

А. А. Бочкарев

ПЛАНИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТАВОК

Учебно-практическое пособие

Москва
Альфа-Пресс
2008

УДК 339.182
ББК 65.422
Б 86

Р е ц е н з е н т ы:

В. И. Сергеев,
д-р экон. наук, проф., президент Национальной логистической
ассоциации России, президент Международного центра
подготовки кадров в области логистики ГУ-ВШЭ
Кафедра организации перевозок, управления и безопасности
на автомобильном транспорте Санкт-Петербургского
государственного архитектурно-строительного университета
(зав. кафедрой д-р экон. наук, проф. А. Э. Горев)

Б 86 **Бочкарев А. А.**

ПЛАНИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТАВОК: Учебно-практическое пособие. — М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2008. — 192 с.

ISBN 978-5-94280-307-0

Изложены методологические основы интегрированного планирования и моделирования цепи поставок. Основное внимание уделено моделям линейного программирования, в том числе многопериодным и стохастическим, а также моделям смешанного целочисленного линейного программирования. Приведены примеры компьютерного моделирования цепей поставок.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности 080506 «Логистика и управление цепями поставок», изучающих дисциплины «Интегрированное планирование цепей поставок» и «Сити-логистика», аспирантов и преподавателей, а также специалистов, изучающих и применяющих современные методы планирования и управления цепями поставок.

УДК 339.182
ББК 65.422

ISBN 978-5-94280-307-0



© Бочкарев А. А., 2008
© ООО Издательство «Альфа-Пресс», 2008

Содержание

Введение	5
Глава 1 ЦЕПИ ПОСТАВОК: ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ	
1.1. Основные свойства цепей поставок и принципы их формирования	7
1.2. Методология системного моделирования	10
1.3. Процесс постановки и решения задач оптимизации	14
1.4. Классификация моделей управления цепями поставок	20
1.5. Основные подходы к решению задач оптимизации	26
Глава 2 ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
2.1. Постановка задачи линейного программирования	35
2.2. Задача о распределении ресурсов	36
2.3. Недопустимые и неограниченные модели	40
2.4. Анализ чувствительности оптимального решения	42
2.5. Двойственная задача линейного программирования	44
2.6. Динамические модели линейного программирования	47
2.7. Стохастическое программирование	57
Глава 3 ТРАНСПОРТНЫЕ МОДЕЛИ	
3.1. Постановка задачи целочисленного линейного программирования	65
3.2. Классическая транспортная задача	66
3.3. Транспортная задача с промежуточными пунктами	76
3.4. Задача о назначениях	84
3.5. Задача выбора кратчайшего пути	93
3.6. Задача коммивояжера	96
Глава 4 ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ЦЕПИ ПОСТАВОК	
4.1. Транспортно-складская задача	102
4.2. Производственно-транспортно-складская задача	112
4.3. Планирование сценариев поиска решения	125

Глава 5
ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ В ЛОГИСТИКЕ

5.1. Имитационное моделирование: уровни абстракции, основные подходы	132
5.2. Программные средства имитационного моделирования	136
5.3. Разработка имитационной модели в Extend	140

Глава 6
ПЛАНИРОВАНИЕ ДОСТАВКИ МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ
В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ГОРОДА

6.1. Алгоритм планирования доставки мелкопартионных грузов	157
6.2. Решение задачи маршрутизации с помощью Деловой карты	161
6.3. Применение унифицированной методики оптимизации маршрутов	163
6.4. Использование Деловой карты для создания возможных решений маршрутизации	164
6.5. Создание модели линейного программирования, включающей допустимые маршруты	177
6.6. Оптимизация модели по критерию минимум транспортных затрат	181
Заключение	187
Литература	188

Введение

Содержание книги частично основано на курсе лекций по дисциплине «Сити-логистика», который автор читает в Санкт-Петербургском государственном инженерно-экономическом университете (СПбГИЭУ) студентам, обучающимся по специальности 080506 «Логистика и управление цепями поставок». По сути, учебное пособие является междисциплинарным и далеко выходит за рамки сити-логистики. Основная цель учебного пособия — введение студента в *интегрированное планирование цепей поставок*.

Планирование и моделирование цепи поставок представляет практический интерес для российских специалистов, связанных с решением логистических проблем своих предприятий, по следующим причинам:

- сложные, многофакторные, нестационарные потоковые процессы (материальные, информационные, финансовые и др.) требуют для своего описания и последующей оптимизации управленческих решений привлечения адекватных источников информации, мощного аналитического аппарата и современных компьютерных технологий;

- разработка достоверной и надежной стратегии развития предприятия не может быть выполнена суммированием простых решений отдельных логистических задач. Сложность и противоречивость протекающих социально-экономических процессов требуют координации, интеграции и взаимодействия трех направлений в современной экономической науке: менеджмента, маркетинга и логистики. Подходы к решению таких многогранных проблем требуют построения и оптимизации интегрированных моделей управления цепями поставок, рассматриваемых в данном учебном пособии;

- в большинстве книг, учебников и учебных пособий по логистике подробно рассматриваются вопросы методологического характера (терминология, основные концепции и принципы, эволюция логистики, классификация логистических систем и т. п.), приводятся методы и модели логистических задач (как правило, упрощенных и идеализированных). В последнее время появляются серьезные аналитические работы в области моделирования цепей поставок, но их недостаточно. Особенность настоящего момента в том, что за последние несколько лет появились десятки тысяч организационных структур управления логистикой, остро нуждающихся как в специалистах, так и в современной инструментарии управления цепями поставок, позволяющей решать практические задачи.

В учебном пособии системно с позиции теоретического осмысления комплекса междисциплинарных проблем рассмотрены вопросы планиро-

вания и моделирования цепей поставок. Представлен необходимый теоретический и практический материал по данной теме.

Структурно материал книги разделен на шесть глав. В первой главе рассмотрены методологические основы оптимального управления цепями поставок и методология системного моделирования.

Во второй главе рассмотрены методологические основы оптимизационного моделирования. Основное внимание уделено линейному программированию, которое имеет наибольшее практическое значение для менеджеров, занимающихся стратегическим и тактическим планированием цепи поставок.

