

Г. Л. Бродецкий, В. Д. Герами, А. В. Колик, И. Г. Шидловский

**УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ
МНОГОФАКТОРНАЯ
ОПТИМИЗАЦИЯ
ПРОЦЕССА ПОСТАВОК**

УЧЕБНИК ДЛЯ СПО

Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебника для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования

**Книга доступна в электронной библиотеке biblio-online.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2019

УДК 339.142(075.32)

ББК 65.2/4я723

Б88

Авторы:

Бродецкий Геннадий Леонидович — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры логистики Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;

Герامي Виктория Дарабовна — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления логистической инфраструктурой факультета логистики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;

Колик Александр Вениаминович — кандидат технических наук, профессор кафедры управления логистической инфраструктурой факультета логистики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;

Шидловский Иван Геннадьевич — кандидат экономических наук, преподаватель профессор кафедры управления логистической инфраструктурой факультета логистики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Рецензенты:

Резер С. М. — доктор технических наук, профессор, генеральный директор Института проблем транспорта и логистики, президент «Гильдии экспедиторов», заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, почетный работник транспорта России;

Косоруков О. А. — доктор технических наук, профессор, заместитель декана по науке Высшей школы управления и инноваций Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Бродецкий, Г. Л.

Б88 Управление запасами: многофакторная оптимизация процесса поставок : учебник для СПО / Г. Л. Бродецкий, В. Д. Герامي, А. В. Колик, И. Г. Шидловский. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 322 с. — (Серия : Профессиональное образование).

ISBN 978-5-534-10776-0

В учебнике описаны новые модели и методы выбора оптимального размера партии поставок при решении задач управления запасами. Предложенные авторами методы позволяют учитывать такие факторы, как грузовместимость транспортных средств, возможность использования одного или нескольких транспортных средств, дисциплина формирования издержек хранения, изменение ценности денег со временем, а также возможность оплаты очередной партии за счет выручки, полученной от предыдущей. Разработанные модели позволяют учитывать как однономенклатурные, так и многономенклатурные системы поставок. Учебник содержит тестовые задания для углубленной проработки материала.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Для студентов среднего профессионального образования, может быть полезна слушателям бизнес-школ, факультетов переподготовки и повышения квалификации, аналитикам и менеджерам в области логистики.

УДК 339.142(075.32)

ББК 65.2/4я723



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Бродецкий Г. Л., Герامي В. Д., Колик А. В., Шидловский И. Г., 2019

© ООО «Издательство Юрайт», 2019

ISBN 978-5-534-10776-0

Оглавление

Предисловие	7
-------------------	---

Раздел I МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОДНОНОМЕНКЛАТУРНЫЕ EOQ-МОДЕЛИ

Глава 1. Учет временной ценности денег	17
1.1. Проблема учета временной ценности денег при управлении запасами.....	18
1.2. Процедуры учета временной ценности денег при оптимизации запасов: простые проценты.....	22
1.3. Структура денежных потоков и рентабельность цепи поставок.....	28
1.4. Требования к эффективности поставок и соответствующие ограничения на процедуры оптимизации	33
1.5. Решения при нарушении системы ограничений на процедуры оптимизации.....	38
1.6. Моделирование численной ситуации.....	42
1.7. Учет влияния фактора грузопместимости транспортного средства.....	45
1.8. Специфические требования к процедурам оптимизации с учетом грузопместимости транспортных средств	48
1.9. Эффективность поставок несколькими транспортными средствами без скидки.....	49
Глава 2. Учет временной ценности денег в сочетании с издержками аренды мест хранения	57
2.1. Особенности оптимизации цепи поставок	58
2.2. Процедуры модификации модели управления запасами	61
2.3. Оценка рентабельности моделируемой цепи поставок.....	65
2.4. Требования к эффективности цепи поставок и ограничения на процедуры оптимизации при учете аренды.....	71
2.5. Оптимизация при учете аренды с нарушением ограничений.....	75
2.6. Иллюстрации на основе моделирования численной ситуации.....	79
2.7. Влияние фактора грузопместимости при аренде мест хранения	83
2.8. Специфика требований к процедурам оптимизации с учетом грузопместимости транспортных средств при аренде мест хранения ..	85
2.9. Эффективность поставок несколькими транспортными средствами без скидки (с учетом грузопместимости и аренды мест хранения)	86

Глава 3. Учет грузопместимости транспортных средств и возможности поставки несколькими транспортными средствами	94
3.1. Универсальное представление модифицированных EOQ-формул	95
3.2. Условия эффективности поставок: универсальное представление.....	100
3.3. Эффективность поставок несколькими транспортными средствами с дисконтом на их стоимость.....	102
3.4. Эффективность поставок любым числом транспортных средств с учетом дисконта	108
3.5. Дополнительные аспекты анализа целесообразности поставок несколькими транспортными средствами.....	110
3.6. Иллюстрация процедур оптимизации транспортного обеспечения поставок с учетом грузопместимости транспортных средств.....	113
3.7. Условия для обеспечения эффективности цепи поставок с учетом грузопместимости транспортного средства	115

Глава 4. Комплексный учет различных параметров в однономенклатурных моделях	123
4.1. Атрибуты EOQ-модели с произвольным числом типов транспортных средств для поставок	124
4.2. Особенности оптимизации стратегии поставок.....	127
4.3. Условие эффективности поставок несколькими транспортными средствами при наличии дисконта	129
4.4. Рентабельность оборотного капитала при поставках несколькими транспортными средствами.....	133
4.5. Алгоритм оптимизации транспортного обеспечения поставок для однономенклатурных моделей управления запасами	135
4.6. Иллюстрация процедур алгоритма оптимизации решений по транспортному обеспечению поставок.....	142

Раздел II

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫЕ EOQ-МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Глава 5. Специфика процедур оптимизации для многопродуктовой модели.....	151
5.1. Формальная постановка задачи оптимизации.....	152
5.2. Оптимальные параметры стратегии управления запасами многономенклатурной модели	155
5.3. Оценка рентабельности оборотного капитала многономенклатурной EOQ-модели.....	157
5.4. Требования к эффективности поставок и ограничения на процедуры оптимизации	163
5.5. Особенности ограничений для процедур оптимизации рентабельных цепей поставок	167
5.6. Иллюстрации процедур оптимизации числовым примером.....	171
5.7. Учет грузопместимости транспортных средств в формате многономенклатурных моделей	175

5.8. Специфика требований к процедурам оптимизации многономенклатурной модели с учетом грузовместимости транспортных средств	180
5.9. Целесообразность многономенклатурных поставок несколькими транспортными средствами без скидки.....	181
Глава 6. Многономенклатурное управление запасами: оптимизация при аренде мест хранения	187
6.1. Атрибуты многономенклатурной оптимизационной модели	188
6.2. Модификация оптимальной стратегии управления запасами	190
6.3. Особенности учета требуемых отчислений из выручки	193
6.4. Оценка рентабельности денежных потоков многономенклатурной цепи поставок с арендой мест хранения	195
6.5. Ограничения на реализацию процедур предлагаемого подхода к оптимизации запасов при учете аренды	202
6.6. Оптимизация при учете аренды с нарушением условий по оплате издержек из выручки	204
6.7. Иллюстрация эффективности предлагаемого подхода к оптимизации многономенклатурных запасов.....	209
6.8. Процедуры учета грузовместимости транспортных средств при оптимизации многономенклатурных запасов с арендой мест хранения	214
6.9. Оптимизация стратегии поставок с учетом грузовместимости транспортных средств при аренде мест хранения	220
Глава 7. Учет грузовместимости транспортных средств в многономенклатурных моделях.....	227
7.1. Универсальное представление модифицированных <i>EOQ</i> -формул для многономенклатурных моделей.....	228
7.2. К вопросу эффективности многономенклатурных поставок: универсальное представление	232
7.3. Многономенклатурные модели с учетом грузовместимости транспортных средств	236
7.4. Эффективность поставок двумя транспортными средствами со скидкой	239
7.5. Эффективность поставок любым числом транспортных средств со скидкой	246
7.6. Дополнительный аспект вопроса целесообразности поставок несколькими транспортными средствами при скидках на стоимость поставок	247
Глава 8. Возможность выбора типа транспортных средств в многономенклатурных моделях.....	250
8.1. Атрибуты <i>EOQ</i> -модели и ее модификаций при выборе типа транспортных средств	251
8.2. Моделирование поставок с учетом грузовместимости разных типов транспортных средств	255
8.3. Эффективность поставок несколькими транспортными средствами при скидках на их стоимость.....	257

