

Курсовая работа по экономической информатике  
студента 3-го курса экономического факультета  
МГУ им. Ломоносова  
Овчинникова Константина Александровича.  
«Планирование цепочек поставок: некоторые модели».  
Научный руководитель: Кирилл Георгиевич Скрипкин.  
Москва, 2002 год.

# Содержание

1	Введение.	2
2	Основные понятия.	3
2.1	Этапы SCM. . . . .	3
2.2	Области SCM. . . . .	4
2.3	Цель внедрения SCM. . . . .	4
3	Как работает SCM-система (на примере Cisco).	5
4	Классификация ИС, используемых для автоматизации SCM.	6
5	Математические модели, используемые в системах по управлению цепочками поставок.	7
5.1	Модели линейного программирования. . . . .	7
5.1.1	Модель распределения ресурсов. . . . .	7
5.1.2	Производство одного вида продукции разными способами. . . . .	8
5.1.3	Неограниченные и недопустимые решения. . . . .	8
5.1.4	Расширение горизонта планирования. . . . .	9
5.1.5	Модели сетевого планирования. . . . .	11
5.1.6	Свойства моделей ЛП. . . . .	13
5.2	Модели предсказания спроса. . . . .	15
5.2.1	Виды моделей предсказания спроса. . . . .	16
5.2.2	Спецификация данных о спросе для оптимизационных моделей. . . . .	17
5.2.3	ПО для прогнозирования спроса. . . . .	18
6	Заключение. Перспективы автоматизации.	18
7	Глоссарий.	20

# 1 Введение.

Рассматривая тенденции современного бизнеса, можно выделить явное стремление ко всё большей автоматизации, всё более широкому применению информационных технологий (ИТ). Основная причина внедрения ИТ в производство товаров и услуг — абсолютно реально возникающая экономия, особенно заметная на крупных предприятиях. Именно крупные предприятия были и остаются являются пионерами во внедрении современных информационных систем (ИС), так как для современного предприятия с тысячами сотрудников, работающего в конкурентной среде (если предприятие выходит на мировой рынок, то оно скорее всего работает в конкурентной среде, даже занимая монопольное положение в стране дислокации головного офиса), возможности, предоставляемые ИТ, выливаются в конкурентные преимущества. Всё начиналось с ERP<sup>1</sup>-систем, которые кстати, раньше предприятия вынуждены были разрабатывать самостоятельно, хотя это могло и не быть их профильным видом деятельности (это, в свою очередь, говорит о том, насколько сильно ERP-системы были нужны).

Предположим, предприятие успешно внедрило ERP-систему, автоматизировав свою деятельность. А так ли это на самом деле, действительно ли деятельность автоматизирована, и все операции достаточно согласованы. Фактически не осталось крупных предприятий, которые могли бы производить продукцию для промежуточного потребления «внутри себя», поэтому возникают поставщики, которые за счёт специализации могут производить продукцию для промежуточного потребления с меньшими издержками. Как правило, крупное предприятие (именно такие предприятия будут рассматриваться и в дальнейшем, поэтому они будут называться просто «предприятия») зависит от множества поставщиков. Естественно, возникают задержки, «узкие места», так как предприятие–производитель работает с более высокой скоростью, чем поставщики.

Предположим идеальный вариант, когда все поставщики внедрили ERP-системы (хотя не все поставщики могут быть настолько крупными) или другие системы автоматизации, чтобы подстроиться под основного покупателя. В итоге получается набор обособленных ERP-систем, слабо связанных, от разных производителей, которые нелегко состыковать даже на основе общих технологических стандартов. Кроме того, предприятие не может открывать полностью доступ к своей ERP-системе всем поставщикам, поскольку поставщики работают не с одним предприятием, что грозит утечкой коммерчески важной информации.

Решением является внедрение информационных систем, предназначенных для SCM<sup>2</sup> Скорее всего, для этого придётся проводить интеграцию с ERP-системой, также как открывать некоторую информацию поставщикам. Специализированность, то есть нацеленность системы именно на повышение эффективности отношений с поставщиками, позволяет добиться желаемого результата — снижения издержек, например, за счёт just-in-time поставок<sup>3</sup>

На самом деле, приведённое описание применимо к ситуации, когда вся продукция для промежуточного потребления производится отдельными фирмами-поставщиками. В действительности большое предприятие имеет несколько подразделений, производящих промежуточную продукцию (например, полуфабрикаты) и возникают цепочки поставок внутри самого предприятия.

В данной работе рассматриваются некоторые математические модели, которые применяются в SCM, а именно в SCP-приложениях (см. ниже). Многие из них основаны на достаточно простых моделях из исследования операций, но отказ от некоторых ограничений в моделях позволяет усложнить модели, и главное, расширить границы их применения. Также в работе даётся общее представление о SCM, так как на данный момент доступна лишь одна переведённая на

---

<sup>1</sup>Расшифровку и определение этой и других встречающихся в тексте аббревиатур и терминов можно найти в Глоссарии.

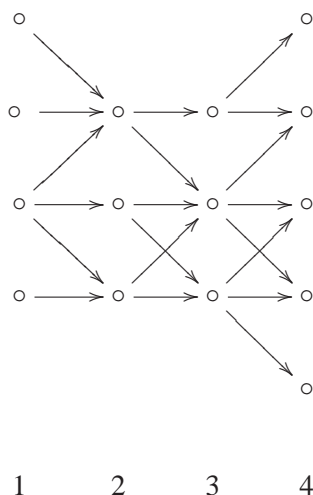
<sup>2</sup>Supply chain management, управление цепочками поставок.

<sup>3</sup>Система работы без складов.

русский язык книга по SCM<sup>4</sup>, и довольно разнородные, часто противоречащие друг другу (доходит до путаницы с ERP-системами) статьи в Интернете. В этом смысле достаточно достоверный источник — Supply Chain Management Research Center at CIO.com (<http://www.cio.com/research/-scm/>). Для тех, кто занимается SCM, также будет полезен сайт <http://www.supply-chain.org/>, на котором собраны ссылки на тематические ресурсы в Сети.

## 2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

Одно из возможных определений управления цепочками поставок (Supply chain management, SCM) — это комбинация искусства и науки, которая позволяет компании найти сырьё для производства своей продукции или предоставления услуги, произвести эту продукцию или услугу и поставить её покупателям [1]. Однако в этом случае возникает путаница с ERP. Эти два понятия разделяются достаточно просто: SCM касается управления отношениями с поставщиками, тогда как ERP применяется для управления деятельностью внутри предприятия<sup>5</sup>. Цепочку поставок можно представить следующим образом (её также называют сетью цепочки поставок):



На представленной схеме 1 — поставщики, 2 — заводы, 3 — центры дистрибуции, 4 — рынки.