В третьей главе на реальных примерах рассмотрена методика создания и оптимизации моделей целочисленного и смешанного линейного программирования, известных в исследовании операций как *модели транспортного типа*.

В четвертой главе приведены модели смешанного целочисленного линейного программирования, имеющие важное прикладное значение: транспортно-складская модель и производственно-транспортно-складская модель. Они создаются построением множества подмоделей, поэтому относятся к классу *интегрированных моделей цепи поставок*.

В пятой главе рассмотрены *имитационные модели*, определяемые как описательные модели, что позволяет менеджерам и аналитикам изучать динамическую характеристику системы цепей поставок.

В шестой главе рассмотрены методологические вопросы, связанные с решением проблемы планирования доставки мелкопартионных грузов в условиях крупного города и предложен алгоритм ее решения; вопросы использования программных продуктов ГИС-класса для планирования доставки мелкопартионных грузов; методика планирования доставки мелкопартионных грузов с использованием программы Деловая карта (разработчик ООО «Фирма «ИНГИТ», Санкт-Петербург, Россия).

Книга предназначена для специалистов по логистике и управлению цепями поставок, преподавателей, студентов и аспирантов, изучающих и применяющих современные методы планирования и управления логистическими цепями.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность за активную поддержку и ценные советы доктору технических наук, профессору В. С. Лукинскому и доктору экономических наук, профессору Е. И. Зайцеву. Отдельная благодарность за поддержку и ценные советы рецензентам — президенту Национальной логистической ассоциации России, президенту Международного центра подготовки кадров в области логистики ГУ-ВШЭ доктору экономических наук, профессору В. И. Сергееву и заведующему кафедрой организации перевозок, управления и безопасности на автомобильном транспорте СПбГАСУ доктору экономических наук, профессору А. Э. Гореву.

ЦЕПИ ПОСТАВОК: ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК И ПРИНЦИПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Логистическая цепь компании включает географически распределенные *объекты*, где приобретаются, преобразуются, хранятся или продаются сырье, незавершенная и готовая продукция, и *каналы распределения*, соединяющие эти объекты, по которым перемещается продукция. Данные объекты могут управляться фокусной компанией, поставщиками, покупателями, представителями третьих сторон или другими фирмами, с которыми компания производитель товара имеет деловые отношения. Цель компании — эффективное управление своими ресурсами, в том числе продуктами, по мере того как они перемещаются по цепи поставок и транспортируются на географически распределенные рынки в необходимом количестве, в необходимой комплектации, в требуемое время и по конкурентоспособной цене.

Существует различие между *заводами* — производственными объектами, где происходят преобразования физического продукта, и *распределительными центрами* — объектами, где продукция принимается, сортируется, переводится в запасы, извлекается из запасов и отправляется, но не преобразуется физически. Современные цепи поставок — *сложная система*, состоящая из различных объектов, т. е. либо заводов с возможностями распределения, либо распределительных центров с возможностями физического преобразования продукции.

Цепь поставок, или *производственно-логистическая сеть*, часто представляется в виде схемы, показанной на рис. 1.1. *Узлы* этой сети представляют объекты, связанные между собой *ребрами* — прямыми транспортными связями. Сети — полезное средство для изображения и обсуждения моделей, тем не менее необходимо иметь в виду, что сеть на рис. 1.1 — это только высокоуровневая модель цепи поставок. Детальный анализ требует добавления подробных данных о процессах, ресурсах, мощностях и затратах, описывающих объекты и каналы распределения.

Сеть на рис. 1.1 имеет пять уровней объектов. Продукты перемещаются «вниз» от поставщиков на заводы субподрядчиков, от субподрядчиков — на заводы — производители конечной продукции; от заводов — производителей конечной продукции — в распределительные центры; от распределительных центров — на рынки. Обычно цепь поставок может иметь произвольное количество уровней. Более того, продукты иногда могут перемещаться «вверх», например, когда продукты возвращаются на заводы для переработки (доработки, утилизации) или когда продукты многократного пользования возвращаются с рынков в центры распределения (например, многооборотная тара).

Объекты цепи поставок в данном случае — фирмы, производящие или распределяющие физические продукты, которые могут быть неделимыми, как, например, электрическая энергия, природный газ, нефть или информация. В последнем случае мы имеем дело с сетями телекоммуникаций, которые также могут быть рассмотрены как цепи поставок.

По определению Европейской логистической ассоциации *SCM* — *Supply Chain Management, управление цепями поставок* — это интегральный