8.4. Оценка рентабельности поставок несколькими транспортными средствами с учетом характера их загрузки.....	263
Глава 9. Алгоритм оптимизации транспортного обеспечения многономенклатурных поставок	269
9.1. Структурное представление алгоритма оптимизации поставок.....	270
9.2. Шаги алгоритма оптимизации: выбор решения при поставках одним транспортным средством.....	273
9.3. Шаги алгоритма оптимизации: выбор решения при поставках несколькими транспортными средствами.....	280
Глава 10. Особенности оптимизации многономенклатурных поставок с учетом выбора транспортных средств и их грузопместимости	286
10.1. Атрибуты анализируемой EOQ-модели.....	287
10.2. Блок-схема алгоритма оптимизации поставок	290
10.3. Методические рекомендации по применению алгоритма оптимизации поставок.....	295
10.4. Практическая реализация алгоритма оптимизации параметров стратегии поставок (без учета временной ценности денег).....	298
Тестовые задания (для самостоятельной подготовки).....	307
Список рекомендуемой литературы.....	316
Новые издания Издательства Юрайт по дисциплине.....	321

Предисловие

Одно из многочисленных определений логистики гласит: «Логистика — это наука о системном управлении запасами, которые находятся либо в покое, либо в движении». Вполне очевидное следствие, вытекающее из приведенной дефиниции, заключается в том, что при поиске оптимальных экономических решений в сфере логистики и управления цепями поставок «складская» и «транспортная» их составляющие должны рассматриваться как неразрывные компоненты процесса формирования логистических издержек.

К сожалению, на практике такой подход реализуется далеко не всегда, и не только в силу традиционной разобщенности структур, управляющих формированием запасов, а также транспортным обеспечением деятельности компании. Большинство из применяемых подходов, моделей и методик поиска наилучших решений относительно организации поставок при оптимизации запасов сфокусированы только на одной из указанных компонент. Задачи, связанные с выбором размера и способа поставки, в подавляющем большинстве, решаются на базе классического аппарата управления запасами, ориентированного в первую очередь на «запасы, находящиеся в покое».

Между тем получаемые при этом «оптимальные» или хотя бы просто «хорошие» — в зависимости от применяемых методик — решения нередко перестают быть таковыми в силу вынужденных корректив, которые приходится вносить на практике при организации транспортного обеспечения поставок.

При автомобильных перевозках доступный диапазон грузоподъемности транспортных средств (ТС) относительно невелик. Вместе с тем менеджер по логистике, планируя перевозку, сталкивается по крайней мере с тремя типами ограничений, которые могут заставить его радикально пересмотреть рассчитанный ранее размер партии заказа:

- 1) разрешенные предельно допустимые осевые нагрузки или полная масса ТС на выбранном маршруте заставляют использовать ТС с недогрузкой;
- 2) ценовой скачок в тарифе транспортного оператора между помашинными отправлениями груза и мелкопартионными перевозками вынуждает существенно увеличить размер партии;
- 3) грузоподъемность или грузовместимость транспортного средства не допускает формирования отправки как неделимого груза.

Практика показывает, что при автомобильной перевозке изменение размера партии заказа относительно величины, рассчитанной без учета транспортной составляющей, может достигать 10—15 %.

Планируя железнодорожную поставку, отправитель столкнется с тем, что разница в цене при отправке мелкой партией, повагонной отправкой, группой вагонов или отправительским маршрутом составляет уже десятки процентов. При организации морских перевозок размер судовой партии, определяемый с учетом доступного в данный момент тоннажа, транспортных свойств груза, портов отправления и назначения, а также целого ряда других характеристик, может оказаться критическим фактором для конкурентоспособности цепи поставок вообще!

В данной книге сделана попытка частично восполнить указанный пробел в методическом обеспечении решения задач выбора размера партии поставок товара на основе применения комплекса модифицированных моделей расчета оптимального размера заказа — *EOQ*-моделей. Критерием оптимизации решений выступает традиционное для систем логистики требование минимизации издержек в цепи поставок. Однако предложенные модели позволяют оптимизировать не только параметры стратегии управления запасами, но также параметры транспортного обеспечения поставок — грузоместимость/грузоподъемность ТС, возможность выбора типа ТС, а также возможность организации поставок при использовании нескольких ТС одновременно.

Наряду с перечисленными факторами, учитывается фактор временной ценности денег (ВЦД), а также специфика денежных потоков цепи поставок, обусловленная форматом начисления издержек хранения.

Необходимо отметить, что значимость фактора изменения ценности денег во времени возрастает в связи с тенденцией к снижению скоростей транспортировки в глобальных цепях поставок в период экономического кризиса. В частности, тотальный переход судоходных компаний к *slow steaming* (медленному судоходству) существенно снизил расход топлива и стоимость доставки, но время транспортировки при этом значительно возросло. Так, на направлении Юго-Восточная Азия — Западная Европа время в пути увеличивается на неделю и достигает 35—40 суток, что создает у многих грузовладельцев ощутимые проблемы из-за роста оборотных средств.

В учебнике показано, что при учете указанных особенностей параметры стратегии поставок, найденные по модифицированным *EOQ*-формулам, будут существенно отличаться от значений, соответствующих классическим рекомендациям теории управления запасами. Авторы полагают, что применение предложенных моделей позволит реализовать скрытые резервы эффективности логистических систем и цепей поставок, что представляется особенно важным в условиях посткризисного развития мировой и отечественной экономики.

Один из авторов книги не впервые обращается к теме модификации классических процедур оптимизации *EOQ*-моделей, в частности в близкой по тематике книге впервые были представлены процедуры учета временной ценности денег при оптимизации запасов, значительное внимание уделено обоснованию теоретических положений нового подхода к оптимизации систем управления запасами [10].

В настоящем учебнике акценты расставлены прежде всего с учетом практических приложений разработанных методик к реальным цепям поставок, в частности:

- дается сравнение двух подходов к оптимизации систем управления запасами (с учетом и без учета временной ценности денег), которое иллюстрируется сопоставлением: а) получаемых после оптимизации денежных потоков на интервале повторного заказа в таких цепях поставок; б) показателей их эффективности в виде показателя рентабельности оборотного капитала;

- анализируются практические проблемы, которые возникают при оптимизации систем управления запасами с учетом грузопместимости ТС. Анализ включает нахождение необходимых и достаточных условий, накладываемых на соответствующий пороговый уровень скидок на стоимость поставок, при которых поставки несколькими ТС могут оказаться более эффективными, чем поставки одним ТС;

- в формате процедур анализа эффективности поставок с использованием одновременно нескольких ТС при учете ВЦД впервые показано, как надо учитывать соответствующие изменения процентных ставок, характеризующих эффективность денежных потоков цепи поставок, обусловливаемые спецификой таких совместных поставок;

- приводятся подробные комментарии относительно того, о каких процентных ставках идет речь при моделировании денежных потоков в цепях поставок, соотносимых с работой систем управления запасами, когда принято решение учитывать при оптимизации концепцию временной ценности денег. При этом применительно к конкретным ситуациям даются аналитические оценки для соответствующих процентных ставок, а также числовые иллюстрации;

- впервые в формате исследований указанного типа выделяется и рассматривается важный для бизнеса класс обобщенных и модифицированных *EOQ*-моделей управления запасами. Речь идет о моделях, в формате которых принимается, что прибыль будет получена на каждом интервале повторного заказа. Более того, выручка на таком интервале может быть использована для покрытия части соответствующих затрат при работе цепи поставок, а также для оплаты очередной поставки (с учетом оборотного капитала). Будут доказаны необходимые и достаточные условия, которые надо накладывать на параметры системы управления запасами, чтобы обеспечить возможность таких выплат из выручки.

Учитывая ограниченный объем книги, указанные положения включены в текст за счет более компактного изложения элементов теории.