### 2.1 Этапы SCM.

В SCM можно условно выделить 5 основных компонент:

1. Планирование является стратегической частью SCM. Стратегия необходима, чтобы управлять ресурсами, которые идут на продукцию или услуги, соответствующие предъявляемому спросу на рынке. Большой частью планирования является разработка показателей, метрик, чтобы следить за тем, что цепочка поставок остаётся эффективной, работающей с небольшими издержками и на выходе получается качественный продукт.
2. Выбор поставщика, который бы предоставлял продукцию и услуги, необходимые для конечного производства. Сюда входит разработка системы цен, процессов поставок и платежей поставщикам, разработка показателей для отслеживания и улучшения отношений с поставщиками. Также необходимо обеспечить совместимость процессов управления запасами, поступающих от поставщиков, включая получение грузов, их проверку, перевозку на производство и проведение платежей поставщикам.

<sup>4</sup>Роберт Чейз, «Управление производствами и операциями».

<sup>5</sup>Хотя, чтобы совсем запутать читателя, можно сказать, что с внедрением систем, реализующих автоматизацию SCM, ERP-система также становится одной из таких ИС.

3. Производство — это планирование деятельности, обходимой для производства, тестирования, упаковки и подготовки к доставке. Это наиболее насыщенная показателями часть цепочки поставок, измеряются уровень качества, выпуск продукции и производительность рабочих.
4. Поставка — эта часть цепочки поставок относится к логистике. На этом этапе возникают задачи координировать получение заказов от покупателей, разработать сеть товарных складов, договориться с транспортными агентствами о доставке товара покупателю и подготовить платёжную систему к приёму платежей от покупателей.
5. Возврат — это проблемная часть цепочки поставок. Необходимо создать сеть для получения дефектной и лишней продукции от конечных покупателей и дилеров, которые не могут сбыть продукцию.

## 2.2 Области SCM.

SCM — это целая сфера, в которую включаются как исследования в области повышения эффективности поставок, так и приложения (программные продукты), реализующие эту возможность. Приложения делятся на две ветки:

- Supply chain planning (SCP)<sup>6</sup>—приложения используют изошрённые математические алгоритмы, чтобы помочь менеджеру оптимизировать потоки и эффективность в цепочке поставок и уменьшить запасы (а содержание запасов на складе влечёт за собой издержки). SCP целиком зависит от объёма, точности и своевременности информации (иначе может получиться по принципу «мусор на входе — мусор на выходе»). Существуют приложения для всех пяти перечисленных этапов цепочки поставок. По-видимому, наиболее ценным (хотя и сложным и склонным к ошибкам) является прогнозирование (предсказание) спроса, которое определяет, сколько продукции необходимо произвести, чтобы удовлетворить неоднородный спрос.
- Supply chain execution (SCE)<sup>7</sup> — приложения этого типа нацелены на то, чтобы автоматизировать различные этапы цепочки поставок. Такое программное обеспечение может быть достаточно простым как, например, направление по электронным каналам связи заказов на сырьё от заводов к поставщикам.

## 2.3 Цель внедрения SCM.

Цель внедрения программного обеспечения (ПО) по управлению цепочками поставок до широкого распространения Интернета была ограничена предсказанием спроса (demand forecasting) со стороны клиентов<sup>8</sup> и отлаживание своих собственных цепочек поставок. Но дешёвый, повсеместно распространённый (доступный по крайней мере для всех корпоративных пользователей) Интернет вместе с его универсальными коммуникационными стандартами значительно расширил возможности по управлению цепочками поставок. Теперь, теоретически, можно подключить свою цепочку поставок к любой цепочке поставок любых поставщиков и покупателей, создав грандиозную сеть, которая минимизирует издержки и максимизирует возможности для всех, кто вовлечён в эту сеть. Это и было причиной взрывного роста B2B — идея, что все, кто имеет общие деловые интересы могут быть подключены к большому кооперативному сообществу.

---

<sup>6</sup>Планирование цепочек поставок.

<sup>7</sup>Исполнение цепочки поставок.

<sup>8</sup>Клиенты, покупатели конечной продукции и конечные потребители — эти термины используются здесь и далее как синонимы.

Безусловно, завершение перехода к кооперации потребует времени, но уже сегодня такие отрасли на Западе, как производство потребительских товаров «в упаковке» (их производят компании, чья продукция попадает в супермаркеты и аптеки), высокотехнологичное производство и производство автомобилей.

Самое ценное из того, что компании получают от внедрения SCM-систем, по их же словам — возможность видеть то, что происходит. Во многих отраслях цепочка поставок напоминает карточную игру: игроки не хотят показывать свои карты, так как не хотят делиться ни с кем информацией. Но если бы они показали карты, то они все могли бы выиграть от этого. Поставщикам не нужно было бы гадать, сколько сырья заказывать, производителям не нужно было бы заказывать больше, чем им нужно, продукции от поставщиков, чтобы быть уверенными, что у них достаточно продукции в наличии, если спрос неожиданно возрастет. В то же время розничные продавцы не испытывали бы недостатка в продукции, если бы они предоставляли информацию производителю о продажах товара во всех своих магазинах. Интернет делает возможным такое «открытие карт», но века недоверия и недостатка координации между разными отраслями промышленности усложняют задачу.

### 3 Как работает SCM-система (на примере Cisco).

В качестве примера сотрудничества в области цепочек поставок можно привести совместную работу Procter & Gamble и сети супермаркетов Wal-Mart, которые одними из первых в начале 1980-х начали сотрудничество в области предоставления друг другу информации. Сейчас на передовой технологической основе P&G может отслеживать, когда их товар проходит через кассу. Но ещё более интересен пример компании Cisco, производителя оборудования для телекоммуникаций, которая действительно выстроила сеть для поставщиков компонент оборудования, дистрибьюторов и подрядчиков, которая соединяет их всех в экстранете<sup>9</sup> компании Cisco, образуя виртуальную цепочку поставок в режиме just-in-time<sup>10</sup>.

Например, заказ на маршрутизатор, типичную продукцию Cisco, вызывает поток сообщений в адрес производителей печатных плат. В то же время дистрибьюторы предупреждаются о необходимости поставки основных комплектующих для маршрутизатора, таких как блок питания. Подрядчики Cisco, выполняющие вспомогательные сборочные работы, такие как сборка шасси маршрутизатора, или производящие сборку готового продукта, уже знают, что именно производится в данный момент, так как они работают в экстранете Cisco и связаны с производственной системой Cisco.