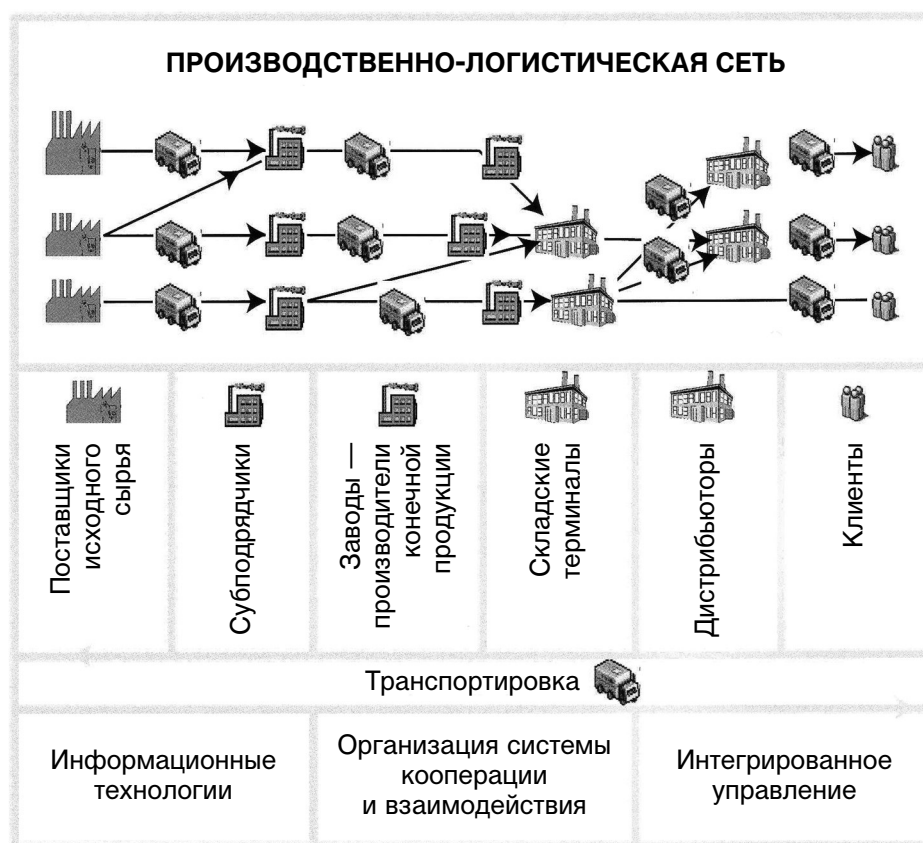


Рис. 1.1. Производственно-логистическая сеть

подход к бизнесу, раскрывающий фундаментальные принципы управления в логистической цепи, например, формирование функциональных стратегий, организационной структуры, методов принятия решений, управления ресурсами, поддерживающих функций, систем и процедур.

Управление цепями поставок относится к интегрированному планированию. Оно связано с *функциональной интеграцией* закупок, производства, транспортировки и складской деятельности; имеет отношение к *пространственной интеграции* этих видов деятельности среди географически распределенных поставщиков, объектов и рынков; рассматривает *межвременную интеграцию* этих видов деятельности в рамках стратегического, тактического и оперативного планирования. К примеру, стратегическое планирование затрагивает решения о приобретении ресурсов на долгосрочный период; тактическое планирование решает вопросы распределения этих ресурсов на среднесрочный период; оперативное планирование решает вопросы, затрагивающие краткосрочную деятельность компании.

Цель управления цепями поставок состоит в минимизации общих логистических издержек при удовлетворении данного фиксированного спроса. Эти издержки могут включать: стоимость сырьевых материалов и других приобретений компании, внутренние и внешние транспортные издержки, инвестиции в оборудование, производственные затраты, затраты распределительных центров, затраты по содержанию запасов и другие виды издержек.

При построении модели для решения конкретных проблем планирования можно исследовать лишь часть общей цепи поставок компании и связанных с ней издержек.

Сегодня среди специалистов нет единого мнения о цели управления цепями поставок. Некоторые из них полагают, что минимизация общих издержек не является основной целью фирмы при анализе стратегических и тактических планов относительно цепи поставок. Напротив, фирма должна стремиться к максимизации чистой прибыли.

На наш взгляд, интересно мнение по этому вопросу одного из известных специалистов по управлению цепями поставок Дж. Шапиро: «Управленческие решения о цепи поставок и спросе также очень тесно связаны с корпоративными финансовыми решениями, особенно при планировании стратегии фирмы. Поэтому компании рассматривают оптимизационные модели для анализа финансовых решений, связанных с корпоративным бухгалтерским балансом, таких как годовые изменения фиксированных активов, выплаты дивидендов или выплат по акциям без фиксированного дивиденда. Данные модели могут быть полностью интегрированы в логистические модели, и в связи с этим с недавнего времени финансовые менеджеры стали интересоваться вопросами их внедрения и использования»¹.

Несмотря на растущее количество применения оптимизационных моделей для оперативного, тактического и стратегического планирования цепи поставок, их возможности, как правило, ограничены. Одна из глав-

¹ Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / Пер. с англ.; под ред. В. С. Лукинско. СПб.: Питер, 2006. С. 29.

ных проблем, приводящих к такому пассивному использованию моделирования, — выбор метода и средств решения задач оптимизации. Для отдельных задач оптимизации существует решение в аналитической форме, но это скорее исключение из общего правила. Практические задачи оптимизации цепей поставок, как правило, не имеют аналитического решения в форме расчетных формул. Именно поэтому становится актуальным выбор вычислительного метода и программного средства для их практического решения. Поэтому необходимо рассмотреть общую методологию постановки и решения задач оптимизации.

1.2. МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Общей методологией постановки и решения задач оптимизации является системный анализ. Применительно к решению прикладных задач эта методология получила название *системного моделирования*. В данном разделе используются материалы работы [49].

Центральное понятие системного моделирования — собственно понятие *системы*, под которым понимается совокупность объектов, компонентов или элементов произвольной природы, образующих, некоторую целостность в том или ином контексте. Определяющим принципом рассмотрения некоторой совокупности объектов как системы является появление у нее новых свойств, которых не имеют составляющие ее элементы. Этот принцип получил специальное название — принцип *эмерджентности* (от англ. *emergence* — появление, выявление).

Системы различной физической природы окружают нас повсеместно — это конкретные предметы и объекты: солнечная система, человек, персональный компьютер, автомобиль, самолет, аэропорт. Характерный признак системного мышления — рассмотрение абстрактных сущностей, таких как алгоритм, компьютерная программа, естественный язык, коммерческая фирма, культура, политика, наука, экономика как система.

При рассмотрении той или иной системы исходным этапом при построении ее модели является определение ее *границы*. Речь идет о необходимости разделения всех элементов на два класса: принадлежащих и не принадлежащих системе. Сущности или объекты, собственно принадлежащие системе, и будут ее *элементами*. Напротив, не принадлежащие системе объекты, но оказывающие на нее то или иное влияние, образуют *среду* или внешнюю по отношению к системе предметную область (рис. 1.2).

Важнейшие характеристики любой системы: ее структура и процесс функционирования. Под *структурой системы* понимают устойчивую во времени совокупность взаимосвязей между ее элементами или компонентами. Структура связывает воедино все элементы и препятствует распаду системы на отдельные компоненты. Структура системы может отражать самые различные взаимосвязи, в том числе и вложенность элементов одной системы в другую. В этом случае принято называть более мелкую или вложенную систему *подсистемой*, а более крупную систему — *метасистемой*.