Отмеченные особенности позволили, по мнению авторов, достаточно наглядно и убедительно проиллюстрировать имеющиеся ресурсы повышения эффективности систем управления запасами и сопутствующие их использованию синергетические эффекты.

Учебник содержит два раздела.

В первом разделе представлены методы анализа однономенклатурных *EOQ*-моделей управления запасами, модифицированные с учетом отмеченных выше особенностей, включая требования учета грузоподъемности и ВЦД при оптимизации транспортного обеспечения таких цепей поставок. Эти методы, будучи применены к системам управления запасами различных типов, позволяют определять основные атрибуты, соотносимые со стратегией организации поставок.

К числу таких атрибутов относятся прежде всего оптимальные параметры соответствующих стратегий управления запасами — интервал повторного заказа и размер партии заказа, при которых суммарные годовые издержки работы цепи поставок, приведенные к концу года по схеме простых процентов, будут минимальными. Для определения таких показателей с учетом ВЦД потребуется оценка для процентной ставки, характеризующей рентабельность оборотного капитала цепи поставок. Поэтому применительно ко всем рассмотренным здесь модификациям *EOQ*-моделей представлен аналитический подход к определению такой своей оценки. Доказано, что в оптимизационных моделях такого типа, где требуется учитывать ВЦД, величина соответствующей процентной ставки существенно влияет на оптимальный размер заказа.

В учебнике также доказано, что для оптимальной стратегии дополнительно будут выполняться следующие положения: 1) интенсивность потока издержек на интервале повторного заказа также будет минимальной; 2) интенсивность потока доходов на интервале повторного заказа будет максимальной. Это позволит менеджерам по-разному ставить на формальном уровне соответствующие задачи оптимизации работы цепи поставок. Более того, для всех постановок параметры оптимальной стратегии станут в экономическом смысле лучше в сравнении с результатами, полученными без учета ВЦД и без учета грузоподъемности ТС. Это приведет к уменьшению требуемого для работы цепи поставок оборотного капитала.

Предложенный подход к оптимизации решений позволит не только учитывать фактор грузоподъемности ТС, но и найти оптимальное число ТС, которое надо привлекать для поставок товара. С этой целью прежде всего будет доказано, что разбиение партии и доставка ее несколькими транспортными средствами оказывается эффективной только при условии соответствующей тарифной скидки. Будут найдены пороговые значения дисконта/скидки для стоимости поставки любым числом ТС, позволяющие формализовать необходимые и достаточные условия для эффективности таких поставок. Приведены также модифицирован-

ные с учетом влияния такого дисконта оценки для процентной ставки, характеризующей рентабельность оборотного капитала.

Предложенные модели основаны на допущении о том, что все выплаты в цепи поставок (кроме тех, которые соотносятся с оплатой стоимости заказа и стоимости самой поставки, реализуемых с использованием оборотного капитала в начале интервала повторного заказа) могут быть сделаны из выручки на указанном интервале. Это накладывает определенные ограничения на эффективность денежных потоков. Поэтому для всех рассмотренных в книге новых модификаций *EOQ*-моделей определены необходимые и достаточные условия, выполнение которых гарантирует возможность использования предложенного подхода к оптимизации решений о транспортном обеспечении поставок. Для случаев, когда указанные условия не выполняются, дополнительно приводятся уточнения соответствующих процедур оптимизации.

Формат предложенного подхода к оптимизации параметров цепей поставок на основе модифицированных *EOQ*-моделей позволит менеджерам оценить соответствующий экономический эффект, который можно будет получить применительно к таким моделям систем управления запасами, в терминах рентабельности оборотных средств.

Во втором разделе учебника задачи оптимизации транспортного обеспечения поставок при управлении запасами рассматриваются уже для многономенклатурных *EOQ*-моделей. При этом учитываются все дополнительные факторы, описываемые в первом разделе, в частности: а) ВЦД; б) специфика начисления издержек хранения; в) грузопместимость ТС; г) возможность выбора типа ТС для поставок; д) возможности совмещенных поставок сразу несколькими ТС при скидках на стоимость таких поставок. На основе полученных результатов авторами предложен новый модифицированный алгоритм оптимизации транспортного обеспечения поставок для многономенклатурных моделей указанного типа.

Для иллюстрации разработанных подходов и моделей в книге приведены решения многочисленных задач. Их постановки соответствуют требованиям оптимизации реальных цепей поставок, для которых фактор грузопместимости ТС играет важную роль. В каждом случае дается сравнение полученных результатов с результатами оптимизации на основе классических процедур. Такие иллюстрации помогут глубже понять особенности предложенных методов, а также оценить реальную величину скрытого резерва для повышения эффективности систем управления запасами.

Подходы, положенные в основу описанных в книге моделей, представляются авторам актуальными не только с точки зрения сегодняшней логистической практики, но и в аспекте перспектив развития транспортного обеспечения цепей поставок. В частности, речь идет о концепции синхромодализма, которая активно развивается в научной литературе и получает первые обнадеживающие практические применения. Основная идея концепции заключается в интеграции товар-

ных потоков и ресурсов различных видов транспорта для наилучшего использования провозных возможностей при сокращении издержек и снижении негативных экологических эффектов, возникающих при транспортировке грузов. Реализация данной концепции предполагает интегрированное управление транспортными и товарными потоками, основанное на свободном выборе вида транспорта, транспортного оператора и транспортного средства для конкретной перевозки, на возможности переключения потоков между транспортными сервисами «в реальном масштабе времени», а также на свободном оперативном взаимодействии транспортных и логистических операторов.

В научном плане концепция синхромодализма развивается в двух основных направлениях: а) моделирование синхромодальных систем с целью их параметризации и оценки конкурентоспособности и б) разработка алгоритмов оперативного управления процессами товародвижения в синхромодальной системе. Оба эти направления предполагают решение задач системной оптимизации товарных и транспортных потоков в цепях поставок, близких по постановке задачам, рассматриваемым в настоящей работе.

Стоит ли тратить усилия на изучение представленных здесь новых математических моделей управления запасами, их анализ и оптимизацию с учетом факторов временной ценности денег и грузопместимости ТС? Какие другие критерии оптимизации при этом можно рассматривать, чтобы повысить эффективность соответствующих цепей поставок? На какой экономический результат можно рассчитывать, если использовать указанный скрытый резерв повышения эффективности таких систем? Что нужно сделать, чтобы предложенные зависимости не остались просто теоретическими выкладками, далекими от практики? Ответы на эти и многие другие вопросы применительно к разным типам моделей систем управления запасами можно найти в этой книге.

В результате изучения курса студент должен освоить:

трудовые действия

- владения понятийным аппаратом, связанным с применением *EOQ*-моделей;
- стратегиями многофакторной оптимизации для одно- и многономенклатурных моделей поставок;
- методами корректной постановки задач многофакторной оптимизации;
- навыками практического применения процедур многофакторной оптимизации;

необходимые умения

- оценивать необходимость применения модифицированных *EOQ*-моделей в конкретных ситуациях;
- выбирать модифицированные *EOQ*-модели, адекватные решаемым прикладным задачам;

- оценивать необходимость учета таких факторов, как грузопместимость транспортных средств, изменение ценности денег, разбиение поставки на несколько транспортных средств и т. д.;

- отбирать данные, необходимые для решения задач многофакторной оптимизации;

необходимые знания

- основных параметров классических *EOQ*-моделей и их недостатки;

- факторов, влияющих на выбор решения при управлении запасами;

- типов модифицированных *EOQ*-моделей.

- основных постановок задач многофакторной оптимизации при управлении запасами;

- требований к процедурам оптимизации с использованием модифицированных *EOQ*-моделей.

Авторы надеются, что данная книга сможет привлечь интерес широкого круга практиков, которые работают в области логистики, к новым возможностям повышения эффективности бизнеса за счет оптимального выбора параметров цепей поставок и даст им инструмент для решения этой задачи.

Авторы благодарны факультету бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» за поддержку в виде финансирования процесса подготовки данного авторского учебника в рамках конкурса 2017 г.

