1} + \sum_{j=1}^B \tau_j + \sum_{k=1}^C \varphi_k + \sum_{l=1}^D \varphi_L + \sum_{m=1}^E \psi_m + \sum_{n=1}^F \eta_n, \quad (10.13)$$

где φ_i – случайная составляющая, отражающая увеличение времени рейса для проведения ремонтно-профилактических воздействий и других причин;

ψ_m – случайная составляющая, отражающая ограничения связанные с ЕСТР;

η_n – случайная составляющая, отражающая запреты на движения большегрузных автомобилей;

D, E, F – число случаев простоя автомобиля с учетом указанных факторов, соответственно.

Рассчитанное значение времени рейса позволяет определить гарантированный срок доставки груза потребителю.

Количество временных составляющих, включаемых во время рейса, возрастает при интермодальных или смешанных перевозках. В этом случае требование к соблюдению сроков перевозки диктуется не только клиентом, но и спецификой организации такого рода перевозки (например, опоздание на паром приводит к незапланированным многочасовым простоям).

Особенностью расчета времени рейса и в наряде по формулам (10.11) и (10.13) являются нелинейность, из-за ограничений связанных с ЕСТР, режимом работы складов и т.д., и случайного характера временных составляющих перевозочного процесса.

В седьмом блоке определяется соотношение смоделированных значений времени нахождения автомобиля в наряде (в рейсе) с требованиями клиентов

по срокам доставки груза. Например, для внутригородской перевозки определяется возможность обслуживания всех потребителей на маршруте в пределах установленных временных интервалов. Если условие не выполняется, то требуется откорректировать маршрут, или, если возможно, время работы складов, грузоподъемность используемого на данном маршруте подвижного состава и заново смоделировать время движения.

Таким образом, предлагаемая иерархия моделей формирует единый подход к формализации методов решения транспортной логистики и теории организации перевозок; охватывает основные типы транспортных задач, применительно к автомобильным перевозкам в пространстве (распределительная задача, маршрутизация) и во времени; позволяет осуществить трехуровневую оптимизацию по мере редуцирования количества рассматриваемых объектов (поставщики, потребители) и последовательного включения дополнительных факторов, связанных с конкретными маршрутами перевозок.

С целью апробации разработанного алгоритма были выполнены расчеты на условных примерах, подтверждающие эффективность подложенной методики с точки зрения сокращения времени разработки оптимальных маршрутов автомобильных перевозок.

Для иллюстрации предложенного алгоритма рассмотрим пример.

1. Из пунктов a_1 и a_2 необходимо доставить груз в пункты $b_1 - b_{15}$ в требуемом количестве (табл. 10.3). Согласно алгоритму (рис.10.1) на втором этапе определяется схема доставки. В соответствии с предложенной в табл. 10.2 классификацией при доставке груза используется схема "многие – ко – многим".

Условие третьего этапа выполняется, поэтому необходимо решить транспортную задачу (исходная информация приведена в табл. 3).

Таблица 10.3

Количество груза к доставке потребителю

Пункт разгрузки	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	Всего
Кол-во груза, т	0,25	0,2	0,4	0,3	0,6	0,7	1,0	0,5	0,6	0,3	0,5	0,15	0,2	0,3	0,3	6,3

Таблица 10.4

Расстояние между пунктами погрузки и разгрузки

Пункт погрузки	Расстояние до пункта разгрузки, км														
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}
a_1	10	6	7	1	4	5	8	9	5	4	6	10	11	5	2
a_2	5	7	9	8	6	12	15	4	5	7	8	10	8	6	5

2. Для решения транспортной задачи используется Microsoft Excel "Поиск решения" (блок 3). Критерием оптимальности в задаче является минимум транспортной работы в ткм.

Таблица 10.5

Результаты решения транспортной задачи

Пункт погрузки	Объем перевозок в пункт, т															
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	Всего
1		0,2	0,4		0,6	0,7	1,0		0,6	0,3	0,5			0,3	0,3	4,9
2	0,25			0,3				0,5				0,15	0,2			1,4

3. В результате решения определили два маршрута, связывающие начальные пункты a_1 с десятью пунктами, а именно $b_2, b_3, b_5, b_6, b_7, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{14}, b_{15}$ и a_2 с пятью пунктами – $b_1, b_4, b_8, b_{12}, b_{13}$. Объем перевозки соответственно на первом маршруте составит 4,9 т и на втором маршруте 1,4 т.

Для рассматриваемого примера предположим, что на автотранспортном предприятии есть автомобили грузоподъемностью 1,5 т и 5,0 т, и они могут быть использованы на данной перевозке. В случае если на автотранспортном предприятии нет автомобилей подходящей грузоподъемности или для данной перевозки они не могут быть использованы, то необходимо дальнейшее выделение маршрутов, например, путем решения транспортной задачи с ограничениями по вывозу из пункта количество груза равно грузоподъемности транспортного средства.

4. Условие четвертого этапа алгоритма не выполняется, поэтому на пятом этапе требуется решить задачу маршрутизации (коммивояжера), целью которой является определение длины маршрута и порядка объезда автомобилем пунктов на маршруте. Исходной информацией для поставленной задачи будут расстояния между рассматриваемыми на маршруте пунктами (табл. 10.6 и табл. 10.7). Матрица кратчайших расстояний симметричная.

Таблица 10.6

Матрица кратчайших расстояний между пунктами первого маршрута

	a ₁										
a ₁	∞	b ₂									
b ₂	6	∞	b ₃								
b ₃	7	10	∞	b ₅							
b ₅	4	4	8	∞	b ₆						
b ₆	5	8	2	11	∞	b ₇					
b ₇	8	2	7	2	8	∞	b ₉				
b ₉	5	6	5	8	2	5	∞	b ₁₀			
b ₁₀	4	3	2	7	11	3	4	∞	b ₁₁		
b ₁₁	6	7	5	5	8	7	7	6	∞	b ₁₄	
b ₁₄	5	7	8	2	7	9	3	8	9	∞	b ₁₅
b ₁₅	2	4	6	4	3	11	9	3	2	10	∞

Задача коммивояжера решалась методом "ветвей и границ".

Длина первого маршрута составила 28 км, порядок объезда пунктов на маршруте следующий: a₁ – b₁₅ – b₁₁ – b₃ – b₆ – b₉ – b₁₄ – b₅ – b₇ – b₂ – b₁₀ – a₁. Для второго маршрута – 26 км; a₂ – b₈ – b₁₂ – b₁ – b₁₃ – b₄ – a₂.

Таблица 10.7

Матрица кратчайших расстояний между пунктами второго маршрута

	a ₁
--	----------------

a ₁	∞	b ₂					
b ₂	5	∞	b ₃				
b ₃	8	6	∞	b ₅			
b ₅	4	7	9	∞	b ₆		
b ₆	10	2	11	4	∞	b ₇	
b ₇	8	3	5	8	7	∞	b ₉

5. Перед началом моделирования перевозочного процесса на маршрутах (шестой этап) необходимо задать временные ограничения (время в наряде, время обеденных перерывов, время начала и окончания работы в пунктах) и определить среднее значение, среднее квадратическое отклонение (СКО) и закон распределения случайных величин:

- скорости движения на участках маршрутов;
- времени погрузки;
- времени разгрузки.