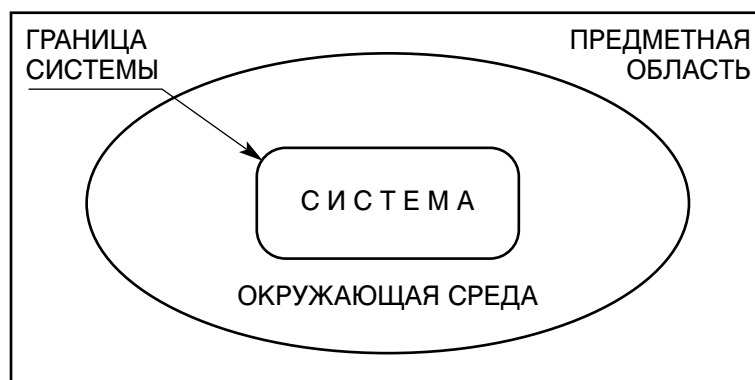


Рис.1.2. Общее представление системы и окружающей среды в контексте традиционного системного анализа

Процесс функционирования тесно связан с изменением свойств системы или отдельных ее элементов во времени. Важная характеристика системы — ее *состояние* — совокупность свойств или признаков, которые в каждый момент времени отражают наиболее существенные особенности поведения системы.

Структура системы может быть описана с разных точек зрения. Наиболее общее представление о структуре дает схема устройства той или иной системы. Взаимодействие элементов может носить не только механический, электрический или биологический характер, но и информационный, что характерно для современных логистических систем. Состояние системы также можно рассматривать с различных точек зрения. Наиболее общая из них — рассмотрение особенностей функционирования или эксплуатации той или иной системы.

Процесс функционирования системы отражает ее поведение во времени и может быть представлен как последовательное изменение ее состояний. При изменении состояния системы говорят, что система *переходит* из одного состояния в другое. Совокупность признаков или условий изменения состояний системы в этом случае называется *переходом*. Для системы с дискретными состояниями процесс функционирования может быть представлен в виде последовательности состояний с соответствующими переходами.

Методология системного моделирования служит концептуальной основой системно-ориентированной структуризации предметной области. В этом случае исходными компонентами концептуализации являются системы и взаимосвязи между ними. Результат системного моделирования — построение некоторой модели системы и соответствующей предметной области, описывающей важнейшие (с точки зрения решаемой проблемы) аспекты системы.

В общем случае под *моделью* понимается некоторое представление о системе, отражающее наиболее существенные закономерности ее структуры

и процесса функционирования и зафиксированное на некотором языке или в некоторой форме. Применительно к контексту задач оптимизации представляют интерес только аспекты построения моделей, связанные с информационным или логическим моделированием систем.

Примерами моделей являются не только известные физические модели (аэродинамическая модель гоночного автомобиля или проектируемого самолета), но и абстрактные или логические модели различных систем (математическая модель колебательной системы, аналитическая модель системы электроснабжения региона, информационная модель избирательной компании и другие).

Общее свойство всех моделей — их подобие некоторому реальному объекту или системе-оригиналу. Важность построения моделей заключается в возможности их использования для получения информации о свойствах структуры или поведении системы-оригинала. При этом сам процесс построения и последующего применения моделей для получения информации о системе-оригинале является основным содержанием системного моделирования.

Наиболее общей информационной моделью системы является модель «черного ящика». В этом случае система представляется в виде прямоугольника, внутреннее устройство которого скрыто от системного аналитика или вообще неизвестно. Однако система не является полностью изолированной от внешней среды, поскольку последняя оказывает на систему некоторые информационные или физические воздействия. Такие воздействия получили название *входных воздействий*, или *входных параметров*, *входных переменных*.

Среди входных воздействий выделяют специальный класс — *управляющих воздействий (переменных)*. Последние предназначены оказывать на систему целенаправленное воздействие для достижения системой некоторой цели (целей) или желаемого поведения. В свою очередь, система также оказывает на среду или другие системы определенные информационные или материальные воздействия. Они получили название *выходных воздействий (параметров, переменных)*. Графически данная модель представлена на рис. 1.3.

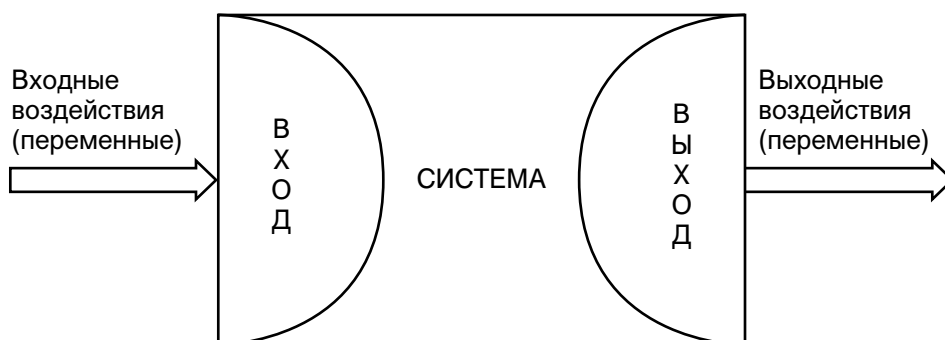


Рис. 1.3. Графическое изображение модели системы в виде «черного ящика»

Ценность моделей, подобных модели «черного ящика», весьма условна. Основное ее назначение — структурировать исходную информацию относительно самой системы и внешней по отношению к ней среды. Поэтому эта модель фиксирует упоминавшиеся ранее границы системы. В дополнение к этому, модель специфицирует воздействия, на которые реагирует система, и как отражается эта реакция на окружающих объектах и системах. В случае количественного описания входных (выходных) воздействий их иногда называют входными (выходными) переменными. В рамках системного моделирования разработаны определенные методологические средства, позволяющие выполнить дальнейшую структуризацию или концептуализацию этой наиболее общей модели системы.