Раздел I
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ
ОДНОНОМЕНКЛАТУРНЫЕ
***EOQ*-МОДЕЛИ**

Глава 1

УЧЕТ ВРЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ ДЕНЕГ

В области задач, связанных с оптимизацией моделей управления запасами, а также транспортного обеспечения таких цепей поставок, имеются скрытые резервы повышения их эффективности. Возможность использования одного из факторов такого типа рассматривается в первых двух главах учебника для моделей управления запасами с одной номенклатурой. Речь идет об использовании фактора временной ценности денег. Чтобы им воспользоваться, надо при оптимизации запасов принимать во внимание атрибуты соответствующей концепции ВЦД. Для этого, в частности, при определении параметров стратегии управления запасами необходимо использовать новые модифицированные формулы, позволяющие учитывать такую концепцию.

При этом формат отображения ВЦД должен соответствовать схеме простых процентов, что отвечает специфике таких моделей. Указанная специфика характеризуется тем, что прибыль не может быть использована для увеличения объема годовых поставок (при заданном спросе, что является атрибутом *EOQ*-модели управления запасами). Кроме того, при модификации модели процентная ставка для учета временной ценности денег должна отражать эффективность денежных потоков самой цепи поставок, а не эффективность процедур наращивания стоимости денег, которые будут размещены в банке для реализации таких поставок. Это требование соответствует разработанному в финансовых теориях подходу к анализу таких систем с учетом ВЦД.

Именно такая модификация *EOQ*-модели управления запасами будет реализована в этой главе применительно к традиционной задаче минимизации суммарных издержек работы цепи поставок. При моделировании анализируемых денежных потоков будут использованы соответствующие положения финансовой математики и финансового менеджмента. Будет получен новый формат *EOQ*-формулы для указанной модификации *EOQ*-модели. Анализ представлен для специального класса моделей такого типа, интересных для бизнеса. Это модели, для которых все выплаты (помимо оплаты самой поставки и поставляемого товара на основе оборотного капитала) могут быть реализованы из выручки от текущей поставки. Соответственно, будут представлены необходимые и достаточные условия для параметров системы управления запасами, при которых такие выплаты будут возможны.

Сразу отметим, что такой новый формат модифицированной *EOQ*-формулы предполагает использование дополнительного параметра. Речь идет о соответствующей процентной ставке, которая должна (и будет) характеризовать эффективность/рентабельность оборотного капитала, необходимого для работы моделируемой цепи поставок. Разумеется, указанная процентная ставка является атрибутом самой *EOQ*-модели управления запасами. Поэтому в формате процедур оптимизации будет дополнительно доказана специальная формула для ее оценки. Также будет доказано, что с представленными процедурами оптимизации для таких моделей всегда соотносится важный синергетический эффект, а именно наряду с минимизацией указанных суммарных (приведенных к концу года с использованием соответствующей процентной ставки) издержек работы цепи поставок будет иметь место и повышение рентабельности используемого оборотного капитала.

Таким образом, в этой главе представлен специальный новый подход к оптимизации систем управления запасами и соответствующим обобщением традиционной *EOQ*-формулы. Он даст возможность получить двойной эффект: снизить издержки работы цепи поставок, а также повысить на практике эффективность/рентабельность таких систем. Числовые примеры проиллюстрируют эти положения.

1.1. Проблема учета временной ценности денег при управлении запасами

В теории управления запасами задача оптимизации запасов рассматривается как задача минимизации соответствующих издержек бизнеса, соотносимых с поставками и хранением товара. Для детерминированной модели решение дает формула, известная как **формула экономического размера заказа** (*Economic Order Quantity, EOQ*). Она является базовой для принятия решений и в условиях риска, и в условиях неопределенности. Это обусловлено рядом положений. Если при моделировании системы управления запасами в условиях риска используется метод дерева решений [см., напр.: 5], то можно отметить следующее. При определении конечного экономического результата для каждой ветви соответствующего дерева решений формат такой конкретной ветви определит все параметры работы цепи поставок (для каждого фактора риска будет известен сценарий его реализации). Соответственно, конечный экономический результат для такого варианта реализации сценариев (по такой ветви дерева решений), соотносимых со случайными факторами, можно находить по формулам детерминированной модели. Аналогичные комментарии будут иметь место и при моделировании системы управления запасами в условиях неопределенности [см., напр.: 9].

Как видим, формула экономического размера заказа является востребованной на практике, несмотря на детерминированный формат

модели, для которой она была получена. Тем не менее приходится обратить внимание еще на одну особенность, которую надо учитывать и менеджеру, и лицу, принимающему решение (ЛПР). В тот период времени, когда указанная формула была получена, не существовало таких научных разделов и теорий, как финансовый анализ, финансовая математика, финансовый менеджмент и т. д. Сегодня атрибуты таких теорий выдвигают определенные требования к операциям над моделируемыми денежными потоками цепи поставок.

В частности, чтобы определить суммарные издержки за год, суммировать такие денежные потоки, можно только после того, как они будут приведены к одному моменту времени. Разумеется, это требование относится и к потокам издержек, которые соотносятся с моделями управления запасами. Нельзя просто складывать составляющие таких издержек, если они относятся, например, к январю и к декабрю и т. д. (надо использовать отмеченные процедуры приведения). В частности, если соотносить (в конце года) январские затраты на работу цепи поставок с аналогичными затратами в декабре, то сегодня любой бизнесмен понимает, что при таком сравнении надо дополнительно учитывать и упущенную выгоду от невозможности использования ушедшей в январе денежной суммы. Указанную специфику анализа как раз отражает суть концепции ВЦД.

При выводе известной формулы экономичного размера заказа указанные положения финансового анализа, т. е. требования учета ВЦД при оптимизации запасов, не были учтены. Как уже было отмечено, это обусловлено тем, что в тот период времени указанные понятия еще не были разработаны и формализованы. Таким образом, практикующий менеджер должен понимать, что использование указанной традиционной формулы при оптимизации может приводить к сомнительным результатам.

В зарубежных публикациях [51—60] регулярно появляются материалы, связанные с анализом моделей управления запасами, которые позволяют учитывать ВЦД и различную специфику работы цепей поставок. Надо обратить внимание на следующую особенность таких исследований. В указанных моделях учет ВЦД выполняется по схеме *непрерывных процентов*. Такой учет ВЦД является естественным и целесообразным с позиций финансового анализа, если модель предполагает, что все денежные потоки для цепи поставок реализуются через банковские системы, где принята такая схема учета текущей стоимости денег.

В частности, указанные модели явно или неявно должны предполагать, что работающий оборотный капитал непрерывно находится на депозите с начислением процентов. Более того, значение соответствующей процентной ставки в таких моделях является атрибутом самой финансовой системы. Она задается априори и не зависит от самой цепи поставок. Следовательно, такая процентная ставка не отражает эффективность денежных потоков анализируемой цепи поставок. Это, разуме-

меется, снижает ценность указанных исследований для практики. Как видим, чтобы учитывать ВЦД в реальных моделях управления запасами на практике (с учетом конкретных денежных потоков цепи поставок), требуются другие подходы к оптимизации.

Кстати, на практике могут иметь место также и другие ситуации, когда указанные выше условия проведения платежей не выполняются. Например, это могут быть ситуации, когда платежи реализуются наличными или иными способами, но уже без указанных процентов на депозите. Тогда также может оказаться более целесообразным для учета ВЦД принять другую схему.

В представленных в этой главе исследованиях используются простые проценты. Это позволит дополнительно учитывать особенности приложений соответствующих *EOQ*-моделей управления запасами. Речь идет о том, что в формате таких детерминированных *EOQ*-моделей получаемая прибыль не может быть использована для расширения бизнеса, связанного с работой анализируемой цепи поставок (годовой спрос заранее известен). Такая модель и будет рассмотрена далее. Для указанной модели соответствующая процентная ставка (используемая для приведения денежных потоков к определенным моментам времени) не является атрибутом какой либо финансовой системы. Она должна характеризовать эффективность преобразования оборотного капитала цепи поставок в прибыль. Поэтому ее надо привязывать к самой модели. В частности, это означает, что ее величина будет зависеть от параметров цепи поставок и, соответственно, должна быть оценена в формате процедур оптимизации.