Пусть все пункты разгрузки работают без обеденного перерыва с 08-00 до 16-00, за исключением пункта b₅ (обеденный перерыв с 12-00 до 13-00) и пункта b₁₃ (доставка груза должна быть осуществлена до 15-00). Начало погрузки в 09-00.

Формула для расчета времени движения на маршруте имеет вид:

$$T = t_{\text{погр}} + \sum_{i=1}^n \tau_i + \sum_{j=1}^m \theta_j \quad (10.14)$$

где $t_{\text{погр}}$ – время погрузки в начальном пункте;
 τ_i – время движения на i -м участке, ч;
 i – количество участков движения на маршруте;
 θ_j – время на разгрузку в j -м пункте разгрузки, ч;
 j – количество пунктов разгрузки на маршруте.

Таблица 10.8

Характеристика случайных величин

Случайная величина	Среднее значение	СКО	Закон распределения
Скорость, км/ч	31	2,5	нормальный
Время простоя под погрузкой на первом маршруте, ч	2	0,5	нормальный
Время простоя под погрузкой на втором маршруте, ч	1,5	0,4	нормальный
Время простоя под разгрузкой в пунктах маршрута, ч	0,5	-	экспоненциальный

Время движения на участке маршрута определяется по формуле:

$$\tau_i = \frac{l_i}{V_i} \quad (10.15)$$

где l_i – длина i -го участка маршрута, км;
 V_i – скорость на i -м участке маршрута, км/ч.

Смоделируем перевозочный процесс на первом маршруте.

Для первой реализации время погрузки в пункте a₁, подчиняется нормальному закону и рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{погр}} = \bar{t}_{\text{погр}} + \sigma \cdot \xi' \quad (10.16)$$

где ξ' – нормально распределенная случайная величина.
 $t_{\text{погр}} = 2 + 0,5 \cdot 0,6880 = 2,344$ ч. ($\xi' = 0,6880$) Автомобиль начнет движение по маршруту в 11-21.

Расстояние a_1b_{15} 2 км (табл. 10.6). Смоделируем скорость движения автомобиля на рассматриваемом участке (нормальный закон распределения, $\xi' = -0,127$): $V_1 = 31 + 2,5 \cdot (-0,127) = 30,6825$ км/ч.

Время движения: $\tau_1 = 2 / 30,6825 = 0,0652$ ч или $\tau_1 = 4$ мин. Таким образом, в пункт b_{15} автомобиль придет в 11-25.

Время разгрузки подчиняется экспоненциальному закону и рассчитывается по формуле:

$$\theta_i = \theta \cdot (-\ln(\xi)) \quad (10.17)$$

где ξ – равномерно распределенное случайное число в интервале $[0;1]$.

$\theta_1 = 0,5 \cdot (-\ln(0,9117)) = 0,0462$ ч. ($\xi = 0,9117$) или $\theta_1 = 3$ мин. Разгрузка в пункте b_{15} закончится 11-28.

Поступая аналогичным образом (движение – разгрузка) для дальнейших пунктов первого маршрута находим временные интервалы первой реализации:

9-00 : 11-21 погрузка в a_1 ; 11-21 : 11-25 движение на участке a_1b_{15} ; 11-25 : 11-28 разгрузка в b_{15} ; 11-28 : 11-31 $b_{15}b_{11}$; 11-31 : 11-46 разгрузка в b_{11} ; 11-46 : 11-53 $b_{11}b_3$; 11-53 : 11-57 разгрузка в b_3 и т.д.

Результаты моделирования по десяти реализациям алгоритма для пунктов a_1 и a_2 приведены в табл.10.9 и 10.10. Необходимо помнить, что разгрузка не производится, если автомобиль прибыл во время обеденного перерыва или если время оставшееся до начала обеденного перерыва меньше самого времени разгрузки. В этих случаях определяется время незапланированных простоев t_{np} и затем суммируется по всем реализациям.

Построим график функции распределения времени прибытия автомобиля к последним четырем потребителям на первом маршруте, то есть в пункты b_5 , b_7 , b_2 и b_{10} .

График функции распределения показывает, какая часть от общего количества автомобилей прибудет к заданному времени к конкретному потребителю (рис. 10.2).

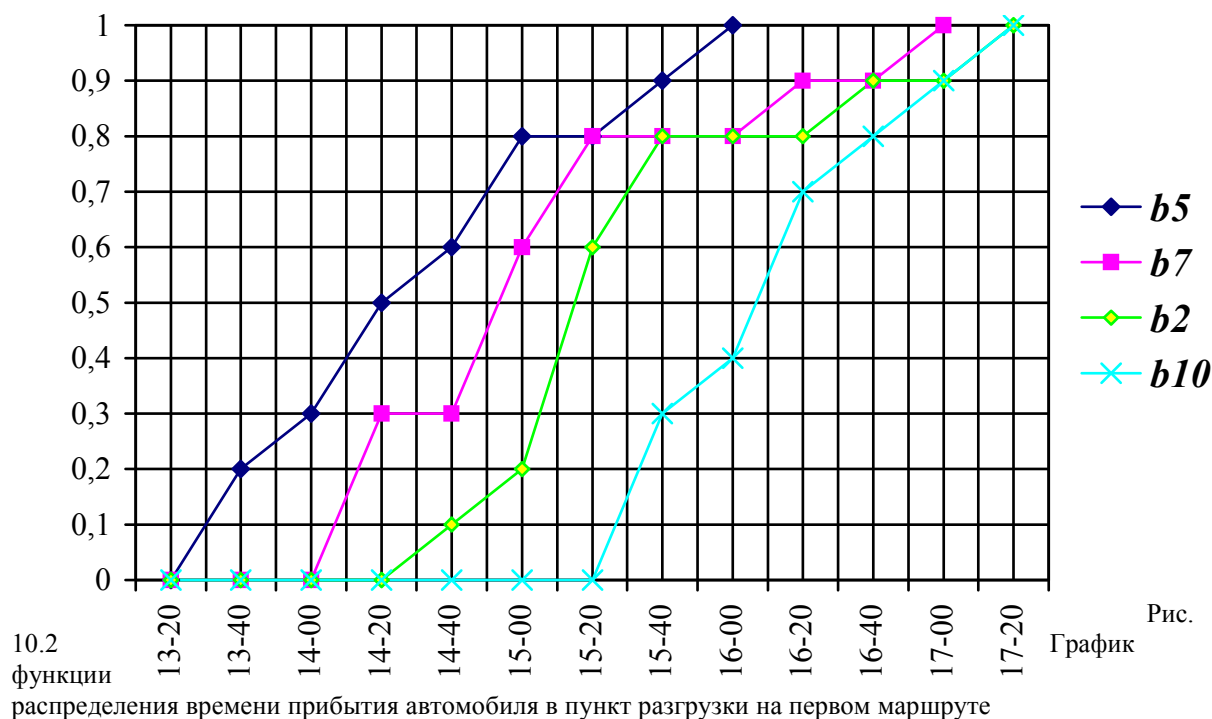


Рис.

График

10.2

функции

распределения времени прибытия автомобиля в пункт разгрузки на первом маршруте

Анализ результатов моделирования показал:

- временные ограничения будут выполнены полностью на втором маршруте;
- обеденный перерыв в пункте b_5 на первом маршруте не увеличит время работы автомобиля;
- доставка груза на первом маршруте может быть осуществлена к 16-00 с вероятностью 90%

только потребителю b_7 . Вероятность обслуживания потребителя b_2 составляет 80%, а b_{10} только 40%.