В методологии системного моделирования выделяются сложные системы, исследование которых представляет наибольший интерес в контексте постановки и решения задач оптимизации. *Сложность* системы, соответственно, ее модели могут быть рассмотрены с различных точек зрения. Можно выделить сложность структуры системы, которая характеризуется большим количеством элементов и различными типами взаимосвязей между ними. Если количество элементов системы превышает некоторое пороговое значение, которое, вообще говоря, не является строго фиксированным, такая система может быть названа сложной. Например, если программная система управления базой данных насчитывает более 100 отдельных форм ввода и вывода информации, многие программисты сочтут ее сложной. Если исходные данные некоторой задачи оптимизации содержат несколько сотен переменных и ограничений, имеются все основания считать подобную задачу и соответствующую ей систему сложной. Транспортные и энергетические системы современных мегаполисов, макроэкономика государства или отдельных отраслей также могут служить примерами сложных систем, состоящих из десятков и сотен отдельных подсистем или элементов с нетривиальной структурой взаимосвязей между ними.

Второй аспект сложности — сложность процесса функционирования системы или отдельных ее подсистем. Это может определяться как непредсказуемым характером поведения системы, так и невозможностью формального представления правил преобразования входных воздействий в выходные. Этот важный аспект сложности системы может быть связан с наличием неопределенности в описании процесса поведения системы-оригинала. Например, процесс поведения участников некоторого рынка товаров или услуг в определенной степени непредсказуем или характеризуется неопределенностью состояний своих элементов. Процесс функционирования современных операционных систем также характеризуется сложностью поведения, поскольку их надежность и безопасность не всегда удовлетворяют требованиям различных категорий пользователей.

При анализе структуры и поведения сложных систем, как правило, присутствуют различные факторы неопределенности. Они могут быть учтены и адекватно представлены в процессе построения информационно-логических моделей в рамках нового направления системного моделирования — *нечеткого моделирования*. Примером анализа и решение задач опти-

мизации с неопределенностью может служить нечеткая кластеризация при решении задачи о разбиении клиентов компании на группы. Данная задача возникает при планировании доставки мелкопартионных грузов в условиях крупного города. Ее содержательная постановка рассмотрена в шестой главе.

1.3. ПРОЦЕСС ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

В общем случае процесс постановки и решения задач оптимизации может быть представлен в форме взаимосвязанных этапов. На каждом из них выполняются определенные действия, направленные на построение и последующее использование информационно-логических моделей систем (рис. 1.4). Характерная особенность данного процесса — его циклический или итеративный характер, который отражает современные требования к анализу и проектированию сложных систем.

Отдельные этапы процесса постановки и решения задач оптимизации:

- 1) анализ проблемной ситуации;
- 2) построение математической модели;
- 3) анализ модели;
- 4) выбор метода и средства решения;
- 5) выполнение численных расчетов;
- 6) анализ результатов расчетов;
- 7) применение результатов расчетов;
- 8) коррекция и доработка модели.

Далее дается краткая характеристика каждого из этапов, конкретное содержание которых зависит от специфических особенностей решаемых задач оптимизации в той или иной проблемной области. Каждый новый цикл процесса постановки и решения задачи инициируется этапом анализа проблемной ситуации, в чем проявляется реализация требования проблемно-ориентированного подхода к построению и использованию информационно-логических моделей систем для решения задач оптимизации.

Анализ проблемной ситуации. Один из основных принципов системного моделирования — проблемная ориентация процессов построения и использования моделей, т. е. та или иная модель конкретной системы строится в контексте решения некоторой проблемы или достижения некоторой цели. Главное назначение первого этапа — логическое осмысление конкретной проблемы в контексте методологии системного моделирования. При этом выполняется анализ всех доступных ресурсов (материальных, финансовых, информационных и др.), необходимых для построения модели, ее использования и реализации полученных результатов с целью решения имеющейся проблемы. В случае отсутствия требуемых ресурсов на данном этапе может быть принято решение либо о сужении (уменьшении масштаба) решаемой проблемы, либо вообще об отказе от использования средств системного моделирования.