Наконец, отметим, что формат использования прибыли от каждой поставки (она просто сохраняется, тратится, растет на депозите, вкладывается в другие предложения бизнеса и т. д.) остается за рамками рассматриваемой модели работы цепи поставок. Поэтому далее проведен анализ одного из типичных и возможных таких вариантов, а именно при нахождении суммарной годовой прибыли (при определении процентной ставки, которая применительно к денежным потокам моделируемой цепи поставок характеризует преобразование оборотного капитала в прибыль) выполняется простое суммирование прибылей по всем поставкам за год.

В этой главе представлены решения для традиционного класса задач управления запасами, которые соотносятся с минимизацией издержек работы соответствующей цепи поставок. Будет показано, что указанный подход к оптимизации позволит при минимизации издержек работы цепи поставок существенно модифицировать размер партии заказа. Оптимальные объемы поставок с учетом такой модификации станут существенно меньшими, что благоприятным образом отразится на величине оборотного капитала, на величине капитала, замороженного в запасах, а также на рентабельности работы цепи поставок. Впервые такие особенности процедур оптимизации с учетом ВЦД для традиционной *EOQ*-модели были отмечены в [50].

Представленные материалы укажут практикующим менеджерам на возможность использования соответствующей модификации *EOQ*-формулы, а также проиллюстрируют эффективность таких процедур. Тот факт, что задача управления запасами будет рассмотрена в формате детерминированной *EOQ*-модели, как уже отмечалось, не ограничит возможности применения полученных результатов. Они могут быть использованы как при оптимизации в условиях риска, так и при оптимизации в условиях неопределенности.

Атрибуты оптимизационной модели. Анализируется модификация классической *EOQ*-модели управления запасами с постоянным спросом, а именно при оптимизации такой модели дополнительно будет учитываться ВЦД. Приняты следующие обозначения:

D — объем годового потребления товара;

C_0 — затраты на поставку одной партии товара, которые не зависят от размера заказа (предполагаем, что любые другие расходы на поставку, которые зависят от количества товара, будут априори включены, например, в стоимость единицы товара);

C_{Π} — стоимость единицы товара;

C_h — годовые издержки хранения единицы товара;

q — размер партии заказа (оптимизируемая величина);

T — период повторного заказа (в годах), связанный с показателем q равенством $T = q / D$ (также оптимизируемая величина).

Кроме того, для ситуации, когда в модели учитывается ВЦД, дополнительно используются следующие обозначения (в классической *EOQ*-модели они отсутствуют):

P_{Π} — прибыль от реализации единицы товара;

L_{Π} — требуемые отчисления из выручки от единицы товара (этот параметр вводится для того, чтобы учитывать имеющее место отчисления для покрытия необходимых расходов такого бизнеса, пропорциональных объему поставок, например, обусловливаемых различными выплатами сотрудникам, выплатами на страхование и (или) хеджирование рисков и т. д.);

r — годовая процентная ставка, характеризующая эффективность денежных потоков цепи поставок (процедуры ее определения будут представлены далее).

ВЦД учитывается по схеме простых процентов, что характеризует ситуацию, когда «проценты не начисляются на проценты/прибыль». Как уже отмечалось, это обусловлено особенностями приложений, когда прибыль не используется для расширения бизнеса. Кроме того, в формате рассматриваемой модели далее принято:

1) моменты оплаты издержек хранения поставляемого товара соотносятся с серединами интервалов повторного заказа;

2) учет таких издержек предполагает, что оплачиваются только занятые места на складе (другая модель с учетом аренды мест хранения при оптимизации запасов будет представлена в следующей главе).

Какую процентную ставку r надо использовать в интересующей нас модели управления запасами, когда требуется учитывать ВЦД при анализе суммарных издержек? Указанный показатель, как уже было отмечено, должен характеризовать эффективность денежных потоков моделируемой цепи поставок. При определении такой процентной ставки надо учитывать все атрибуты денежных потоков моделируемой цепи поставок: и вкладываемый капитал, и его оборачиваемость, и прибыль. Соответствующие процедуры будут представлены в п. 1.2.

Напомним, что в учебнике анализируются именно эффективные (интересные для бизнеса) цепи поставок, соотносимые с моделями управления запасами. Речь идет о моделях, в формате которых для определенности далее принимается, что при работе моделируемой цепи поставок прибыль будет получена на каждом интервале повторного заказа. Более того, принимается, что поставка на очередном интервале повторного заказа может быть оплачена из выручки, полученной на предыдущем таком интервале времени (соответствующие условия будут установлены аналитически).

При этом подчеркнем, что накапливаемая прибыль за год как раз и обусловит понятие указанной процентной ставки (по отношению к оборотному капиталу, который требуется вложить в работу цепи поставок). Формально этот аспект вопроса будет рассмотрен в п. 1.3.

1.2. Процедуры учета временной ценности денег при оптимизации запасов: простые проценты

При учете ВЦД в задачах минимизации суммарных издержек, связанных с работой системы управления запасами, менеджер и (или) ЛПР должны принимать во внимание следующие атрибуты анализа:

1) количественный фактор, т. е. величины (денежные суммы) соответствующих уходящих и приходящих денежных потоков моделируемой цепи поставок; они будут определяться параметрами рассматриваемой модифицированной *EOQ*-модели;

2) фактор времени, т. е. с какими моментами времени соотносятся моделируемые денежные потоки выплат и поступлений; такие моменты времени могут зависеть от контрактных условий и будут уточняться в формате рассматриваемой модели;

3) фактор эффективности, т. е. показатель рентабельности использования денежных средств, причем применительно к моделируемой цепи поставок; в финансовом анализе такой показатель соотносят со ставкой наращения для рассматриваемых денежных потоков (ее значение будет уточняться в виде показателя рентабельности оборотного капитала).

Рассмотрим структуру денежных потоков выплат применительно к одному интервалу повторного заказа (т. е. интервалу времени между поставками товара). Соответствующая иллюстрация дана на рис. 1.1.

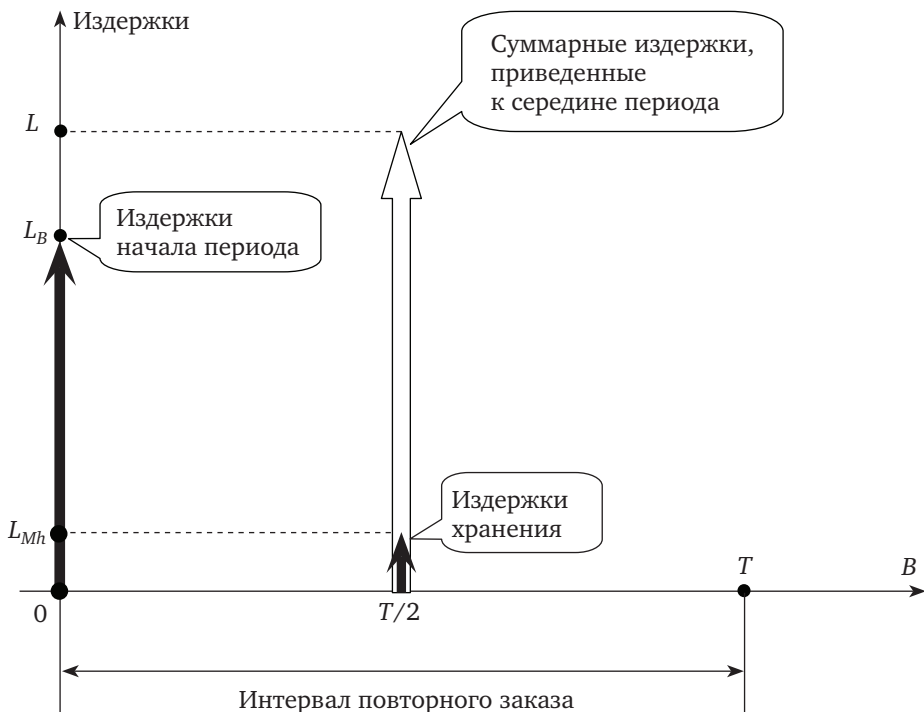


Рис. 1.1. Соотнесение издержек с моментами времени интервала повторного заказа

Специфика денежных потоков на интервале повторного заказа.

Отметим аспекты, которые требуется принимать во внимание при учете ВЦД для денежных потоков на интервале повторного заказа.