Рассмотренный пример показал перспективность применения единого алгоритма планирования автотранспортных перевозок в транспортной логистике. Для активного использования в практической деятельности алгоритм должен быть дополнен, на наш взгляд, матрицей принятия решений, в которой будут отражены все возможные варианты корректировки полученного результата. Например:

Таблица 10.9

Результаты моделирования перевозочного процесса на первом маршруте

N реализации	a ₁	b ₁₅		b ₁₁		b ₃		b ₆		b ₉		b ₁₄		b ₅		b ₇		b ₂		b ₁₀		a ₁
	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб
1	11-21	11-25	11-28	11-31	11-46	11-53	11-57	12-00	12-18	12-21	12-42	12-48	13-23	13-28	14-50	14-54	15-16	15-20	16-18	16-23	17-28	17-37
2	10-48	10-52	12-14	12-18	12-58	13-05	13-12	13-15	13-25	13-29	14-15	14-20	14-44	14-48	15-11	15-15	15-26	15-30	15-59	16-06	18-05	18-13
3	10-48	10-52	11-00	11-04	11-47	11-53	12-36	12-40	13-12	13-18	13-58	14-03	15-00	15-40	16-02	16-05	16-20	16-24	16-53	16-59	17-14	17-21
4	10-37	10-40	10-47	10-51	11-07	11-16	11-34	11-37	12-23	12-25	12-53	12-59	13-56	14-00	14-09	14-13	15-30	15-34	16-09	16-16	17-04	17-11
5	11-14	11-17	11-22	11-25	11-30	11-39	12-12	12-15	12-45	12-49	14-19	14-25	14-31	14-34	14-47	14-50	15-02	15-06	15-52	15-58	16-01	16-09
6	10-49	10-52	10-53	10-57	11-40	11-49	12-07	12-10	12-21	12-25	12-46	12-52	13-26	13-30	13-53	14-02	14-53	14-57	15-20	15-26	16-43	16-50
7	11-47	11-52	12-53	12-57	13-08	13-16	13-35	13-39	14-02	14-06	14-09	14-14	14-15	14-19	14-41	14-45	15-09	15-12	16-09	16-15	17-23	17-29
8	10-59	11-03	11-18	11-22	11-36	11-45	12-29	12-33	13-19	13-23	13-51	13-57	14-02	14-06	14-14	14-19	14-29	14-32	15-21	15-27	15-37	15-44
9	11-42	11-46	11-54	11-58	12-39	13-48	13-29	13-33	13-45	13-49	14-23	14-28	14-45	14-49	15-01	15-04	15-16	15-20	15-22	15-28	16-04	16-11
10	11-29	11-34	11-57	12-02	12-09	12-18	13-25	13-29	13-48	14-52	15-28	15-34	15-46	15-50	16-52	16-55	17-04	17-08	17-11	17-06	18-09	18-17

Таблица 10.10

Моделирование перевозочного процесса на втором маршруте

№ реали- зации	a ₂	b ₈		b ₁₂		b ₁		b ₁₃		b ₄		a ₂
	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб	отпр	приб
1	10-23	10-29	11-44	11-52	12-56	13-00	13-22	13-29	14-04	14-14	14-34	14-49
2	9-59	10-08	10-37	10-45	10-55	10-58	11-12	11-17	12-23	12-33	12-39	12-56
3	10-36	10-44	12-49	12-56	13-56	14-00	14-04	14-09	14-11	14-20	14-30	14-44
4	11-01	11-10	11-15	11-23	12-49	12-53	13-22	13-27	13-32	13-40	13-54	14-10
5	10-59	11-06	11-15	11-23	11-31	11-35	11-57	12-03	12-06	12-16	12-39	12-56
6	11-12	11-20	11-32	11-40	12-15	12-18	12-21	12-26	13-34	13-45	13-47	14-01
7	9-38	9-46	10-10	10-20	11-59	12-02	12-20	12-26	13-05	13-16	13-14	14-01
8	10-24	10-32	10-40	10-49	11-55	11-59	13-18	13-23	13-51	14-01	14-06	14-21
9	10-56	11-03	11-42	11-49	12-17	12-20	12-27	12-32	12-51	13-01	13-35	13-50
10	10-04	10-11	11-03	11-10	11-17	11-21	12-05	12-11	12-15	12-20	12-45	12-59

- заключение соглашения с поставщиками или потребителями о изменении времени погрузки или разгрузки соответственно, в этом случае корректировки маршрута не требуется;
- корректировка маршрутов, когда пункт из одного маршрута переносится в другой, где есть запас времени, с целью выполнения всех договорных обязательств. Выбирается тот пункт, перемещение которого вызовет наименьшее увеличение транспортной работы.
- использование дополнительного автомобиля на маршруте.

10.2 Алгоритм ускоренного планирования автомобильных перевозок

Рассмотренный пример выявил также и проблемы применения общего алгоритма планирования грузовых автомобильных перевозок. Так его применение трудоемкая и занимающая достаточно много времени задача. На каждом этапе предлагается получать оптимальный маршрут, который в последствии корректируется в зависимости от условий перевозки. Следует так же помнить, полученный после реализации алгоритма оптимальный маршрут может не отвечать требованиям клиентов по срокам доставки груза, что приводит к повторному решению некоторых блоков. Отметим, что, во-первых, на практике в основном требуется решать задачи небольшой размерности (для развозочных маршрутов до шести – восьми пунктов) и, во-вторых, не всегда есть возможность применять ЭВМ при оперативном планировании. Таким образом, практическую значимость имеют приближенные методы решения задач, решаемых при реализации алгоритма, а также оценка времени доставки груза, используемая вместо статистического моделирования.

Для соответствующих блоков общего алгоритма предлагается использовать следующие методы:

1. Для решения транспортной задачи – метод аппроксимации Фогеля, являющийся способом составления первого допустимого плана. Полученное распределение, особенно при небольшой размерности задачи, является оптимальным или достаточно близким к нему.
2. Для составления маршрутов – метод воображаемого луча (метод Свира).

3. Для решения задачи коммивояжера – ускоренный метод "ветвей и границ" (решение ведется только по одной "ветке", без проверки на оптимальность других).

4. Вместо моделирования составляющих перевозочного процесса проводится оценка интервалов времени прибытия транспортного средства и времени окончания разгрузки для каждого потребителя по формулам (время доставки груза "точно – во – время" T_{TB}):

$$\text{для верхней границы} \quad T_{TB}^B = T_H + \overline{T_c} + \alpha_p \cdot \sigma_{TC}, \quad (10.18)$$

$$\text{для нижней границы} \quad T_{TB}^B = T_H + \overline{T_c} - \alpha_p \cdot \sigma_{TC}, \quad (10.19)$$

где $\overline{T_c}$ - среднее значение доставки объема груза, ч;

σ_{TC} – среднеквадратичное отклонение времени доставки груза, ч;

α_p – квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности Р.