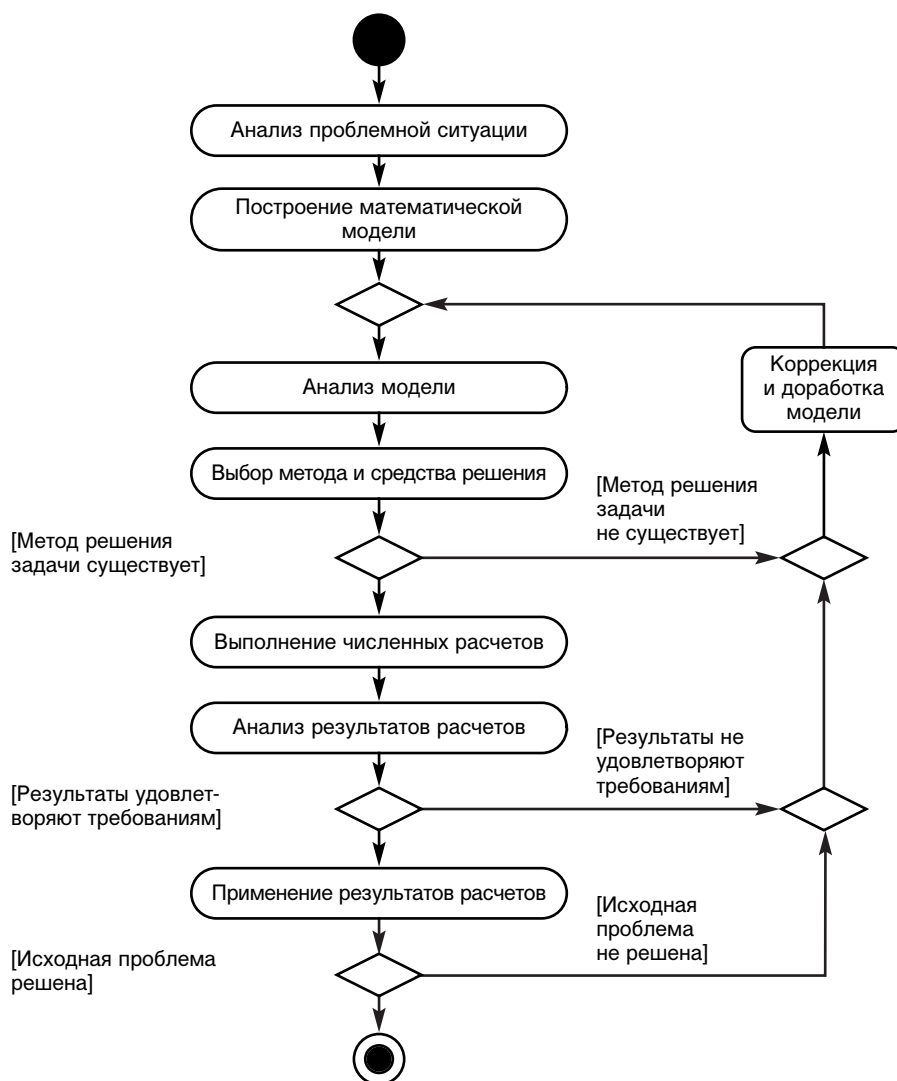


Рис. 1.4. Общая схема процесса постановки и решения задач оптимизации в форме диаграммы деятельности языка UML2

(Источник: Леоненков А. В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. С. 32)

На этом этапе также выполняется анализ требований, предъявляемых в той или иной форме к результату решения проблемы. Первоначальный анализ решаемой проблемы и соответствующей проблемной области является наименее формализуемым с точки зрения использования известных аналитических подходов и средств. Поэтому на данном этапе рекомендуется применять *эвристические* или неформальные методы системного анализа. К ним относятся:

- методы построения логических сценариев или повествовательных историй на естественном языке для анализа возможных способов и альтернативных путей решения проблемы;
- методы мозговой атаки или штурма для генерации новых идей и нестандартных подходов к решению проблемы;
- методы морфологического и концептуального анализа для достижения требуемой полноты рассмотрения исходной проблемы;
- методы построения и анализа дерева целей и задач, которые позволяют разбить исходную проблему на ряд более частных или более простых подпроблем.

Построение математической модели. Цель данного этапа — построение адекватной модели проблемной ситуации и соответствующей проблемной области в наиболее общем контексте решения исходной проблемы. Структуризация проблемной области предполагает определение и последующее уточнение ее границ, а также установление границ и состава систем, которые потенциально могут участвовать в решении исходной проблемы. Соответствующая информация представляется в форме модели системы или проблемной области в целом на некотором формально-логическом языке.

Важно, чтобы вся доступная и существенная информация о решении проблемы фиксировалась в виде некоторой информационно-логической модели системы. Эта модель должна удовлетворять принципу адекватности отражения основных особенностей системы-оригинала, т. е. модель не должна быть ни поверхностной или неполной, не учитывающей существенные аспекты структуры или поведения системы-оригинала; ни излишне сложной или избыточной, в рамках которой разработчики пытаются учесть даже несущественные (с точки зрения исходной проблемы) детали системы-оригинала.

Данный этап построения информационно-логической модели предполагает построение:

- концептуальной или информационной модели системы и проблемной области, которая содержит наиболее общую информацию и отражает структурные взаимосвязи системы с другими объектами окружающей среды;
- аналитической или математической модели системы, которая детализирует отдельные аспекты структуры и поведения системы-оригинала в форме текста с использованием специальной математической нотации и символики;
- имитационной или программной модели системы, которая непосредственно реализует информационно-логическую модель в форме, специально предназначенной для ее исследования с использованием компьютеров.

Процесс разработки адекватных моделей и их последующего конструктивного применения требует знания общей методологии системного анализа и наличия соответствующих изобразительных средств или языков для фиксации результатов моделирования и их документирования. Очевидно, что естественный язык не вполне подходит для этой цели, поскольку обладает неоднозначностью и неопределенностью. Поэтому для построения мо-

делей используются формально-логические методы, основанные на дальнейшем развитии математических и логических средств моделирования.

Анализ модели. В общем случае формально-логическая модель системы разрабатывается для получения некоторой новой информации о системе-оригинале с целью решения исходной проблемы. При решении задач оптимизации для этой цели строится некоторая математическая модель. Ее анализ предполагает установление характерных свойств отдельных элементов этой модели. Такими элементами являются: переменные, ограничения и целевая функция модели, множество допустимых альтернатив и его математические свойства. После анализа свойств элементов математической модели можно соотнести решаемую задачу оптимизации с одним из классов данных задач, что имеет принципиальное значение для выбора метода и средств для ее последующего решения.

Анализ математической модели решаемой задачи необходимо выполнять в контексте общей классификации моделей управления цепями поставок, которая рассматривается в разделе 1.5 данной главы.

Выбор метода и средства решения. Для отдельных задач оптимизации существует решение в аналитической форме, но это скорее исключение из общего правила. Большинство практических задач оптимизации цепей поставок, как правило, не имеют аналитического решения в виде расчетных формул. Поэтому становится актуальным выбор вычислительного метода и программного средства для их практического решения.

На выбор метода и средства влияют характер математической модели и математические свойства множества допустимых альтернатив. В первом случае класс, к которому относится рассматриваемая математическая модель, как правило, предопределяет выбор метода и алгоритма решения соответствующей задачи оптимизации. Во втором случае такая характеристика множества допустимых альтернатив, например, размерность исходных данных оказывает принципиальное влияние на возможность получения точного или приближенного решения.

На выбор программного средства для решения задач оптимизации влияют следующие соображения. Сегодня на рынке программ существуют математические пакеты, например, MATLAB и Mathcad, специально ориентированные на решение математических задач. Их основное достоинство — в наличии сотен и тысяч встроенных математических функций и десятков вычислительных алгоритмов для выполнения практических расчетов. Очевидный недостаток — дополнительные финансовые затраты на их приобретение и времени на изучение. В пользу выбора этих программ говорит весьма специфический характер отдельных задач оптимизации, которые требуется решить, например, из области нечеткой логики, распознавания изображений или звука и т. д.