К началу такого промежутка времени относим выплаты L_B , покрывающие затраты на поставку, включая оплату стоимости заказа: $L_B = C_0 + qC_{\Pi}$.

Далее, с серединой указанного промежутка времени соотносим выплаты L_{Mh} , которые должны покрыть затраты на хранение товара на одном интервале повторного заказа. Их определяет равенство $L_{Mh} = qC_h T / 2$, так как оплачиваются только занятые места на складе (как в классической модели).

С серединой указанного промежутка времени соотносим также выплаты $L_{МП}$, которые соответствуют требуемым отчислениям (на поддержку бизнеса) из выручки по всей поставленной партии товара: $L_{МП} = qL_{\Pi}$.

Суммарные издержки L_I на одном интервале повторного заказа будем соотносить с серединой такого промежутка времени. Поэтому для такого показателя получаем выражение

$$L_I = q [C_h T / 2 + L_{\Pi}] + (1 + rT / 2) (C_0 + C_{\Pi} q). \quad (1.1)$$

Здесь согласно требованиям финансового анализа все уходящие денежные потоки на одном периоде повторного заказа приведены к одному моменту времени: к его середине. Соответственно, уходящие платежи L_B начала такого периода наращены по ставке r (ее значение будет уточнено ниже, чтобы учитывать эффективность денежных потоков самой цепи поставок) к моменту $T / 2$.

Итак, издержки/затраты каждого интервала повторного заказа можно представлять выплатами объемом L_I , соотносимыми с серединой такого интервала. Для формализации оптимизационной модели теперь надо найти величину всех таких суммарных издержек за год, соблюдая правила финансового анализа. Иллюстрацию требуемых процедур для нахождения такого показателя дает рис. 1.2.

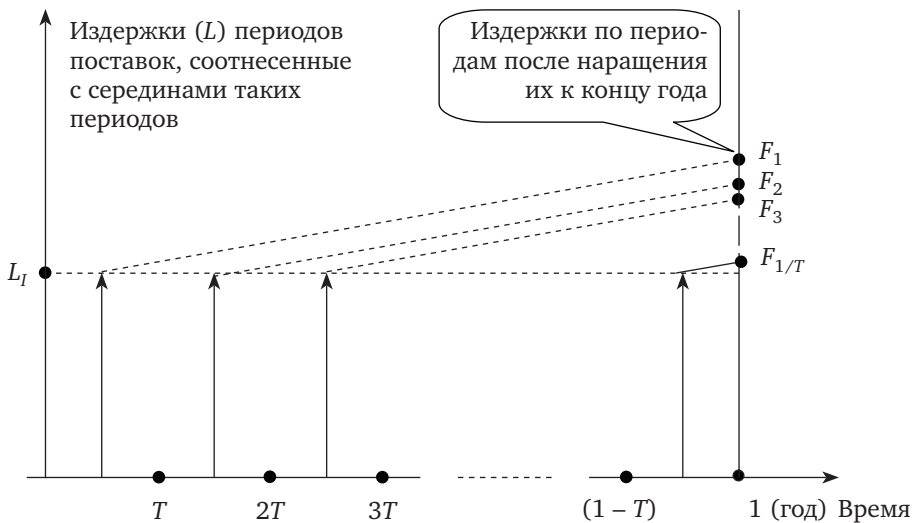


Рис. 1.2. Иллюстрация учета суммарных издержек за год приведением их к концу года ($t = 1$)

Все платежи надо привести к одному моменту времени. Для удобства изложения и интерпретации все денежные потоки выплат за год далее приводим к моменту $t = 1$ (к концу года).

На рис. 1.2 показатель F_k обозначает затраты k -го интервала повторного заказа (в порядке реализации поставок товара), причем они уже должны быть приведены к концу года по схеме простых процентов. Поскольку длительность одного интервала повторного заказа составляет T ($0 \leq T \leq 1$), то за год ($T = 1$) будет в среднем $1 / T$ таких интервалов. Для удобства изложения далее сначала принимаем, что это — целое число. Заметим, что последующее изложение материалов исследования покажет, что такое требование излишне (и далее оно, разумеется, будет опущено). При этом для введенных показателей F_k выполняются равенства

$$F_1 = L_I (1 + r (1 - T / 2));$$

$$F_2 = L_I (1 + r (1 - 3T / 2));$$

$$F_3 = L_I (1 + r (1 - 5T / 2));$$

... ..

$$\frac{F_1}{T} = L_I (1 + r (1 - (1 - T / 2))).$$

Обратим внимание на то, что указанные показатели F_k образуют убывающую арифметическую прогрессию. Ее первый член равен $F_1 = L_I (1 + r (1 - T / 2))$. Кроме того, нетрудно видеть, что разность такой прогрессии составляет $L_I r T$. При этом число членов указанной арифметической прогрессии равно $1 / T$. Соответственно, для суммы $\sum F_k$ всех членов указанной прогрессии по известным формулам легко находим следующий результат:

$$\sum F_k = 1 / T \cdot L_I (1 + (r / 2)). \tag{1.2}$$

Теперь задачу оптимизации запасов (как задачу минимизации суммарных издержек/затрат, приведенных к концу года по схеме простых процентов) можно поставить на формальном уровне. С учетом (1.1) и (1.2), опуская множитель $(1 + (r / 2))$, интересующую нас задачу можно сформулировать как задачу

$$F \rightarrow \min,$$

где

$$F = \frac{1}{T} \{q[C_h T / 2 + L_{\Pi}] + (1 + r T / 2)(C_0 + C_{\Pi} q)\},$$

причем параметры q и T связаны равенством $T = q / D$.

Формат этой задачи оптимизации имеет простую экономическую интерпретацию: представленное здесь выражение для целевой функции F показывает, что рассматриваемая модифицированная задача оптимизации системы управления запасами с учетом ВЦД по схеме простых процентов эквивалентна задаче следующего типа. Требуется найти такой размер заказа (или длительность интервала времени между поставками), при котором интенсивность потока издержек/затрат на интервале повторного заказа будет минимальной. Указанная специфика задачи оптимизации имеет важное для практики следствие. Действительно, становится понятно, что при таком варианте поста-

новки задачи оптимизации условие целочисленности показателя $1 / T$ уже не требуется (соответственно далее оно не будет учитываться).

Отбрасывая слагаемые, не зависящие от q и T , получаем характерный формат задачи оптимизации для теории управления запасами. Речь идет о задаче минимизации суммы двух слагаемых в виде соответствующей функции переменной q . При этом одно из слагаемых (ниже — первое) представляет гиперболу, а второе — прямую линию, выходящую из начала координат:

$$C_0D / q + q(C_h + rC_{II}) / 2 \rightarrow \min_{q \geq 0}.$$

Как известно, решение для задач такого типа достигается в точке ($q = q_{\text{опт}}$), где указанные два слагаемые принимают равные между собой значения. Итак, чтобы находить оптимальный объем заказа $q_{\text{опт}}$ с учетом ВЦД, нетрудно получить новый модифицированный вариант *EOQ*-формулы, который будет соответствовать именно рассмотренной здесь модификации *EOQ*-модели. Для этого достаточно приравнять выражения C_0D / q и $q(C_h + rC_{II}) / 2$. Затем, используя равенство $T_{\text{опт}} = q_{\text{опт}} / D$, можно найти оптимальное значение интервала повторного заказа. Приведем указанные новые модификации *EOQ*-формул для параметров оптимальной стратегии поставок, которые учитывают ВЦД:

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{2C_0D / (C_h + rC_{II})} \text{ и } T_{\text{опт}} = \sqrt{2C_0 / D(C_h + rC_{II})} \quad (1.3)$$

(доказательство опускаем, чтобы сократить объем главы).

Формулы (1.3) существенно отличаются от традиционных вариантов *EOQ*-формул.

С одной стороны, в представленных модифицированных *EOQ*-формулах присутствует показатель стоимости единицы товара C_{II} . С другой стороны, в них присутствует показатель эффективности оборотного капитала r (оценка этой процентной ставки будет дана ниже). И оба указанных показателя при определении оптимального размера заказа $q_{\text{опт}}$ находятся в знаменателе выражения под знаком квадратного корня в виде слагаемого rC_{II} .