Величины $\overline{T_c}$ и σ_{TC} определяются по формулам:

$$\overline{T_c} = \sum_j \overline{T_{e_j}}, \quad (10.20)$$

$$\sigma_{TC} = \sqrt{\sum_j \sigma_j^2 + 2 \cdot \sum_{i \leq j} r_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j}, \quad (10.21)$$

где $\overline{T_{e_j}}$ среднее значение времени доставки груза к j-ому потребителю, ч;

σ_j – **среднеквадратичное отклонение времени доставки груза к j-ому потребителю, ч;**

r_{ij} – **коэффициент парной корреляции между временем на выполнение i-ой и j-ой едки.**

Для расчетов можно принять значение коэффициента парной корреляции равным нулю.

Проведем расчет с использованием выделенных методов. Предположим, что требуется из двух пунктов a_1 и a_2 перевезти груз восьми грузополучателям b_1, b_2, \dots, b_8 , в объеме (Q), представленном в табл. 10.11; там же приведены расстояния между грузоотправителями и грузополучателями.

Объем перевозок груза и расстояние между грузообразующими и грузопоглощающими пунктами

Объем перевозок		Пункты разгрузки								Итого
Пункт погрузки		b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	
Q, т		0,25	0,3	0,45	1,5	0,5	0,6	1,0	1,1	5,7
a_1	l, км	10	12	15	11	13	15	14	10	-
a_2	l, км	9	18	14	17	11	10	12	8	-

Решим транспортную задачу методом Фогеля. В каждой строке и столбце матрицы кратчайших расстояний найдем два наименьших элемента и определим абсолютную разность между ними. Например, для первой строки, относящейся к первому пункту погрузки, значения наименьших элементов равны 10 км, таким образом, разность равна нулю. Затем выбираем наибольшую величину разности и в клетку с минимальным элементом заносим максимально возможную загрузку, учитывая при этом ресурсы поставщика и спрос потребителя. При наличии двух одинаковых наибольших разностей загрузку записывают в клетку, имеющую наименьший элемент (табл. 10.12). Если окажется, что спрос потребителя полностью удовлетворен или ресурс поставщика полностью исчерпан, то данная строка или столбец из дальнейшего рассмотрения исключается.

Таблица 10.12

Определение первого загруженного элемента

Объем перевозок		Пункты разгрузки								Столбец разностей
Пункт погрузки		b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	
Q, т		0,25	0,3	0,45	1,5	0,5	0,6	1,0	1,1	

a_1	l, км	10	12	15	11	13	15	14	10	0
a_2	l, км	9	18	14	17	11	10	12	8	1
Строка разностей		1	6	1	6	2	5	2	2	

Наибольшая разность равна шести, минимальный элемент – 11, из пункта a_1 в пункт b_4 перевозится максимально возможный объем – 1,5 тонны груза. Спрос потребителя полностью удовлетворен, поэтому данный столбец из дальнейшего рассмотрения исключается. Необходимо пересчитать разности (табл. 10.13).

В табл. 10.13 наибольшая разность – 6, минимальный элемент – 12, таким образом, из пункта a_1 в пункт b_2 перевозится максимально возможный объем – 0,3 тонны груза. Далее операция повторяется до тех пор пока не будет составлена допустимая программа распределения (табл. 10.14).

Таблица 10.13

Определение второго загруженного элемента

Объем перевозок		Пункты разгрузки							Столбец разностей
Пункт погрузки		b_1	b_2	b_3	b_5	b_6	b_7	b_8	
Q, т		0,25	0,3	0,45	0,5	0,6	1,0	1,1	
a_1	l, км	10	12	15	13	15	14	10	0
a_2	l, км	9	18	14	11	10	12	8	1
Строка разностей		1	6	1	2	5	2	2	

Таблица 10.14

Решение транспортной задачи

Пункт погрузки	Пункты разгрузки								Итого:
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	b ₈	
a ₁	0,25	0,3		1,5					2,05
a ₂			0,45		0,5	0,6	1,0	1,1	3,65

Набор пунктов в маршрут выполним методом Свира, используя схему дислокации пунктов относительно друг друга, представленную на рис. 10.3. Грузоподъемность транспортных средств предполагается равной 2,2 тонны.

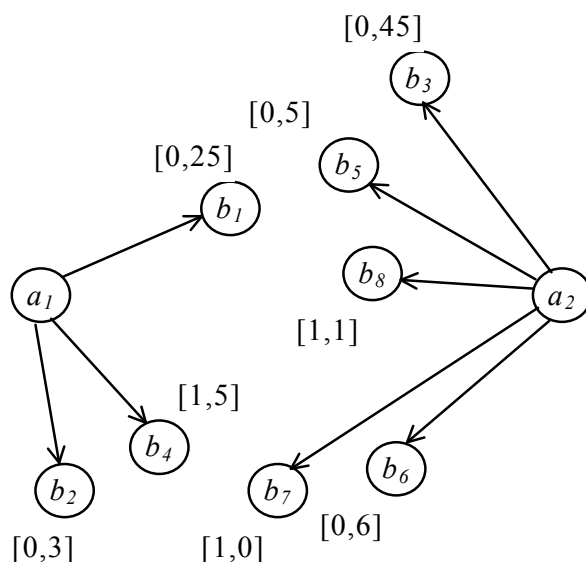


Рис. 10.3. Дислокация грузообразующих и грузопоглощающих пунктов

Согласно методу Свира воображаемый луч, исходящий из пункта погрузки, например a₁, вращаясь против (или по) часовой стрелки "стирает" изображения пунктов разгрузки. Маршрут считается сформированным, если включение следующего пункта приведет к превышению объема перевозки над

грузоподъемностью транспортного средства. Первым пунктом маршрута будет b_2 с объемом перевозки 0,3 тонны, следующий пункт – b_4 , суммарный объем составит 1,8 тонны. Включение пункта b_1 в маршрут так же возможно, так как не произойдет превышение грузоподъемности подвижного состава.

Метод Свира для пункта a_2 позволяет получить два маршрута. Первый включает два пункта b_6 и b_7 с суммарным объемом перевозки 1,6 тонны, а второй – три b_3 , b_5 и b_8 , объем – 2,05 тонны.

Порядка объезда пунктов на маршруте предлагается определять ускоренным методом "ветвей и границ", для применения которого необходимо определить кратчайшие расстояния между пунктами включаемыми в один маршрут (табл. 10.15). Предположим, что матрица симметрична.

Таблица 10.15

Таблица кратчайших расстояний между пунктами маршрутов

a_1	a_1				a_2	a_2				a_2	a_2			
b_1	10	b_1			b_6	10	b_6			b_3	14	b_3		
b_2	12	20	b_2		b_7	12	3	b_7	b_5	11	4	b_5		
b_4	11	19	4	b_4					b_8	11	7	4	b_8	

Применение метода рассмотрим на маршруте, включающем пункты a_1 , b_1 , b_2 и b_4 .

1. Определяем нижнюю границу. Для этого из каждого элемента строки вычитаем наименьший элемент этой строки

(табл. 10.16, а). Затем из полученных элементов каждого столбца новой матрицы вычитают наименьший элемент этого столбца (табл. 10.16, б).

Приведенная матрица показана в табл. 10.16, б. Справа и внизу матрицы показаны константы приведения – минимальные элементы, которые вычитались вначале из строк, а затем из столбцов матрицы.