Наряду с этим на компьютерах практически всех пользователей присутствует программа электронных таблиц Microsoft Excel. Она устанавливается в составе офисного пакета Microsoft Office, как правило, сразу после установки операционной системы Microsoft Windows. Вполне очевидно желание аналитика воспользоваться возможностями этой программы для

решения задач оптимизации. В пользу выбора MS Excel в качестве программного средства говорит наличие встроенных функций и нескольких алгоритмов поиска решения. При этом никаких дополнительных затрат от пользователя не требуется. Недостаток обусловлен отсутствием возможности решения некоторых классов задач оптимизации, например, задач смешанного целочисленного программирования с булевыми переменными. Решение данной проблемы путем создания сценариев поиска решения рассмотрено в четвертой главе.

При выполнении данного этапа возможна ситуация, когда для рассматриваемой задачи оптимизации не существует адекватного метода решения. Это может потребовать выполнения дополнительной коррекции и доработки модели (что отражено на рис. 1.4) либо вообще отказа от решения исходной проблемы (что не отражено на рис. 1.4). Поскольку последний случай характерен для крайнего пессимизма и соответствует низкой квалификации аналитика, он не рассматривается как серьезная альтернатива первому. Вывод об отказе решения исходной проблемы следует принимать лишь в случае невозможности коррекции и доработки модели или сужения исходной проблемы.

При наличии метода решения рассматриваемой задачи оптимизации в сформулированной постановке для разработанной математической модели и выбранном программном средстве следует перейти к ее практическому решению в форме выполнения численных расчетов.

Выполнение численных расчетов. Реализация данного этапа в контексте методологии системного моделирования означает выполнение серии экспериментов с программной моделью системы на той или иной вычислительной платформе. В нашем случае это решение конкретной задачи оптимизации для фиксированной совокупности исходных данных средствами программы электронных таблиц MS Excel. Возможна следующая последовательность действий, отражающая содержание собственно процесса планирования экспериментов:

1) формирование конкретных значений исходных данных (значений коэффициентов ограничений и целевой функции) и их ввод в специальном формате на отдельный рабочий лист MS Excel;

2) задание свойств алгоритма расчета и параметров поиска решения MS Excel;

3) выполнение расчетов с целью получения решения в форме конкретных значений переменных модели;

4) представление результатов расчетов в графической форме для их наглядной интерпретации.

В отдельных случаях средство поиска решения MS Excel не позволяет получить решение задачи, о чем программа любезно сообщает пользователю. Причина этого сообщения — ошибки при задании параметров поиска решения, например, неверный знак ограничений, что может привести к их несовместимости. Однако причина может быть и более сложной, связанной с особенностями встроенных вычислительных алгоритмов MS Excel. Об этом дополнительно указывается в соответствующих главах книги при рассмотрении отдельных классов задач оптимизации.

Анализ результатов расчетов. Цель данного этапа — анализ точности и правильности полученных результатов, если поиск решения MS Excel закончился успешно. Возможна следующая последовательность действий:

- 1) оценка точности и верификация полученных результатов на основе проверки согласованности отдельных компонентов вычислительных расчетов с использованием аналитической модели и ручного просчета;
- 2) интерпретация полученных результатов в форме управляющих воздействий или альтернатив решения исходной проблемы;
- 3) оценка потенциальной возможности реализации полученных результатов применительно к системе-оригиналу.

Для удобства выполнения указанных действий результаты расчетов могут быть представлены в графическом виде в форме соответствующих диаграмм и графиков. Наличие данной возможности у программных средств также влияет на его выбор.

Если анализ полученных результатов показывает их недостаточную точность или потенциальную невозможность их реализации применительно к системе-оригиналу, следует перейти к этапу коррекции и доработки модели. Если полученные результаты удовлетворяют всем предъявляемым к ним требованиям, то можно перейти к этапу их применения к системе-оригиналу для решения исходной проблемы.

Применение результатов расчетов. Содержание данного этапа — физическое или информационное воздействие на систему-оригинал с целью решения исходной проблемы. При этом может потребоваться дополнительное планирование организационных мероприятий по реализации подобных воздействий и контроль их выполнения.

После реализации рекомендаций выполненных исследований и после окончания этапа вычислительных экспериментов с моделью может сложиться одна из двух ситуаций:

- исходная проблема полностью решена — тем самым цели системного моделирования достигнуты; можно перейти к решению очередной проблемы из данной проблемной области или ожидать эффекта от решения исходной проблемы;
- исходная проблема не решена или решена не полностью — тем самым цели системного моделирования не достигнуты; необходимо тщательно проанализировать сложившуюся ситуацию и причины неудачи. После этого можно перейти либо к коррекции исходной модели системы, либо вообще отказаться от построенной модели и реализовывать цикл системного моделирования заново.

Процесс решения сложных проблем оптимизации занимает достаточно продолжительное время, в течение которого может измениться как само содержание исходной проблемы, так и наличие необходимых для ее решения ресурсов. Эти особенности зачастую не учитываются при реализации сложных проектов, что является источником их неудачного завершения. Для исключения или ослабления негативного влияния данных факторов на схему процесса постановки и решения задач оптимизации должен быть предусмотрен отдельный этап — коррекция или доработка модели, кото-

рый может начать выполняться с любого момента изменения исходной ситуации или в результате возникновения признаков неадекватности модели на любом из рассмотренных ранее этапов.

Коррекция и доработка модели. Цель данного этапа — внесение изменений в существующую модель, которые направлены на обеспечение ее адекватности решаемой проблеме. Речь может идти как о включении в состав или исключении из состава исходной модели дополнительных компонентов, так и о радикальном изменении структуры и содержания модели. Отметим проблемно-ориентированный характер этих изменений, т. е. коррекция или доработка модели должны выполняться в непосредственном контексте с решаемой проблемой.