Эти изменения обусловлены фактом учета ВЦД применительно к денежным потокам цепи поставок, причем именно по схеме простых процентов. При $r = 0$ полученные в этой главе новые модифицированные формулы (1.3) совпадают с традиционными форматами для соответствующих *EOQ*-формул.

Особенности учета отчислений от прибыли. Полученный результат для модифицированных *EOQ*-формул относится к традиционному формату модели управления запасами, когда менеджеру требуется, чтобы минимизировались суммарные годовые издержки работы цепи поставок. В общем случае ЛПР может считать более адекватными другие постановки задачи такого типа. Рассмотрим здесь ситуацию, когда

задача минимизации суммарных издержек и соответствующая целевая функция модифицируются следующим образом. Принимается, что отчисления на поддержку бизнеса с каждой единицы реализованной продукции (L_{II}) формально не включаются в издержки работы моделируемой цепи поставок (например, они просто реализуются из прибыли).

В формате такой модифицированной модели изменится формула для суммарных издержек интервала повторного заказа, приведенных к его середине. Указанные издержки с учетом модификации обозначим $L_I(mod)$. Для удобства сравнения приведенная ниже формула (1.1*) показывает, как изменится приведенное ранее соотношение (1.1):

$$L_I(mod) = qC_h T / 2 + (1 + rT / 2) (C_0 + C_{II}q). \quad (1.1^*)$$

Соответственно изменится и выражение для суммарных издержек k -го периода, приведенных к концу года. Вместо показателя F_k надо будет иметь дело с показателем $F_k(mod) = L_I(mod) (1 + r(1 - kT + T / 2))$. Соответственно изменится и их сумма, причем вместо (1.2) будет выполнено соотношение (1.2*):

$$\sum F_k(mod) = 1 / T_0 \cdot L_I(mod) (1 + r / 2). \quad (1.2^*)$$

Наконец, отметим, что при такой модификации тем не менее задача оптимизации примет прежний вид:

$$F(mod) \rightarrow \min,$$

где

$$F(mod) = \frac{1}{T} [qC_h \cdot T / 2 + (1 + r \cdot T / 2) (C_0 + C_{II}q)].$$

Разумеется, ее решение относительно оптимального размера заказа $q_{\text{опт}}(mod)$ или относительно оптимальной длительности интервала повторного заказа $T_{\text{опт}}(mod)$ после такой модификации приведет к прежней формуле (1.3). Доказательство этого положения является очевидным. Действительно, после реализации процедур раскрытия скобок в соответствующих равенствах (с одной стороны, применительно к $F(mod)$, с другой стороны, применительно к F) результаты будут отличаться только одним слагаемым. Такое слагаемое не будет содержать ни переменную T , ни переменную q , что и даст гарантию совпадения указанных решений. Итак, здесь дополнительно доказано следующее утверждение.

Утверждение 1.1. В формате модифицированной EOQ-модели при минимизации издержек цепи поставок с учетом ВЦД структура оптимальной стратегии и ее параметры не зависят от того, включаются ли в миними-

зируемые издержки соответствующие отчисления от прибыли с каждой единицы реализованной продукции.

Другими словами, здесь было доказано, что такая модификация не отражается на параметрах оптимальной стратегии управления запасами. Более того, этот результат позволяет утверждать, что любые издержки, пропорциональные прибыли, если при учете ВЦД их соотносить с моментом получения прибыли, также не повлияют на параметры оптимальной стратегии.

1.3. Структура денежных потоков и рентабельность цепи поставок

Если при оптимизации запасов использовать подход с учетом ВЦД по схеме простых процентов, то, как показывают модифицированные *EOQ*-формулы (1.3), надо предварительно определиться с оценкой соответствующей процентной ставки r . Эта ставка характеризует эффективность преобразования уходящих денежных потоков цепи поставок в прибыль. В реальных ситуациях для оценки такой процентной ставки лучше обращаться непосредственно к ЛПП, поскольку такое лицо адекватно представляет особенности всех денежных потоков цепи поставок. Если такую оценку надо делать менеджеру, то это можно реализовать на основе моделирования денежных потоков для конкретной цепи поставок.

Для упрощения процедур моделирования указанная процентная ставка будет найдена ниже аналитически. При этом чтобы результат оценки значения r не зависел от того, требуется или нет учитывать ВЦД при оптимизации запасов, соответствующие процедуры моделирования будут реализованы применительно к традиционному формату модели поставок (без учета ВЦД).

Рассмотрим атрибуты денежного потока на интервале повторного заказа. Сначала отметим, что при оптимизации без учета ВЦД экономичный размер заказа определяется равенством $q_0 = \sqrt{2C_0D / C_h}$ (в единицах товара). Число поставок за год дает формула

$$1 / T_0 = D / q_0 = \sqrt{C_h D / 2C_0}.$$

Требуемый оборотный капитал будет зависеть от контрактных условий выплат издержек хранения, а также требуемых отчислений бизнеса.

Напомним, что здесь рассматриваются только интересные для бизнеса модели с эффективными цепями поставок, т. е. модели, в формате которых, во-первых, издержки хранения можно оплатить из выручки (в середине соответствующего интервала повторного заказа); во-

вторых, обусловленные бизнесом выплаты (величины qL_{Π}) также *можно реализовать из выручки*.

Тогда легко заметить следующие особенности денежных потоков цепи поставок:

- для организации работы цепи поставок (на одном периоде) понадобятся затраты L_B в начале периода повторного заказа, которые составят $L_B = C_0 + C_{\Pi} \cdot \sqrt{2C_0D / C_h}$ (это оплата поставки и стоимости поставляемого товара);
- для прибыли Y_I на одном периоде повторного заказа получаем выражение

$$Y_I = \sqrt{2C_0D / C_h} (P_{\Pi} - L_{\Pi}) - 2C_0,$$

где уже учтено, что при оптимальной стратегии стоимость поставки (C_0) совпадет с затратами на хранение поставленного товара, причем для их суммы можно использовать выражение $2C_0$.

При этом для годового показателя Y прибыли, используя равенство $Y = Y_I / T_0$, получаем

$$Y = D (P_{\Pi} - L_{\Pi}) - \sqrt{2C_0DC_h}.$$

Преобразование вкладываемого оборотного капитала в прибыль (за год) для указанных денежных потоков, как видим, характеризуется соответствующей процентной ставкой r , которую определяет равенство $r = Y / L_B$. Для такой ставки после упрощений получаем формулу

$$r = \frac{(P_{\Pi} - L_{\Pi}) \sqrt{DC_h / 2C_0} - C_h}{C_{\Pi} + \sqrt{C_0C_h} / 2D}. \quad (1.4)$$

Отметим, что впервые этот результат был получен в работе [50]. Специфику использования формулы (1.4) проиллюстрируем числовым примером.

Пример 1.1 (оценка рентабельности цепи поставок)

Пусть в классической EOQ-модели с постоянным спросом издержки хранения оплачиваются по занятым местам на складе. Принято также, что издержки хранения и требуемые отчисления, связанные с дополнительными затратами бизнеса, будут оплачиваться из выручки, причем в середине интервала повторного заказа. Представим параметры модели:

$D = 1200$ — годовое потребление, единиц товара (ед. тов.);

$C_0 = 96\,000$ — расходы на одну поставку, представляющие издержки, которые не зависят от количества поставляемых единиц продукции, руб.;

$C_{\Pi} = 12\,000$ — стоимость покупки / себестоимость единицы товара, руб.;

$P_{\Pi} = 3000$ — прибыль от реализации единицы товара, руб.;

$L_{\Pi} = 1000$ — отчисление из выручки на единицу товара, руб.; такое обобщение позволяет учитывать специальные затраты, пропорциональ-

ные объему поставок: бонусные выплаты, издержки страхования, возможность хеджирования рисков и т. д.;

$C_h = 2560$ — издержки хранения единицы продукции за год, руб.; при этом моменты времени выплат таких издержек для каждой партии заказа соотносятся с моментами окончания периодов повторных заказов;

q — объем партии заказа, который требуется определить, единиц продукции;

T — интервал повторного заказа, который требуется определить, лет.