Вскоре после того, как подрядчики получают доступ в экстранет компании Cisco, система начинает проверять, всё ли в порядке на сборочной линии подрядчика. Заводские сборщики наклеивают бар-код на маршрутизатор, подключают его к кабелям, которые моделируют настоящую типичную корпоративную сеть. Один из этих кабелей является «пожарным рукавом», он получает и передаёт данные автоматизированному тестирующему ПО Cisco. Прежде всего этот «рукав» сканирует бар-код, соотносит его с заказом покупателя, и исследует маршрутизатор, находящийся ещё на стадии сборки, на наличие всех требуемых в соответствии с заказом портов и необходимой памяти. Если все проверки заканчиваются успешно, тестирующее ПО выдаёт имя покупателя и информацию о погрузке, так что подрядчик может вывезти маршрутизатор из цеха.

В итоге Cisco может работать без складов, бумажных счетов-фактур, нужна лишь очень любопытная программа, которая автоматически контролирует цепочку поставок Cisco, в режиме

---

<sup>9</sup>Удалённая локальная сеть.

<sup>10</sup>Английская терминология используется ввиду неустоявшегося русского перевода или отсутствия русских аббревиатур.

реального времени, везде и одновременно. Цепочка поставок функционирует сама по себе до тех пор, пока не возникает проблема, и система подаёт сигнал человеку, чтобы тот что-нибудь сделал. Знатоки SCM-приложений называют это «управление по исключениям<sup>11</sup>», то есть не нужно ничего предпринимать, пока что-нибудь не случится.

Если в такого рода системах и есть слабое место, так это то, что они не тестировались до недавнего времени<sup>12</sup> в жёстких, неблагоприятных рыночных условиях. Так, сеть Cisco была спроектирована для управления гигантским ростом Cisco (как известно, до кризиса ИТ-сектора 2000 года Cisco был первой компанией по капитализации в США). Распределённое принятие решений подходит в условиях роста продаж или увеличивающегося объёма закупок. Но компания Cisco и её сеть были застигнуты врасплох неожиданным потрясением «новой экономики». Нужно было время, чтобы отключить все детали её сложной сети, когда спрос на её продукцию камнем начал падать вниз и Cisco, как и её партнёры по цепочке поставок, увязла в лишних запасах, так же как и большинство производителей в высокотехнологичной отрасли. Cisco пришлось тщательно пересмотреть свою цепочку поставок и её возможности. Таким образом, ПО для планирования цепочек поставок (SCP) намного лучше подходит для управления ростом, чем для контроля и корректирования спада.

## 4 Классификация ИС, используемых для автоматизации SCM.

Одно из возможных разделений ИС — деление на транзакционные и аналитические. Транзакционные ИС осуществляют получение, обработку и передачу первичной информации, необработанных данных о цепочке поставок компании с последующим сбором и распространением автоматических отчётов, резюмирующих эти данные. Данные могут быть внутреннего (система бухгалтерской отчётности) или внешнего (заказ, полученный через Интернет) происхождения.

Аналитические ИС оценивают проблемы в планировании цепочки поставок, используя описательные и нормативные модели. Под описательными моделями имеются ввиду такие модели, которые описывают как процесс поставок, издержки, ограничения и требования к процессу поставок, которые могут изменяться в будущем (например, модели предсказания спроса).

Нормативные или оптимизационные модели описывают пространство возможностей цепочки поставок, в котором менеджеры цепочек поставок могут принимать оптимальные решения. Нормативные модели строятся, основываясь на данных из соответствующих баз данных для принятия решений (supply chain decision databases), используя описательные модели и методы агрегирования данных.

Аналитические ИС похожи на по своему значению на системы поддержки принятия решений (СППР<sup>13</sup>). Но в СППР используется другой механизм, там для каждой проблемы принятия решений в бизнесе разрабатывается новая модель и новая СППР. Аналитические же ИС для SCM применяют одни и тот же строгий, богатый, и последовательный инструментарий для решения разных задач. Этот инструментарий и составляет основу аналитических ИС.

Исходя из такой классификации, к аналитическим ИС относятся:

- стратегические оптимизационные моделирующие системы (Strategic Optimization Modeling System), работающие на уровне стратегического анализа; целевой функцией данного типа ИС является максимизация прибыли или возврат вложенных средств;

---

<sup>11</sup>Нестандартная, нештатная ситуация.

<sup>12</sup>То есть до кризиса 2000 года на ИТ-рынке США, который во многом определил неблагоприятное положение с ИТ в других странах.

<sup>13</sup>DSS, decision support system

- тактические оптимизационные моделирующие системы (Tactical Optimization Modeling System), работающие на уровне долгосрочного тактического анализа; для них целевой функцией может являться минимизация издержек на удовлетворение предсказываемого спроса или максимизация прибыли за счёт варьирования пропорций выпускаемой продукции;
- системы предсказания спроса и управления заказами, оптимизационные системы планирования производства и оптимизационные системы в логистике (все три типа систем работают на уровне краткосрочного тактического анализа); возможная минимизация издержек производства и хранения служит целевой функцией для систем планирования производства и минимизация издержек в логистике служит целевой функцией для аналогичных систем в логистике.
- моделирующие системы составления графиков производства (целевая функция — минимизация краткосрочных издержек производства) и моделирующие системы составления графиков поставок (работают на уровне операционного анализа); для последнего типа систем целевой функцией служит опять же минимизация издержек, в данном случае издержек поставок.

С транзакционным ИС тесно связаны потоками информации транзакционные ИС, которые составляют:

- MRP
- DRP
- ERP

Целевой функции у транзакционных ИС, по существу, нет, так как они имеют дело только с необработанными данными и анализа как такового не проводят.

## 5 Математические модели, используемые в системах по управлению цепочками поставок.

### 5.1 Модели линейного программирования.

Модели линейного программирования (ЛП) и методы их оптимизации играют главную роль во всех типах приложений для управления цепочками поставок. Эти модели и методы изначально были разработаны для оптимизации распределения ограниченных ресурсов между видами экономической деятельности в сложной системе.

#### 5.1.1 Модель распределения ресурсов.

Модель распределения ресурсов является одной из наиболее простых в линейном программировании. В промышленной фирме или в сети цепочек поставок, многие виды деятельности претендуют на использование одних и тех же ресурсов, таких как производственные мощности на заводе или готовая продукция в центре дистрибуции (через который продукция распределяется дальше по цепочке поставок). Доступное количество некоторого ресурса может быть недостаточным для удовлетворения всего объёма предъявляемого на эти ресурсы спроса. Более того, некоторые



виды деятельности требуют несколько видов ресурсов для получения желаемого результата. Модели ЛП позволяют распределить ресурсы по всей анализируемой системе для их оптимального использования.