Таблица 10.16

Определение нижней границы множества "все решения"

а).		a_1	b_1	b_2	b_4	
	a_1	∞	0	2	1	10
	b_1	0	∞	10	9	10
	b_2	8	16	∞	0	4
	b_4	7	15	0	∞	4

б).		a_1	b_1	b_2	b_4	
	a_1	∞	0	2	1	10
	b_1	0	∞	10	9	10
	b_2	8	16	∞	0	4
	b_4	7	15	0	∞	4
		0	0	0	0	28

Сумма констант, равная 28, является нижней границей протяженности для всех маршрутов, то есть для множества "все решения".

2. Нулевые расстояния в клетках матрицы указывают на наличие минимальных по протяженности маршрутов, поэтому при построении развозочного маршрута в первую очередь рассматриваются элементы с нулевыми протяженностями.

Для этого определяются оценки всех элементов приведенной матрицы как сумму наименьших величин

протяженности соответствующей строки и столбца. Например, для нулевого элемента a_1b_1 оценка составит $1 + 15$. Оценка показывает на потери от невключения данного элемента в маршрут. Проставим ее в правом верхнем углу (табл. 10.17).

Таблица 10.17

Определение оценок для нулевых элементов матрицы

	a_1	b_1	b_2	b_4
a_1	∞	0^{16}	2	1
b_1	0^{16}	∞	10	9
b_2	8	16	∞	0^9
b_4	7	15	0^9	∞

Для того, что бы избежать больших потерь, следует в первую очередь включить в маршрут нулевой элемент с наибольшей оценкой. В примере максимальная оценка, равная 16, соответствует двум элементам. В этом случае выбирается любая из пар, например a_1b_1 .

3. Для ветвления множества его необходимо разделить на два вида: маршруты первого подмножества будут включать пару a_1b_1 , а маршруты второго ее не включают.

Нижняя граница второго подмножества равна сумме значений нижней границы разделяемого множества и величины оценки пары a_1b_1 , то есть $28 + 16 = 44$. Строку a_1 и столбец b_1 исключают из рассмотрения, то есть удаляют из матрицы. Выбор в дальнейшем пары b_1a_1 привел бы к нарушению условия о заезде в каждый пункт только по одному разу. Поэтому пара b_1a_1

блокируется, проставляя в соответствующую клетку матрицы знак блокировки () вместо прежнего значения.

4. Преобразованная и приведенная матрица приведена в табл. 10.18. В процессе вычисления констант появились константы, равные 9 и 7 соответственно. Следовательно, протяженность подмножества, включающего пару a_1b_1 , увеличивается на 16 ($28 + 16 = 44$).

Таблица 10.18

Матрица с исключенными строкой a_1 и столбцом b_1

	a_1	b_2	b_4	
b_1	∞	1	0^1	9
b_2	1	∞	0^1	0
b_4	0^1	0^1	∞	0
	7	0	0	16

Как видно из табл. 10.18 все пары имеют одинаковые оценки, равные 1. Выбираем, например, пару b_1b_4 . Протяженность множества, не включающего пару b_1b_4 , увеличивается на 1 ($44 + 1 = 45$). Исключаем соответствующие столбец и строку из дальнейшего рассмотрения. Столбец b_1 из матрицы удален, поэтому знак блокировки не ставиться (табл. 10.19). В процессе вычисления появилась константа 1, поэтому увеличиваем нижнюю границу на 1 ($44 + 1 = 45$).

Таблица 10.19

Матрица с исключенными строкой b_1 и столбцом b_4

	a_1	b_2	
b_2	0^∞	∞	1
b_4	0^0	0^∞	0
	0	0	1

Полученную матрицу 2×2 легко решить. недостающими парами пунктов в маршруте будут: b_4b_2 и b_2a_1 .

Таким образом, получен маршрут $a_1b_1 - b_1b_4 - b_4b_2 - b_2a_1$, протяженностью 45 км.

Решение можно представить в виде схемы, называемой "деревом решений" (рис. 10.4).

Для ускоренного метода проверка по всем остальным "ветвям" не проводится, в отличие от точного метода "ветвей и границ".

Аналогичным образом определяем порядок объезда пунктов на двух других маршрутах: $a_2b_6 - b_6b_7 - b_7a_2$, длиной 25 км; $a_2b_3 - b_3b_5 - b_5b_8 - b_8a_2$, длиной 33 км (рис. 10.5).

Для определения временных интервалов прибытия подвижного состава в пункты маршрутов воспользуемся формулами (10.18) и (10.19). Характеристики случайных величин (среднее значение и среднее квадратическое отклонение) представлены в табл. 10.8. Для времени погрузки воспользуемся данными для второго маршрута первого примера.

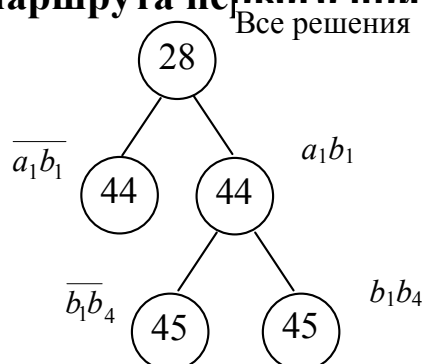


Рис. 10.4. Дерево решений для метода "ветвей и границ"

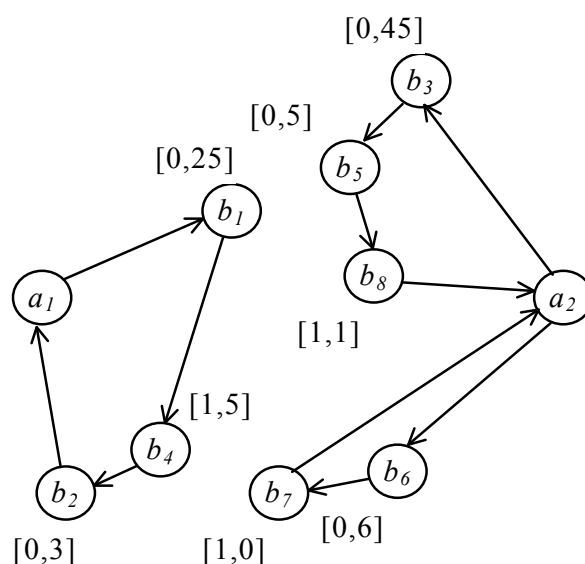


Рис. 10.5. Маршруты движения транспортных средств

Проведем оценку времени доставки на первом из маршрутов, предполагая, что время погрузки у поставщика – 8 утра. Среднее времени доставки груза первому потребителю b_1 будет определяться как сумма средних значений времени погрузки, времени движения и времени разгрузки; среднее

квадратичное отклонение рассчитывается как квадратный корень из суммы дисперсий указанных величин.

Среднее значение времени движения определяется как отношение расстояния перевозки (10 км) к среднему значению скорости движения $t_{дв} = 0,32$ ($10 / 31 = 0,32$). Среднее квадратическое отклонение времени движения ($\sigma_{дв}$) определяется, исходя из утверждения, что значения коэффициентов корреляции ν для скорости и времени движения равны. Коэффициент корреляции для технической скорости равен 2,5. Поэтому, $\sigma_{дв}$ определяется как произведение среднего значения времени движения и коэффициента корреляции скорости ($\sigma_{дв} = 0,34 \cdot 2,5 = 0,8$ ч).

Коэффициент α_p принимается в зависимости от установленной вероятности нахождения затрат времени в пределах расчетных. Для нормального закона коэффициент может быть выбран по данным, представленным в табл. 10.20.