Требуется

1. Для ситуации, когда при оптимизации запасов ВЦД не учитывается, определить годовой показатель рентабельности r оборотного капитала, который необходим для работы соответствующей цепи поставок, на основе моделирования соответствующих денежных потоков цепи поставок применительно к оптимальной стратегии организации поставок для такой модели.

2. Для указанной ситуации определить годовой показатель рентабельности r оборотного капитала на основе аналитической формулы (1.4).

3. Проиллюстрировать совпадение полученных результатов.

Решение

1. Чтобы представить соответствующие денежные потоки на интервале повторного заказа, найдем параметры оптимальной стратегии управления запасами без учета ВЦД. Поскольку при оптимизации не требуется учет ВЦД, то по традиционной EOQ -формуле или по формуле (1.3) для $q_{\text{опт}}$ но при $r = 0$ (так как при оптимизации нет учета ВЦД) после округления до целых единиц товара находим

$$q = \sqrt{\frac{2C_0D}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 96\,000 \cdot 1\,200}{2\,560}} = 300 \text{ ед. тов. и } T = 300 / 1200 = 0,25 \text{ г.}$$

(т. е. надо обеспечить четыре поставки за год партиями по 300 ед. тов.).

Теперь представим структуру денежных потоков на интервале повторного заказа для такой стратегии поставок:

- расходы на одну поставку составят 96 000 руб. ($= C_0$);
- на оплату товара потребуется 3 600 000 руб. ($= qC_{\text{П}}$);
- суммарные издержки начала периода составят $L_B = 3\,696\,000$ руб.;
- издержки хранения составят 96 000 руб. ($= C_h Tq / 2$);
- необходимые для бизнеса отчисления потребуют $L_{\text{П}}q = 300\,000$ руб.

Нетрудно проверить, что при такой стратегии управления запасами имеют место следующие показатели для прибыли (до налогообложения). На интервале повторного заказа прибыль составит 408 000 руб. Годовой показатель такой прибыли (с учетом четырех поставок) составит 1 632 000 руб.

Оборотный капитал, требуемый для работы цепи поставок (речь здесь идет только о затратах начала периода, поскольку другие издержки будут реализованы из выручки), составляет $L_B = 3\,696\,000$ руб.

Таким образом, для показателя годовой рентабельности оборотного капитала цепи поставок имеем $r = 0,4415$ ($= 1\,632\,000 / 3\,696\,000$). Другими словами, в формате рассматриваемой модели можно принять, что

денежные потоки такой цепи поставок характеризует ставка $r = 0,4415$. Это означает, что на каждый вложенный в работу цепи поставок рубль (в виде оборотного капитала) будет получена прибыль 44,15 коп.

2. Оценим значение процентной ставки r на основе аналитического подхода, опуская процедуры моделирования соответствующих денежных потоков цепи поставок, а именно просто выполняя расчеты по формуле (1.4), получаем

$$r = \frac{(3000 - 1000) \sqrt{1200 \cdot 2560 / 2 \cdot 96000} - 2560}{12000 + \sqrt{96000 \cdot 2560 / 2 \cdot 1200}} = 0,4415.$$

3. Как видим, имеет место совпадение полученных результатов. Действительно, именно такой показатель как раз и был найден выше (на основе моделирования денежных потоков цепи поставок).

Итак, формула (1.4) действительно помогает формализовать процедуры оценки рентабельности оборотного капитала. Она дает значение той процентной ставки, которая характеризует денежные потоки при поставках по *EOQ*-формуле.

Необходимое условие для обеспечения эффективности цепи поставок. Обратим внимание на то, что полученное соотношение (1.4) позволяет дать ответ еще на один важный для практикующих менеджеров вопрос. Используя это соотношение, можно уточнить, при каких значениях показателей анализируемой *EOQ*-модели, определяющих такую систему управления запасами, соответствующая цепь поставок будет рентабельной (т. е. будет приносить прибыль). Действительно, покажем это, представив такое условие, которое можно будет рассматривать именно как необходимое условие для обеспечения эффективности рассматриваемой цепи поставок.

На формальном уровне представленное понятие рентабельности цепи поставок (она должна приносить прибыль) означает, что для r в формуле (1.4) должно выполняться неравенство $r > 0$. Действительно, такое неравенство как раз и показывает, что вкладываемая в оборотный капитал денежная сумма будет приносить прибыль. Нетрудно видеть, что, учитывая соотношение (1.4), указанное неравенство ($r > 0$) можно записать, используя показатели анализируемой *EOQ*-модели, в виде $D (P_{\Pi} - L_{\Pi}) > q_{\text{опт}} C_h$, где показатель $q_{\text{опт}}$ должен соответствовать традиционным рекомендациям теории (без учета ВЦД), т. е. $q_{\text{опт}} = \sqrt{2C_0 D / C_h}$. Поэтому окончательно указанное неравенство ($r > 0$) можно представить в виде

$$D (P_{\Pi} - L_{\Pi}) > \sqrt{2C_0 D C_h}. \quad (1.5)$$

Заметим, что приведенное неравенство (1.5) легко интерпретируется. Для этого сначала поделим обе части этого неравенства на число 2, а затем перепишем его в виде $D (P_{\Pi} - L_{\Pi}) / 2 > (q_{\text{опт}} / 2) C_h$. Теперь, учитывая, что показатель $q_{\text{опт}} / 2$ указывает на среднее (в течение года)

число занятых на складе мест, а показатель C_h соответствует годовому тарифу по оплате издержек хранения единицы товара, видно, что последнее неравенство требует, чтобы выполнялось следующее условие: половина годовой прибыли от реализации товара (после требуемых вычетов на поддержку бизнеса) должна покрывать издержки хранения за год. Чтобы понять, почему здесь фигурирует именно половина указанной годовой прибыли, отметим следующее.

Вторая половина годовой прибыли сможет покрыть годовые затраты на поставки. Действительно, при оптимизации без учета ВЦД (именно для такого формата процедур оптимизации и было получено соотношение (1.4) для процентной ставки r) в формате EOQ -модели, как известно, выполняется равенство $(q_{\text{опт}} / 2) C_h = C_0 / T_{\text{опт}}$. Оно отражает тот факт, что при указанной оптимальной стратегии годовые издержки на поставки будут совпадать с годовыми издержками хранения. Таким образом, действительно, неравенство (1.5) можно рассматривать как необходимое условие для обеспечения эффективности данной цепи поставок.

Специальное условие для обеспечения эффективности цепи поставок. Теперь обратим внимание на то, что в конкретной ситуации понятие эффективности работы цепи поставок лицо, принимающее решение, может понимать своим специальным образом (а не просто как условие $r > 0$ обеспечения некоторой прибыли). Речь идет о следующей ситуации: работа рассматриваемой цепи поставок будет признана ЛПР эффективной, если соответствующая процентная ставка r , характеризующая рентабельность денежных потоков цепи поставок, примет значение не меньше, чем некоторое наперед заданное (и, естественно, требуемое для конкретного ЛПР) «свое» число $r_{\text{э}}$. Другими словами, для ожидаемого годового показателя рентабельности r оборотного капитала цепи поставок теперь должно выполняться неравенство $r \geq r_{\text{э}}$ (вместо более простого неравенства $r > 0$, которое было рассмотрено ранее). В такой ситуации вместо условия (1.5) надо будет использовать условие

$$\frac{(P_{\Pi} - L_{\Pi})\sqrt{DC_h / 2C_0} - C_h}{C_{\Pi} + \sqrt{C_0 C_h / 2D}} \geq r_{\text{э}}.$$

После упрощения такое условие удобно представить в виде

$$D (P_{\Pi} - L_{\Pi}) - \sqrt{2C_0 DC_h} \geq r_{\text{э}} [\sqrt{2C_0 D / C_h} \cdot C_{\Pi} + C_0]. \quad (1.5^*)$$

Обратим теперь внимание на следующее:

1) в левой части (1.5*) стоит выражение для годовой прибыли за вычетом всех затрат на поставки и хранение товаров (они в сумме составляют $\sqrt{2C_0 DC_h}$), а также требуемых отчислений для поддержки бизнеса (такие затраты, в свою очередь, составляют DL_{Π});