Данная модель состоит из целевой функции, например, функции дохода ( $Z$ ), зависящей от цен ( $p_i$ ) на готовую продукцию ( $x_i$ ) и ограничений ( $c_i$ ;  $i=1, 2, 3$ ) на количество производимой готовой продукции (например, максимальная производительность сборочной линии или потребление ресурсов). Количество потребляемых ресурсов для производства готовой продукции отражается коэффициентами  $\alpha$ . (Например,  $\alpha_{ij} = 2$  означает, что на производство одной единицы  $j$ -го продукта требуется 2 единицы  $i$ -го ресурса). Пример модели для трёх переменных:

$$\begin{cases} Z = p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 \rightarrow \max \\ \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \alpha_{13}x_3 \leq c_1 \\ \alpha_{21}x_1 + \alpha_{22}x_2 + \alpha_{23}x_3 \leq c_2 \\ \alpha_{31}x_1 + \alpha_{32}x_2 + \alpha_{33}x_3 \leq c_3 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Такие оптимизационные задачи обычно решают симплекс-методом, что известно из общего курса исследования операций, поэтому перейдём к расширению данной модели. Напомним только, что оптимальное решение определяется как набор  $(Z^*; x_1^*, x_2^*, x_3^*)$ , то есть оптимальное значение целевой функции и значения переменных, удовлетворяющие ограничениям, при которых достигается оптимальное значение целевой функции.

### 5.1.2 Производство одного вида продукции разными способами.

Предположим, что для изготовления одного и того же вида готовой продукции, например,  $x_2$  может быть два способа, различающихся ограничением на выпуск или потребляемыми ресурсами ( $\alpha_{i21} \neq \alpha_{i22}$  хотя бы для одного  $i$ ). В таком случае целевая функция останется неизменной, а в ограничениях появятся две переменных вместо  $x_{21}$  — готовая продукция 2-го вида, произведённая первым способом, и  $x_{22}$  — готовая продукция 2-го вида, произведённая вторым способом. Также к ограничениям добавится равенство  $x_1 = x_{21} + x_{22}$ . Естественно, обе новые переменные должны быть неотрицательны. Таким образом, система преобразуется к виду:

$$\begin{cases} Z = p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 \rightarrow \max \\ \alpha_{11}x_1 + \alpha_{121}x_{21} + \alpha_{122}x_{22} + \alpha_{13}x_3 \leq c_1 \\ \alpha_{21}x_1 + \alpha_{221}x_{21} + \alpha_{222}x_{22} + \alpha_{23}x_3 \leq c_2 \\ \alpha_{31}x_1 + \alpha_{321}x_{21} + \alpha_{322}x_{22} + \alpha_{33}x_3 \leq c_3 \\ x_2 - x_{21} - x_{22} = 0 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0; x_{21} \geq 0, x_{22} \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

В оптимальном решении расширенной задачи может присутствовать готовая продукция  $x_2$ , произведённая первым и вторым способами. Если второй появившийся способ производства используется, то значение целевой функции (доход) будет выше, чем полученный в задаче (1).

### 5.1.3 Неограниченные и недопустимые решения.

Обнаружение допустимого решения является нормальным результатом решения хорошо сформулированной оптимизационной задачи. Тем не менее, возможны ещё два исхода. Либо модель является невозможной, то есть не существует допустимых решений, либо целевая функция неограничена. Для целевой функции на максимум при любой заданной сумме прибыли это означает, что

найдётся такое допустимое решение задачи, при котором значение целевой функции превысит это значение. Математически это возможно, но такую ситуацию трудно интерпретировать, и почти всегда это указывает на ошибки в формулировке модели. Ситуация, когда можно «покупать дёшево и продавать дорого», получая при этом неограниченную прибыль, называется арбитражем у финансовых теоретиков. Было немного попыток использовать оптимизационные модели, чтобы открыть возможности арбитража в запутанных финансовых рынках, идентифицируя серии торгов, которые можно было бы повторять бесконечно, часто чтобы получить бесконечную прибыль (отсюда и неограниченность целевой функции).

#### 5.1.4 Расширение горизонта планирования.

Планирование поставок является динамическим процессом, так как решения, принятые в данном периоде, связаны с решениями в более поздних периодах. Планы по распределению ресурсов должны учитывать межвременной характер процесса принятия решений. Склады сырья, полуфабрикатов и готовой продукции играют главную роль в оптимизации влияния решений по выпуску и распределению ресурсов в течение всего периода планирования.

Допустим, что менеджера по маркетингу не удовлетворяет оптимальный план, полученный решением системы (1), так как в оптимальном плане, например,  $x_2 = 0$ . Даже если маржа от продажи товара  $x_2$  относительно меньше, чем от продажи  $x_1$  и  $x_3$ , он уверен, что некоторое минимальное количество товара  $x_2$  должно быть произведено. Тогда он даёт задание менеджеру по производству разработать оптимальный план, учитывающий прогноз продаж, представленный в таблице 1.  $x_{imin}^j$  представляет собой минимальное количество товара  $i$ , которое нужно произвести в неделю  $j$ .  $x_{iopt}^j$  представляет собой максимальное количество товара  $i$ , которое может быть продано в неделю  $j$ . Индекс «opt» говорит о том, что фактически это верхняя граница потенциальных продаж, если ресурсы будут потребляться оптимально. В планировании производства и продаж на следующие 4 недели предприятие может выбрать производить одного товара меньше, чем потребит рынок, но зато использовать свои производственные мощности более выгодно для производства других товаров.

Таблица 1. Прогноз продаж.

	Неделя 1	Неделя 2	Неделя 3	Неделя 4
$x_1$	$[x_{1min}^1, x_{1opt}^1]$	$[x_{1min}^2, x_{1opt}^2]$	$[x_{1min}^3, x_{1opt}^3]$	$[x_{1min}^4, x_{1opt}^4]$
$x_2$	$[x_{2min}^1, x_{2opt}^1]$	$[x_{2min}^2, x_{2opt}^2]$	$[x_{2min}^3, x_{2opt}^3]$	$[x_{2min}^4, x_{2opt}^4]$
$x_3$	$[x_{3min}^1, x_{3opt}^1]$	$[x_{3min}^2, x_{3opt}^2]$	$[x_{3min}^3, x_{3opt}^3]$	$[x_{3min}^4, x_{3opt}^4]$

Решения, которые необходимо принимать каждую неделю, состоят в следующем:

1. Сколько производить?
2. Сколько продавать?
3. Сколько хранить на складе?

Храня продукцию на складе, предприятие также несёт издержки  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  для каждого типа производимых товаров. Кроме того, к началу периода на складе хранится продукция  $x_1^0, x_2^0, x_3^0$ .

Чтобы разработать оптимальный план на 4 недели в данных условиях, мы распространяем ограничения и решения на эти 4 недели, добавляя балансовое уравнение, связывающее количество продукции на складе за две следующие друг за другом недели. Такое уравнение составляется для каждого вида продукции:

Продукция, оставшаяся на складе $_t$  = Продукция, оставшаяся на складе $_{t-1}$  + производство $_t$  -

продажи<sub>t</sub>,  
где нижний индекс указывает на момент времени.