Результатом выполнения этого этапа может служить упрощение исходной задачи оптимизации, например, заменой нелинейных ограничений или целевой функции их линейными аналогами, а также сокращение количества переменных или ограничений модели. Данный этап может быть связан и с усложнением исходной модели посредством введения дополнительных переменных и ограничений для обеспечения необходимой адекватности модели решаемой проблеме.

При рассмотрении отдельных классов задач оптимизации приводятся также рекомендации и практические советы по выполнению этого этапа. Для правильного выполнения этапов построения и анализа математической модели следует рассмотреть определения и свойства основных элементов собственно математической модели.

1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

В естественных, технических и экономических науках выделяют два типа моделей. Конструкторы создают макеты самолетов, а архитекторы — макеты городов. Это *физические модели*, редко используемые при исследовании операций и анализе систем. Но в некоторых случаях создание физических моделей может оказаться весьма эффективным при исследовании технических систем или систем управления.

Второй тип моделей — *математические модели* — формализованное описание объекта или системы с помощью некоторого абстрактного языка, например в виде совокупности математических соотношений или схемы алгоритма. Различают вербальные (словесные), графические, табличные, аналитические или алгоритмические математические модели.

Менеджерам приходится работать со всеми видами математических моделей, чаще всего — с графическими моделями в форме диаграмм и графиков, а также с табличными моделями в виде электронной таблицы или отчетов корпоративной информационной системы. Несмотря на их различие, все модели имеют одно общее свойство: любая модель — это тщательно выбранная абстракция реальности, которая отражает представления ее создателя о причинных связях в реальном мире.

Очевидно, что все модели принятия решений, в том числе и модели управления цепями поставок, относятся к типу математических моделей. Но чтобы эффективно использовать существующие модели в управлении цепями поставок и разрабатывать новые, необходима их классификация.

Вопросам классификации моделей и методов теории логистики посвящены работы [59, 67, 77, 86, 89, 90]. Однако многие попытки классификации и систематизации моделей и методов, возможных для использования в логистике, следовательно, и определение сфер их применения, выглядят довольно хаотично. Например, в модель включаются разные по измеримости массивы информации, совершенно несопоставимые друг с другом; переменные модели очень условны; отсутствуют ограничения, которые и должны определить решаемость модели, ее реалистичность.

Классификация экономико-математических методов и моделей, используемых в логистике. Построение внутренних зависимостей для каждого отдельного компонента моделируемой системы, которые могут быть затем использованы для построения того или иного вида модели системы, производится экономико-математическими методами. Классификация этих методов приведена на рис. 1.5.

Экономико-математические методы приводят к построению экономико-математических моделей. Такие модели — отображение экономических характеристик объекта в виде совокупности математических выражений. Все экономико-математические модели, используемые в логистике, могут быть классифицированы по различным признакам (рис. 1.6).

Вклад в классификацию экономико-математических методов и моделей, используемых в логистике, внесли работы аспирантов, преподавателей и докторантов кафедры логистики и организации перевозок Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета, выполненные под руководством проф. В. С. Лукинского. Предложенная в работе [59] укрупненная структуризация моделей и методов научной базы теории логистики развивает подход, отраженный на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Классификация экономико-математических методов

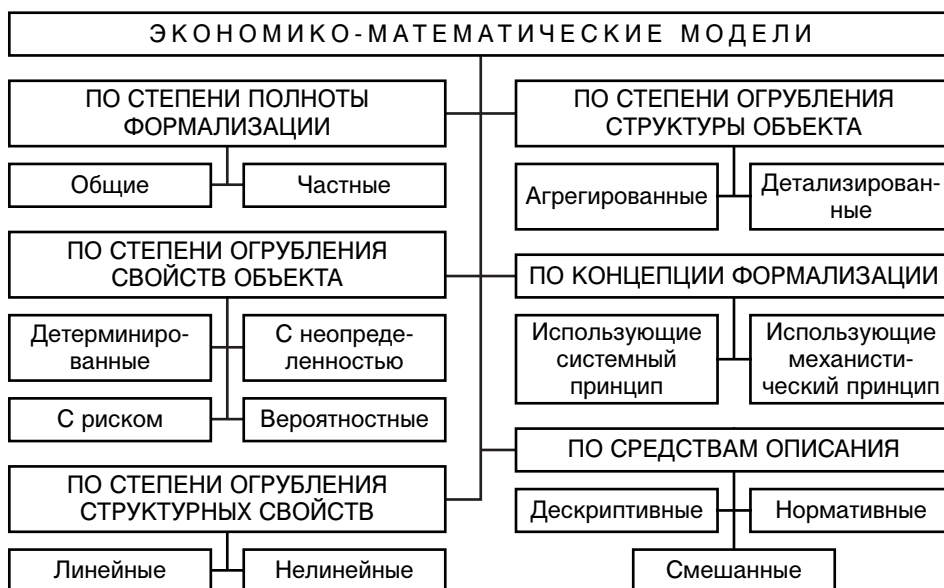


Рис. 1.6. Классификация экономико-математических моделей

Предлагается на верхнем уровне иерархии все модели и методы делить на четыре класса: экономико-статистические, эконометрические, исследования операций и экономической кибернетики. Данный подход основывается на разбиении всех моделей и методов теории логистики в соответствии с научными дисциплинами, занимающихся разработкой теории соответствующих моделей и методов.

По мере развития и накопления опыта все отчетливее проявляются задачи разработки реальных моделей и методов, позволяющих выполнять конкретные многовариантные расчеты, связанные с анализом и синтезом логистических систем.

В [59] предложен подход, в соответствии с которым все модели разделены на три класса:

- первый класс включает модели и методы для решения задач в «условиях определенности», без ограничений со стороны внешней среды;
- второй класс — модели и методы для решения задач в «условиях риска и неопределенности» (например, нечетких множеств), но без конкуренции;
- третий класс — модели и методы решения задач в «условиях конкуренции».

Каждый класс делится на три вида, внутри каждого из них предусмотрено деление на группы (подгруппы). Деление на виды определяется степенью учета в анализируемой модели логистических операций и функций, тогда как деление на группы определяется сложностью моделей, в частности, использованием специальных процедур, например, оптимизации.