При $\alpha_p = 1,0$ прибытие подвижного состава в установленное пределами время может ожидаться в 68,3% случаев; при $\alpha_p = 2,0$ – в 95,4%, а уже при $\alpha_p = 3,0$ практически не должно быть случаев выхода затрат времени за установленные пределы.

Таблица 10.20

Значение квантиля нормального распределения, соответствующее вероятности Р

Значение коэффициента α_p	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Вероятность нахождения затрат времени в пределах	38,3	68,3	86,6	95,4	98,8	99,7

расчетных, %						
--------------	--	--	--	--	--	--

Допустимое отклонение затрат времени для определения взаимоотношений с клиентурой предлагается рассчитывать по коэффициенту $\alpha_p = 2,5 - 3,0$, что гарантирует большую надежность выполнения обязательств. При составлении расписания работы водителя для стимулирования четкой работы можно принять $\alpha_p = 1,0 - 2,0$ [6].

Верхняя граница времени доставки груза потребителю b_1 при $\alpha_p = 1,5$ равна:

$$\overline{T}_{e_{b_1}}^B = (1,50 + 0,32 + 0,50) + 1,5 \cdot \sqrt{0,4^2 + 0,8^2 + 0,5^2} = 3,35 \text{ ч}$$

нижняя граница:

$$\overline{T}_{e_{b_1}}^H = (1,50 + 0,32 + 0,50) + 1,5 \cdot \sqrt{0,4^2 + 0,8^2 + 0,5^2} = 1,29 \text{ ч}$$

Таким образом, время доставки груза первому потребителю на маршруте составит $(10 - 19) \pm (1 - 02)$ ч. Для второго пункта b_4 среднее время доставки определяется как сумма времени доставки в первый пункт маршрута, времени движения между первым и вторым потребителем и времени разгрузки у второго потребителя; среднее квадратическое отклонение рассчитывается как квадратный корень из сумм дисперсий указанных величин.

Аналогичным образом рассчитываются интервалы доставки груза остальным потребителям на маршруте и время прибытия в начальный пункт погрузки (табл. 10.21).

Таблица 10.21

Временные интервалы прибытия автомобиля в пункты первого маршрута

Пункт разгрузк и	Гарантированное время доставки		Верхняя я граница	Нижняя граница
	ч – мин	± ч - мин		
b₁	10-19	1-02	11-21	9-17
b₄	11-26	1-55	14-21	9-31
b₂	12-04	2-00	14-04	10-04
a₁	12-27	2-13	14-40	10-14

Для двух других маршрутов временные интервалы представлены в табл. 10.22.

Таким образом, получена оценка времени прибытия подвижного состава в пункты маршрута, сравнивая которые с ограничениями потребителей по времени доставки груза, принимается решение о количестве транспортных средств и их назначению на маршруты. Например, можно ли одним подвижным составом осуществить перевозку на двух маршрутах (втором и третьем), не будет ли при этом нарушено требование "точно во время"? Требуется также проанализировать вероятность прибытия транспортного средства в пункт разгрузки (погрузки) в обеденный или технологический перерыв, что может увеличить время выполнения перевозки.

Рассмотренный пример свидетельствует о высокой степени надежности результата, полученного при реализации алгоритма

ускоренного планирования, поэтому, учитывая, что процедура его применения максимально упрощена, он имеет большую практическую значимость.

Таблица 10.22

Временные интервалы прибытия автомобиля в пункты второго и третьего маршрутов

Пункт разгрузк и	Гарантированное время доставки		Верхняя я граница	Нижняя граница
	ч – мин	± ч - мин		
Второй маршрут				
b₆	10-19	1-02	11-21	9-17
b₇	10-55	1-10	12-05	9-45
a₂	11-18	1-31	12-49	9-39
Третий маршрут				
b₃	10-27	1-18	11-45	9-09
b₅	11-05	1-26	12-31	9-39
b₈	12-43	1-33	14-16	11-10
a₂	13-04	1-47	14-51	11-17

10.3. Смешанные перевозки: выбор вида транспорта

Смешанными (интермодальными) перевозками называются перевозки грузов несколькими видами транспорта по единому перевозочному документу с передачей грузов в пунктах перевалки одним видом транспорта другому без участия грузовладельца [21]. Отличие смешанной перевозки от унимодальной (одновидовой) заключается в том, что последняя осуществляется одним видом транспорта.

В то же время в работе [23] указывается, что смешанная раздельная перевозка осуществляется обычно двумя видами транспорта: морской – автомобильный, железнодорожный – автомобильный и т.д., при отсутствии единой тарифной ставки фрахта и наличие нескольких транспортных документов. При прямой смешанной перевозке грузовладелец заключает договор с первым перевозчиком, который действует от себя и от имени следующего перевозчика.

Наконец, смешанной перевозкой называется транспортировка грузовой партии от пункта отправления до пункта назначения, когда для процесса перемещения используется более одного вида транспорта [29].

Около 90% российских внешнеторговых грузов осуществляется с использованием нескольких видов транспорта. Использование интермодальных схем перевозок позволяет экономить время, умело устранять недостатки различных видов транспорта, используя преимущества другого, повышать качество обслуживания клиентов и снижать транспортные расходы.

Рассмотрим задачу выбора маршрута и видов транспорта для осуществления смешанной международной перевозки контейнеров из Пуссана (Республика Корея) до Москвы (Российская Федерация). Данное направление выбрано потому, что Юго-Восточная Азия по-прежнему остается главным поставщиком грузов в Европу, и вопросы развития евроазиатского транзита через Россию становятся в последнее время все более актуальны (ежегодно по

транспортным коридорам Азия-Европа перевозится около 90 млн. тонн грузов, причем почти 30% этого грузопотока следует в контейнерах).

На рис. 10.6. приведены маршруты перевозок из порта Пуссан до дверей получателя в Москве. Характеристики выбранных маршрутов и организации перевозок представлены в табл. 10.23. Из таблицы видно:

- все маршруты включают два или три вида транспорта: при этом один из них – морской;
- при использовании железнодорожного транспорта предусматривается возврат контейнеров в порты, откуда была осуществлена поставка;
- при сборе информации были использованы данные разных компаний.

В табл. 10.24 приведены составляющие затрат смешанных перевозок. При формировании табл. 10.24 учитывались следующие факторы:

- все ставки включают морской фрахт, выгрузку в порту, погрузку на подвижной состав (автомобили или железнодорожные платформы);
- ставки не включают в себя расходы, связанные с растаможиванием груза и дополнительные расходы в порту, связанные с досмотром контейнеров;
- ставка морского фрахта взята базовая, хотя возможно в процессе переговоров ее снижение на 200 долл., а при больших объемах – до 400 долл.;
- ставка морского фрахта на Санкт-Петербург включает дополнительную зимнюю надбавку за ледовую обстановку, равную 50 долл.;
- ставка за автомобильные перевозки на маршрутах 1 – 4 и 7 предусматривает доставку «до дверей» получателя, на маршрутах 5, 6 и 8 ставка включает доставку по Москве;
- железнодорожная ставка (тариф) включает в себя возврат контейнера;
- на маршрутах 1 и 3 в итоговую ставку включены расходы на обработку контейнеров в порту Котка (182 долл.).