Введём обозначения:

- $S_{i,t}$  продажи  $i$ -го товара за период  $t$
- $x_{i,t}$  количество  $i$ -й продукции на стадии сборки и тестирования за период  $t$
- $I_{i,t}$  количество  $i$ -й продукции на складе на конец периода  $t$   
(или на начало периода  $t+1$ ).

Тогда балансовое уравнение переписется в виде

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + x_{i,t} - S_{i,t} \quad (3)$$

В нашей модели фактически  $S_{i,t} = x_{i,opt}^t$ , которые заданы в таблице, и  $I_{i,0}$  заданы ( $i=1, 2, 3$ ).  
Общий вид модели для 1-й недели:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 - (I_{1,1}\beta_1 + I_{2,1}\beta_2 + I_{3,1}\beta_3) \rightarrow \max \\ \alpha_{11}x_{1,1} + \alpha_{12}x_{2,1} + \alpha_{13}x_{3,1} \leq c_1 \\ \alpha_{21}x_{1,1} + \alpha_{22}x_{2,1} + \alpha_{23}x_{3,1} \leq c_2 \\ \alpha_{31}x_{1,1} + \alpha_{32}x_{2,1} + \alpha_{33}x_{3,1} \leq c_3 \\ I_{1,1} = I_{1,0} + x_{1,1} - S_{1,1} \\ I_{2,1} = I_{2,0} + x_{2,1} - S_{2,1} \\ I_{3,1} = I_{3,0} + x_{3,1} - S_{3,1} \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0 \\ S_{1,1} \geq 0, S_{2,1} \geq 0, S_{3,1} \geq 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

Далее мы распространяем эту же модель ещё на три недели, изменяя временные индексы и общую прибыль вычисляем как сумму прибылей за 4 недели.

Но в оптимальном решении будут нулевые запасы на складах в последнем периоде планирования (хотя даже таким способом обычно не удаётся покрыть весь потенциальный объём продаж из-за ограниченности ресурсов). Менеджер по маркетингу считает, что в последнем периоде на складе должны оставаться некоторые запасы, так как деятельность предприятия в последнем периоде на заканчивается. Чтобы учесть новое ограничение, мы, во-первых, добавляем ограничения вида  $S_{i,4} \geq S_{i,min}$  (последняя величина устанавливается менеджером по маркетингу). Во-вторых, мы считаем, что товары, оставленные на складе в последнем, 4-м периоде, будут проданы в течение 2-х следующих периодов. Поэтому мы кредитуем каждую единицу товара, оставшуюся на складе в последнем периоде, этот кредит будет равен  $p_i - 2\beta_i$ , или доход от одной единицы проданного товара минус расходы на его хранение за 2 периода. Этот кредит означает, что мы добавляем к прибыли последней, 4-й недели доходы будущих периодов.

Естественно, общая прибыль в этом случае, скорее всего, уменьшится (для модели, рассчитанной на 4 недели). Тем не менее этот план удовлетворяет как требованию оптимальности, которое выдвигается менеджером по производству, и требованиям менеджера по маркетингу. Но высшее руководство может быть обеспокоено тем, что департамент маркетинга слишком оптимистично настроен по отношению к потенциальным продажам. Опасность состоит в том, что продажи могут быть меньше ожидаемых, и складские запасы будут нарастать. Эта опасность может быть уменьшена путём применения модели с постоянным передвижением горизонта планирования, так называемой «скользящей» модели планирования.

Например, каждую неделю мы корректируем нашу модель на следующие 4 недели в зависимости от действительных объёмов продаж. Так, вторая неделя в предыдущем периоде становится

в следующем периоде первой неделей нового четырёхнедельного плана, вторая — третьей и так далее.

### 5.1.5 Модели сетевого планирования.

Сеть в абстрактном представлении состоит из узлов и дуг, соединяющих эти узлы. Подобные представления часто используются в подмоделях в моделях цепочек поставок большого масштаба. Использование модели сетевого планирования позволяет, во-первых, добиться строгой оптимизации, используя особенные свойства данной модели. Во-вторых, для наглядности связи в цепочке поставок можно представить в качестве сети, даже если модели, лежащие в основе цепочки поставок на самом деле являются более сложными, чем модель сетевого планирования.

Транспортная задача также проходит в общем курсе исследования операций. Вкратце, есть некоторое количество поставщиков и некоторое количество потребителей. Ставится задача минимизации функции издержек поставок при полном удовлетворении совокупного спроса (если модель является закрытой, то есть совокупный спрос равен совокупному предложению).

Применительно к цепочкам поставок модель может использоваться для оптимизации потоков с завода и склада (складов) или промежуточных центров дистрибуции.

Итак, есть матрица издержек, каждый элемент которой  $\alpha_{ij}$  представляет собой издержки поставки (транспортные издержки) одной единицы товара из  $i$ -го пункта, которым может быть завод или склад,  $j$ -му потребителю. Рассмотрим общую модель для случая  $3 \times 3$ .

Таблица 2. Матрица издержек поставок.

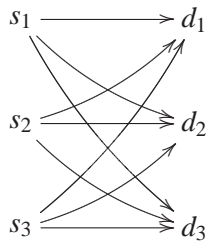
$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix}$$

Спрос обозначим как  $d_1, d_2, d_3$ , а предложение как  $s_1, s_2, s_3$ .  $x_{ij}$  — поставки товара от  $i$ -го поставщика  $j$ -му потребителю. Наша модель примет вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} \leq s_1 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} \leq s_2 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} \leq s_3 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = d_1 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = d_2 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = d_3 \\ x_{ij} \geq 0, s_i \geq 0, d_j \geq 0 \forall i, j \end{cases} \quad (5)$$

Ограничения в виде неравенств показывают, что количество поставленного товара не должно превысить возможности данного завода или склада. Ограничения в виде равенств обозначают, что товаров на рынок должно быть поставлено в точности в соответствии со спросом

Модель, в которой  $\sum_{i=1}^3 d_i \leq \sum_{j=1}^3 s_j$  всегда имеет допустимое решение.



Транспортная модель может быть расширена в нескольких направлениях, чтобы можно было приспособиться к возникающим в ходе планирования дистрибуции (распределения товаров) сложности. Кроме того, рассмотренная модель предполагала распределение только одного товара. Модели для распределения нескольких видов продукции обобщают данную модель до такой, в которой множество разных товаров поставляются в пункты назначения и эти товары разделяют «пропускную способность» каналов между узлами. Такие модели используются для описания потоков в сети для доставки срочной почты, в подобных сетях каждая доставка из пункта поставки в пункт назначения рассматривается отдельно, так как эта поставка делит пропускную способность канала с другими поставками, использующими данный канал.

Другое возможное обобщение транспортной модели — привнесение в модель выбора между способами доставки (самолётом, наземным, железнодорожным, морским транспортом) в каждом канале. Такое обобщение требует использования логических переменных (принимающих значения 0 или 1), чтобы измерить постоянные издержки и минимальный поток, необходимый для функционирования каждого способа доставки. Связанное с этим математическое обобщение модели реализуется в транспортной модели с убывающими по мере роста объёма перевозок издержками транспортировки. Более полный поток поставок позволяет лучше использовать перевозку товаров с полной загрузкой средства перевозки, это более экономно.

Допустим, мы исследуем, насколько выгодно создать центр дистрибуции (DC) расположенный ближе к двум (первому и второму) потребителям, чем заводы и склады. Центр дистрибуции может иметь малую складскую ёмкость, но, возможно, удастся снизить транспортные издержки поставок в центр дистрибуции, по сравнению с поставками напрямую потребителям.

Появляются новые транспортные издержки (заданы в условии):

$\alpha_{iy}$  — поставки в DC с  $i$ -го завода или склада ( $i=1, 2, 3$ );

$\beta_{yi}$  — поставки из DC  $i$ -му потребителю ( $i=1, 2$ ).

Введём новые переменные:

$x_{iy}$  — объём поставок от  $i$ -го поставщика в DC ( $i=1, 2, 3$ );

$z$  — количество товаров, проходящих через DC за период, ограничено  $z_{max}$ ; издержки обращения единицы товара в DC равны  $\beta_z$

$y_i$  — объём поставок из DC  $i$ -му потребителю ( $i=1, 2$ ).

При этих условиях модель примет вид (выделены ограничения на  $z$ ):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{ij} x_{ij} + \beta_z z + \beta_{y1} y_1 + \beta_{y2} y_2 \rightarrow \min \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} \leq s_1 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} \leq s_2 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} \leq s_3 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} + y_1 = d_1 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} + y_2 = d_2 \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = d_3 \\ \left\{ \begin{array}{l} x_{1y} + x_{2y} + x_{3y} - z = 0 \\ z - y_1 - y_2 = 0 \\ z \leq z_{max} \end{array} \right. \\ x_{ij} \geq 0, s_i \geq 0, d_j \geq 0 \forall i, j \\ z \geq 0, y_1 \geq 0, y_2 \geq 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

Первые два уравнения в выделенной системе являются балансовыми уравнениями, которые требуют, чтобы входящий поток в DC был равен исходящему потоку. Третье ограничение в выделенной системе накладывает ограничение на пропускную способность DC.

Будут ли уменьшены общие издержки на перевозку товаров будет, безусловно, зависеть от того, насколько транспортные издержки и издержки обращения в сумме меньше издержек поставок с завода и склада напрямую потребителю.

#### 5.1.6 Свойства моделей ЛП.

Модели линейного программирования в большинстве являются достаточно простыми, во-первых, в смысле лёгкости их решения с помощью унифицированного подхода и, во-вторых, в смысле значительных упрощений, которые служат предпосылками в данных моделях. Выделим пять основных свойств моделей ЛП и рассмотрим их сильные и слабые стороны.

- Линейность
- Отделимость и аддитивность
- Непрерывность
- Одна целевая функция
- Данные точно известны

Все издержки, прибыли и функции использования ресурсов являются в моделях ЛП линейными. Из этого следует, что прибыль в расчёте на одну единицу товара, издержки на одну единицу и количество используемых ресурсов на одну единицу готовой продукции являются постоянными величинами.

Линейность не учитывает, во-первых, экономию от масштаба или наоборот, ситуацию, когда издержки возрастают с увеличением масштабов производства. Такая ситуация может возникнуть, когда при большом объёме заказов предприятие вынуждено прибегать к помощи поставщиков с более высокими ценами на поставку того же товара. Например, если количество товара превышает  $N$ , предприятие закупает дополнительные комплектующие в количестве  $v_2$  у поставщика с более высокими ценами. Так, если на производство одной единицы  $x_1$  идёт одна единица комплектующих, которые одна компания поставляет по цене  $p_{v1}$ , но не может поставить больше  $N$  ( $v_1 \leq N$ ), а вторая компания поставляет комплектующие по цене  $p_{v2}$ , то в модель (1) придётся

добавить новые ограничения:

$$x_1 = v_1 + v_2 N \geq v_1 \geq 0, v_2 \geq 0 \quad (7)$$

А целевая функция изменится следующим образом:

$$Z = p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 - p_{v1} v_1 + p_{v2} v_2 \rightarrow \max$$

Другое направление расширения модели ЛП, когда мы предполагаем, что количество проданного товара зависит от цены на него, что приводит нас к нелинейной модели. Если  $x$  — количество проданного товара, а  $p$  — цена на него, то функция  $x(p)$  может быть представлена как  $x_1 = a - bp_1$ , где  $a$  и  $b$  — некоторые положительные константы. Мы можем аппроксимизировать функцию дохода  $PR = p_1 x_1 = ap_1 - bp_1^2$  кусочно-заданной функцией (состоящей из линейных частей), например, из двух участков, и далее максимизировать общую функцию дохода, рассматривая новые переменные  $x_{11}$  и  $x_{12}$ , которые показывают, сколько товара было произведено на одном и другом участке функции прибыли (цены на этих участках тоже разные):

$$Z = a_1 + p_{11} x_{11} + p_{12} x_{12} + p_2 x_2 + p_3 x_3,$$

где  $a_1$  — некоторая положительная константа одного из аппроксимирующих уравнений.

Отделимость и аддитивность. Отделимость означает, что прибыль и использование ресурсов при производстве одного продукта измеряются независимо от аналогичных параметров для других видов продуктов. Под аддитивностью имеется в виду, что общее воздействие отдельных параметров может быть аккумуляровано простым сложением отдельных воздействий.

Свойства отделимости и аддитивности позволяют построить во многих случаях модели, которые можно использовать в качестве первого приближения. В других случаях подобные модели могут быть неточными. Например, может наблюдаться взаимовлияние цен товаров или зависимость спроса одних товаров на спрос на другие товары.

Другим примером неотделимости может быть ситуация, когда для производства разных видов товара на одном и том же оборудовании требуется переналадка оборудования, что вполне логично. Таким образом, если в рассматриваемый период (например, за месяц) производится только один вид продукции, то можно не учитывать время переналадки, но если производятся разные виды продукции, то времени непосредственно на производство продукции остаётся меньше. Эту проблему можно обойти введением в модель логических переменных (с возможными значениями 0 и 1).