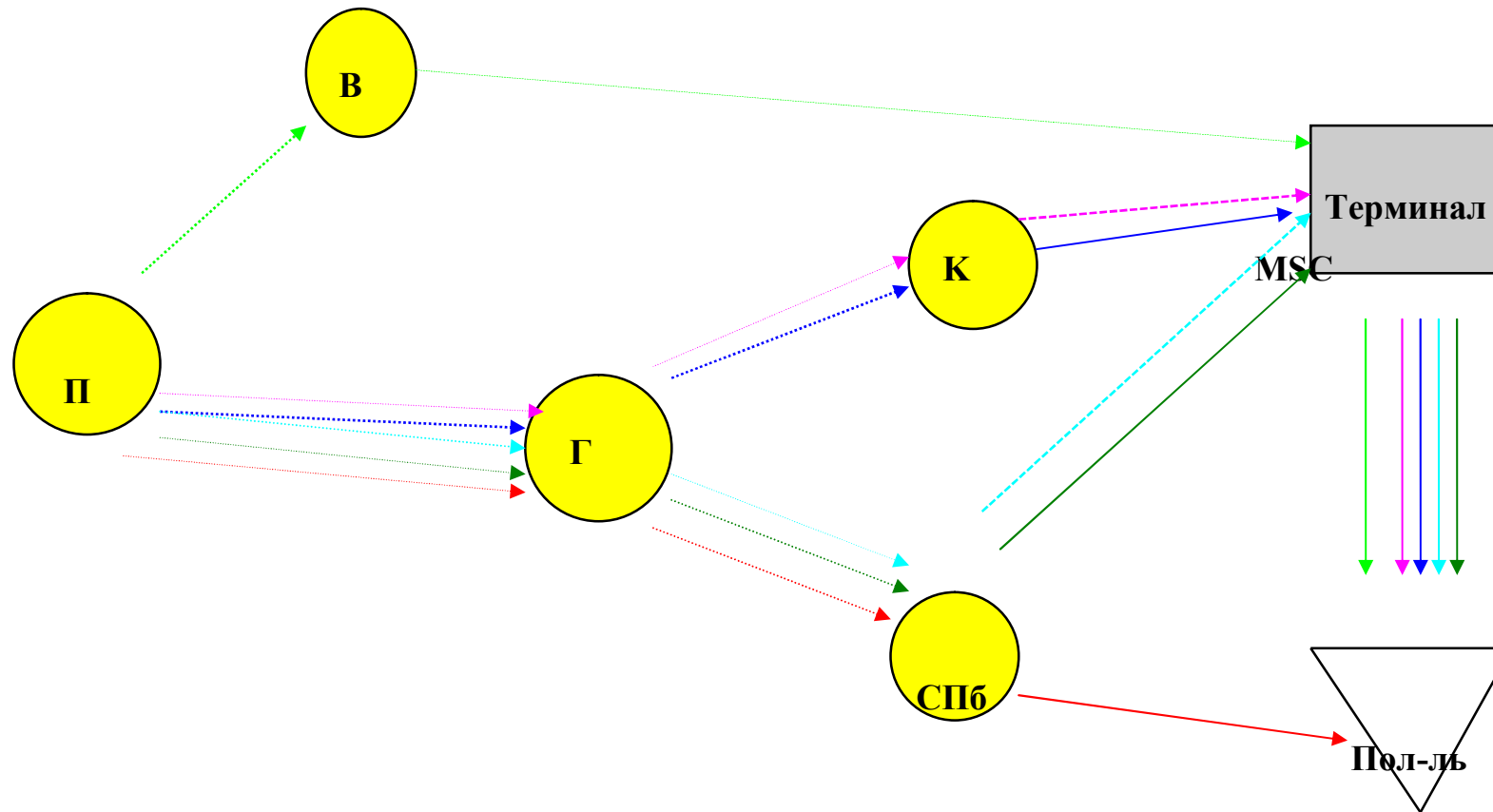


Рис. 10.6. Маршруты по направлению Пусан-Москва

Условные обозначения



- Порт (П - Пуссан, В - Восточный, Г - Гамбург, СПб - Санкт-Петербург, К - Котка);

— перевозка а/м ; перевозка морем ; перевозка ж/д ;

 - маршрут 1 ;  - маршрут 2 ;  - маршрут 5 ;

 - маршрут 6 ;  - маршрут 7 ;  - маршрут 8

Таблица 10.23.

Краткая характеристика смешанных перевозок на маршрутах Пуссан-Москва

Номер маршрута	Характеристика	Виды транспорта	Примечание
1	Через порт Котка (Финляндия)	Морской + авто	Морская перевозка – компания «APL»
2	Через порт Санкт-Петербург	Морской + авто	Морской перевозчик – компания «APL»
3	Через порт Котка	Морской + авто	Морской перевозчик – компания «CS»
4	Через порт Санкт-Петербург	Морской + авто	Морской перевозчик – компания «CS»
5	Через порт Котка	Морской + ж\д + авто	Возврат контейнера по ж\д
6	Через порт Санкт-Петербург	Морской + ж\д + авто	Возврат контейнера по ж\д
7	Через порт Санкт-Петербург	Морской + авто	Автомобильная перевозка под режимом «таможенный перевозчик»
8	Через порт Восточный (по Транссибу)	Морской + ж\д + авто	Возврат контейнера по ж\д

В табл. 10.25 приведены данные о сроках доставки на рассматриваемых маршрутах. Указанное в табл. 10.25. время ожидания включает время перевалки, время растомаживания, время погрузки и выгрузки.

В табл. 10.26 приведены обобщенные данные о ставках и времени перевозки на маршрутах.

Таблица 10.24.

Ставки (составляющие затрат) при смешанных перевозках на маршрутах Пуссан - Москва

Номер маршрута (порт)	Виды транспорта	Составляющие затрат			Ставка (общие затраты), долл.
		Морская	Автотранспорт	Железнодорожный транспорт	
1 (К)	М + а\м	1680*	1100	-	2962 **
		2910			4192
2 (СПб)	М + а\м	1910	600	-	2510
		3400			4050
3 (К)	М + а\м	1950	1100	-	2690
		3420			4250
4 (СПб)	М + а\м	2090	600	-	2690
		3600			4200
5 (К)	М + ж/д + а\м	1680	230	359	2987
		2910	310	620	4585
6 (СПб)	М + ж/д + а\м	1910	900	-	2499
		3400			4330
7 (СПб)	М + а\м	1910	900	-	2810
		3400			4300
8 (В)	М + ж/д + а\м	1075	230	1046	2331
		1950	310	1857	4117

Примечание: *) в числителе – 20-футовый контейнер (20' DC); в знаменателе – 40-футовый контейнер (40' DC); **) с учетом обработки в порту Котка.

Таблица 10.25

Временные составляющие при смешанных перевозках на маршрутах
Пуссан – Москва, дней

Номер маршрута (порт)	Морская перевозка	Наземная перевозка	Время ожидания	Суммарное время
1 (К)	26+3=29	2	2 дня перевалка + 2 (MSC)	35
2 (СПб)	26+4=30	1	2+7+1+1=11	42
3 (К)	31+3=34	2	2+2=4	40
4 (СПб)	31+4=35	1	2+7+1+1=11	47
5 (К)	26+3=29	7	2+3+2=7	43
6 (СПб)	26+4=30	5	2+7+2=11	46
7 (СПб)	26+4=30	1	7+1+2=10	41
8 (В)	2	15 (17)	≈ 5	22 (24)

Приведенные стоимостные и временные оценки маршрутов представляют собой два критерия, т.е. по-существу, получена многокритериальная оценка. Для получения однокритериальной оценки воспользуемся формулой, приведенной в работе Смолина Е.В. (ГУУ, Москва):

$$C^* = (C_T + C_{пер})(1+i)^n, \quad (10.22)$$

где C^* - оценка стоимости груза и его доставки с учетом фактора времени (интегральная оценка);

C_T – закупочная стоимость товара;

$C_{\text{пер.}}$ – стоимость перевозки;

$(1 + i)^n$ - множитель наращивания процентов по процентной ставке i за n периодов.