Неделимость и непрерывность. Оптимизация модели ЛП даёт в качестве решения значения, принадлежащие множеству действительных чисел. То есть решение о том, сколько продукции произвести за период, может и не быть целочисленным. Смешанные модели целочисленного программирования являются обобщением ЛП, но в них накладываются ограничения целочисленности на набор значений в решении. Практически же имеет смысл накладывать такое ограничение, когда решение содержит относительно небольшие значения; при больших значениях можно округлять решение и в ту, и в другую сторону без какого-либо ущерба для допустимости и оптимальности решения.

Модели ЛП также не предполагают возможность скачков в доходах, издержках и использовании ресурсов или предъявляемых требованиях. Склад компании ограничен, и чтобы хранить больше единиц продукции на складе, необходимо арендовать другой склад, что резко увеличивает постоянные издержки, которые в данном случае, на самом деле, не являются постоянными. Подобные эффекты также можно описать с помощью моделей смешанного целочисленного программирования.

Часто логические переменные используются для моделирования качественных условий. Например, можно задать логическую переменную, которая показывает, строить или нет дополнительный завод. Если переменная в оптимальном решении принимает значение «1» — завод

необходимо построить, если «0» — не нужно. Также с помощью логических переменных можно определить, арендовать или нет дополнительный склад для продукции в данном периоде.

Одна целевая функция. Как было показано, максимизация прибыли в данном периоде не является единственной целью, также должна учитываться долгосрочная стабильность, которая возможна при минимальном запасе в последний период планирования для более плавного перехода к поставкам в следующем периоде. Приложения оптимизационных моделей учитывают несколько целей, и оптимальное решение представляет собой компромисс в достижении разных целей.

Данные точно известны. При разработке оптимизационной модели априори считается, что данные о будущих издержках, производственных мощностях и объёме будущих продаж известны определённно. Это предположение значительно ограничивает возможность проверить решение модели ЛП на реальной проблеме в цепочке поставок. Несколько подходов помогают уменьшить трудности, связанные с неопределённостью данных о будущих периодах.

Прежде всего, существует методология тестирования чувствительности решения модели ЛП к изменению параметров модели. Во-вторых, аналитик может рассмотреть несколько вариантов развития событий и найти оптимальное решение для каждого из этих вариантов. Таким образом можно понять изменения в цепочке поставок, которые будут происходить в каждом варианте. Более того, возможна постоянная корректировка решения на основе поступающих новых данных. В этом случае предлагаемые оптимизационной моделью стратегии могут адаптироваться к изменяющимся исходным данным, характеризующим текущее состояние предприятия.

Наконец, если неопределённость действительно является значимым фактором, и её можно оценить, модель ЛП может быть расширена до стохастической модели ЛП, которая явно предназначена для рассмотрения различных вариантов будущего. Рассматривая такие варианты одновременно, с помощью стохастической модели возможно определить одну стратегию, которая ограничивает неопределённость.

## 5.2 Модели предсказания спроса.

Также как управленческий учёт, описательная методология предсказания спроса является образующей при построении точных баз данных и оптимизационных моделей для принятия решений в области SCM. Мы рассмотрим предсказание спроса для расчёта спроса на конечный продукт в предположении, что управленческие решения в отношении спроса, такие как цена, реклама, продвижение товара и другие, уже приняты. Поэтому исходных данных достаточно только для построения моделей, которые минимизируют общие издержки цепочки поставок на тактическом и стратегическом горизонте планирования, которые составляют от одного месяца до нескольких лет. Модели, максимизирующие прибыль, оптимизируя управленческие решения в отношении спроса, в данной работе не рассматриваются.

В настоящее время доступны программные пакеты, реализующие функции предсказания спроса и помогающие аналитикам выбрать наиболее адекватную модель для каждой конкретной ситуации.

Модели предсказания спроса основаны на накопленных данных за предыдущие периоды, суждениях менеджеров и практическом опыте специалистов и выдают данные о спросе на многие продукты или виды продуктов в разных географических регионах, на многие периоды времени и, если это применимо, для нескольких сегментов рынка, расположенных в этих регионах. Для построения и применения моделей предсказания спроса, необходимо помнить следующее:

1. Предсказания об объёме потребляемых товаров возможны только со значительными ошиб-



ками. Будущее всегда будет оставаться неопределённым, и чем более долгосрочным является прогноз, тем больше он будет содержать ошибок, а совершенного прогноза быть не может. Соответствующий часто проводимый анализ с применением оптимизационных и прогнозных моделей на тактическом и стратегическом уровнях планирования может позволить менеджерам корректировать ошибки в прогнозах, хотя некоторые решения, такие как основной объём закупок материалов, могут не поддаваться пересмотру и корректировке.

2. Эффективное прогнозирование часто достигается с помощью анализа агрегированных продуктов и рынков с детализацией результатов по отдельным компонентам. Таким образом, также как оптимизационное моделирование, прогнозирование использует агрегирование продуктов и рынков. Отдельный метод исследования нужен для объединения и согласования друг с другом разных методов агрегации данных.
3. Ошибки прогнозирования коррелированы во времени, между географическими регионами и между разными видами продукции. Важным аспектом науки и искусства прогнозирования является качественная и количественная идентификация этих корреляций и использование знания о них для построения подходящих для практического использования моделей прогнозирования.
4. Наука и искусство прогнозирования придерживаются предсказуемых систем, на основе которых сложно предвидеть экзогенные и не описываемые статистическими законами события. Существуют лишь статистические методы, позволяющие отслеживать исполнение прогноза, и на их основе можно определить, произошло ли, и если произошло, то когда, экзогенное воздействие, если оно не является очевидным. Вопросом для принятия стратегических решений остаётся то, в какой степени экзогенные воздействия могут и должны быть предсказаны, по крайней мере, в общих чертах.

#### 5.2.1 Виды моделей предсказания спроса.

Для прогнозирования спроса на данный момент существует ряд статистических методов и моделей. Далее следует краткий обзор наиболее значимых.

Модели временных рядов. Модели временных рядов применяют методы экспоненциального сглаживания, скользящей средней, а более сложные модели связывают одну и более зависимых переменных, характеризующих спрос в конкретный момент времени, со значениями тех же самых (но в данном случае независимых) переменных в предыдущие, предшествующие моменты времени. Модели временных рядов могут применяться в краткосрочном прогнозировании, с горизонтом планирования от одной недели до 3-х месяцев или для среднесрочного прогнозирования с горизонтом планирования от 3-месяцев до одного года. Среднесрочные модели временных рядов должны учитывать сезонные, циклические колебания и тренды в исходных данных.