Следует указать, что в работе [29] используется аналогичная формула, но без учета $C_{\text{пер.}}$.

Средняя банковская ставка по краткосрочным валютным кредитам $i = 15\%$ в год.

Величина n может быть рассчитана с учетом доставки T :

$$n = T / 365 \quad (10.23)$$

В качестве стоимости перевозки при расчете по формуле используются ставки на соответствующих маршрутах.

При определении величины C_T следует воспользоваться данными таможенной статистики. Так, при перевозке в 20-футовом контейнере средняя стоимость груза составляет 20 тыс. долл. Однако, в работе [29] указывается, что согласно таможенной статистике ГТК РФ декларируемая иностранными грузовладельцами стоимость транзитных товаров составляет около 5 тыс. долл. за 1 тонну. При средней загрузке 20-футового контейнера около 10 т., средняя стоимость товаров в транзитных контейнерах составляет 50 тыс. долл.

Примем для сравнительных расчетов для 20-футового контейнера $C_T = 35$ тыс. долл.

Рассчитаем величину интегральной оценки C^* для первого маршрута.

При постановке значений в формулу (10.22) для 20-футового контейнера находим:

$$C^* = (35000 + 2962)(1 + 0,15)^{35/365}, \quad (10.24)$$

Результаты аналогичных расчетов для остальных маршрутов приведены в табл. 10.26. Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

1. При транспортировке 20-футовых контейнеров наиболее предпочтительным по ставкам и времени доставки является восьмой маршрут (по Транссибирской магистрали).
2. При транспортировке 40-футовых контейнеров наименьшая ставка имеет место на втором маршруте (через порт Санкт-Петербург при использовании автомобильного транспорта), тогда как наиболее быстрая доставка обеспечивается на восьмом маршруте (также, как и 20-футовых контейнеров).
3. Интегральная оценка для 20-футовых контейнеров дает предпочтение восьмому маршруту.
4. Несомненно, что исследования по применению многокритериальных оценок и многокритериальной оптимизации в моделях и методах прикладной теории логистики должны быть продолжены.

Таблица 10.26

Результаты расчетов ставок и времени доставки на маршрутах
Пуссан – Москва

Номер маршрута (порт)	Ставки за доставку контейнера, долл.		Общее время, дни	Интегральная оценка C^* , долл.
	20' DC	40' DC		
1 (К)	2962	4192	35	38493
2 (СПб)	2510	4050	42	38110
3 (К)	3232	4702	40	38813
4 (СПб)	2690	4250	47	38406
5 (К)	2987	4585	43	38606
6 (СПб)	2499	4330	46	38174
7 (СПб)	2810	4300	41	38404

8 (B)	2351	4117	22 (24)	37668
-------	------	------	---------	-------

ЛИТЕРАТУРА

1. Атрохов Н.А. О задаче коммивояжера // Повышение эффективности и качества автотранспортного обслуживания. – М.: МАДИ, 1989. – с. 72-74.
2. Бауэрсокс Дональд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: «Олимп – Бизнес», 2001 – 640 с.
3. Беленький А.С. Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования. – М.: Мир, 1992. – 582 с.
4. Бережной В. И., Порохня Т. А., Цвиринько И. А. Управление материальными потоками микрологической системы автотранспортного предприятия. – Ставрополь.: СевКаз ГТУ, 2002. – 198с.
5. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник для высших и средних учебных заведений. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 2000. – 375 с.
6. Гаджинский А. М. Практикум по логистике. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-книготорговый центр «Маркетинг», 2001. – 180 с.
7. Джонсон Дж. С. и др. Современная логистика, 7-е издание. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002 – 624 с.
8. Кожин А.П., Мезенцев В.Н. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1994. – 304 с.
9. Косова Л. Н., Мужейникова Т. В. Логистика: Учебн. пособие. – М.: Изд-во МГУП, 1999.- 79 с.
10. Линдерс Майкл Р., Фирон Харольд Е. Управление снабжением и запасами. Логистика – СПб.: ООО «Виктория плюс», 2002 – 768с.
11. Логистика: Учебное пособие / Под ред. Б.А. Аникина. – М.; 2000. – 352 с.
12. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. Прогнозирование надежности автомобилей – Л.: Политехника, 1991 – 220с.

13. Лукинский В.С. и др. Логистика автомобильного транспорта. Концепция, методы, модели – М.: Финансы и статистика, 2000.
14. Лукинский В. С. и др. Оценка влияния размещения складской сети на транспортные расходы. Экономика и менеджмент на транспорте: Сб. научн. тр.: Вып.2. - СПб.: СПбГИЭУ, 2002. - с.99 - 106
15. Международные автомобильные перевозки: Учеб. пособие / Под ред. Ю.С. Сухина, В.С. Лукинского. – СПб.: СПбГИЭУ, 2001. – 204 с.
16. Малевич Ю. В. Вероятностный подход к определению уровня материально-производственных запасов. Экономика и менеджмент на транспорте: Сб. научн. тр.: Вып.2. - СПб.: СПбГИЭУ, 2002. - с.115-117
17. Неруш Ю.М. Логистика: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 389 с.
18. Николайчук В. Е. Логистика: СПб.: Питер, 2001 – 160 с.
19. Основы логистики: Учебное пособие / Под ред. Л.Б. Миротина и В.И. Сергеева – М.: ИНФРА-М, 2000. – 200 с.
20. Практикум по логистике: учебное пособие / Под ред. Б.А. Аникина – М.: ИНФРА-М, 1999. – 270 с.
21. Родников А. Н. Логистика: Терминологический словарь. – М.: Экономика, 1995 – 251 с.
22. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами – СПб.: Питер, 2001 – 384 с.
23. Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес-логистике. – М.:Филинь, 1997. – 772 с.
24. Смехов А.А. Основы транспортной логистики. – М.: «Транспорт», 1995 – 197 с.
25. Транспортная логистика. Учебное пособие / Под ред. Л.Б. Миротина – М.: МГАДИ (ТУ), 1996. – 211 с.
26. Уваров С.А. Логистика: общая концепция, теория и практика. - СПб.: "ИВЕСТ-НП", 1996. - 232 с.

27. Шульга Г. В., Лукинский В. В. Выбор варианта доставки контейнеров. Экономика и менеджмент на транспорте: Сб. научн. тр.: Вып.2 - СПб: СПбГИЭУ, 2002 - с.160-163.
28. Щетина В. А., Лукинский В. С., Сергеев В. И. Снабжение запасными частями на автомобильном транспорте – М.: Транспорт, 1988 – 109с.
29. Экономика и организация внешнеторговых перевозок: Учебник / Под ред. проф. К. В. Холопова. - М.: Юристъ, 2000. - 684 с.