Модель временных рядов может быть построена и проверена с помощью разделения данных за предшествующие периоды на две части: часть данных используется для оценки параметров модели, а вторая часть данных используется для проверки того, насколько хорошо модель предсказывает показатели. Опять же, разделение данных должно учитывать циклические и сезонные колебания и тренды, которые, по мнению экспертов, присутствуют в исходных данных. Так, неожиданные результаты анализа временных рядов могут указать на то, что нужно изменить разделение данных на две части. Безусловно, хорошее поведение модели на данных для проверки не гарантирует, что «настоящий» прогноз будет настолько же правдоподобным, но такой результат является перестраховкой при использовании предсказания спроса в модели планирования. Появление новых покупателей или изменение поведения старых покупателей являются причинами, из-за которых сделанный прогноз может вообще не отражать существующего положения вещей.

Планирование производства, основанное на использовании модели прогнозирования спроса,

позволяет персоналу, который занимается продажами, принимать решения о том, какие сроки гарантировать для поступающих заказов. Например, план производства может работать с прогнозными значениями заказов, как это были бы действительные заказы от реальных фирм. Менеджеры по продажам затем могут работать с такими заказами также, как с заказами, пришедшими из других подразделений компании. Более того, план производства может еженедельно корректироваться на основе новой прогнозной информации и информации о действительных заказах.

Причинные модели. Причинные модели используют методы статистической регрессии для того, чтобы выявить зависимость между зависимыми переменными спроса в каждый момент времени и независимыми переменными, которые также могут включать значения тех же переменных спроса в предыдущие моменты времени и другие независимые переменные, которые, как считается, влияют на спрос. Классическим примером подобной модели является прогнозная модель спроса на автомобильные комплектующие, который зависит от продаж автомобилей и различных показателей экономической активности. Причинные модели важны для долгосрочного прогнозирования (на 1 год и более), так как простая экстраполяция для долгосрочного прогнозирования даёт недостаточно качественные результаты.

Модели для новых продуктов. Стратегическое построение цепочки поставок для нового продукта является важной областью принятия решений. Для такого продукта предсказание спроса, естественно, не может быть основано на данных по продажам за предыдущие периоды. Тем не менее, учёные в области маркетинга разработали модели, которые описывают предсказываемую форму роста спроса на новый продукт; параметры для таких моделей могут быть получены из данных о других существующих подобных продуктах. Такой анализ предоставляет менеджерам априорный (без данных) прогноз продаж, на основе которого можно принимать решения относительно планирования цепочки поставок, используя оптимизационную модель. Затем, когда открываются рынки для нового продукта, параметры, оцененные априорно, могут уточняться, чтобы улучшать следующие прогнозы, которые, в свою очередь, могут использоваться для дальнейшего анализа стратегии в отношении цепочки поставок нового продукта, опять же используя оптимизационную модель.

Модели, основанные на суждениях. Модели, основанные на суждениях, нужны для предсказания спроса на новый продукт, для которого недоступна информация за предыдущие периоды или какая-либо уместная информация. Суждения экспертов, знакомых с продуктом и рынком, систематически собираются и объединяются. Первый шаг заключается в том, чтобы эксперты согласовали свои суждения. Один из методов для этого называется Дельфи-процесс, который использует анонимные ответы экспертов и управляемую ответную реакцию по итеративной схеме, чтобы достичь согласия. Анализ группы экспертов, по определению, в результате приводит к среднему результату (от индивидуальных прогнозов) в конце итеративного процесса. Следующим шагом является формализация прогнозов экспертов в виде распределения вероятностей, используя априорные параметры, определяемые экспертами. Эти параметры затем систематически корректируются на основе поступающих данных о продажах.

### 5.2.2 Спецификация данных о спросе для оптимизационных моделей.

Для одного варианта набор данных о спросе, необходимый для оптимизационной модели, состоит из количеств продукции, которое необходимо будет поставить на каждый рынок, возможно, на несколько сегментов этого рынка. Кроме того, издержки дефицита (то есть во что обойдётся поставка недостаточного количества продукта на рынок) должны быть включены в набор данных. Издержки дефицита могут быть посчитаны на основе маркетинговой информации о долгосрочных эффектах потерянных продаж. Они полезны и важны, так как позволяют оптимизационной модели определить продукты и рынки, поставками которых можно пренебречь в первую очередь, когда цепочка поставок не обладает достаточной пропускной способностью для удовлетворения

общего спроса. В некоторых случаях присутствие в конечном решении дефицита может указывать на то, что издержки поставок продукта на рынок настолько велики, что алгоритм оптимизации выбирает не поставлять продукцию, несмотря на издержки дефицита. Наконец, дефицит в оптимальном решении может свидетельствовать об ошибках в исходных данных или об их противоречивости. Например, рынок, который случайно не был учтён в модели для всех видов продукции.

Так как прогнозы являются неопределёнными, для целей стратегического и тактического планирования управляющие компании захотят рассмотреть результаты оптимизации при разных вариантах развития событий, то есть для разных исходных данных. При этом исходные данные необходимо переводить на язык качественных понятий, таких как «высокий спрос» или «низкий спрос.» Большинство упомянутых моделей прогнозирования позволяют рассматривать разные варианты, поскольку предоставляют не только ожидаемые значения спроса, но и вариацию (возможные отклонения) этих значений.

Так как данные о спросе за предыдущие периоды извлекается из баз данных большого объёма, ПО должно предоставлять возможность агрегирования данных и проведения статистической оценки параметров модели для баз данных для поддержки принятия решений по цепочке поставок и тем более для оптимизационной модели.

### 5.2.3 ПО для прогнозирования спроса.

В исследовании, проведённом J. Yurkiewicz<sup>14</sup> в 1998 году, определено 40 программных пакетов, для которых предложено следующее разделение:

1. Автоматическое. Пользователь вводит данные и запрашивает анализ и выбор модели прогнозирования. Применяя диагностические тесты, программа предлагает методологию, которую она оценивает как наиболее подходящую. Пользователь может воспользоваться этой рекомендацией или предложить свою модель. Затем программный пакет считает оптимальные параметры для выбранной модели прогнозирования и проводит прогнозирование, также позволяя статистически отслеживать точность прогноза по таким параметрам, как среднеквадратичная ошибка оценки.
2. Полуавтоматические. Пользователь вводит данные и программа выдаёт список предлагаемых методов моделирования, но выбор делает пользователь. Может потребоваться значительное вмешательство пользователя, которое бывает утомительным, так как может заключаться в направлении поиска оптимальных параметров и других вычислениях.
3. Неавтоматизированные. Пользователь должен определить метод и контрольные параметры. Этот подход может потребовать исследований пользователем исходных данных и требует от пользователя определять, необходимо ли улучшать модель.

Исследованные программные пакеты отличались не только лёгкостью ввода данных, вывода графиков, но и состоятельностью получаемых результатов.

## 6 Заключение. Перспективы автоматизации.

Следующим, только начинающимся этапом в автоматизации деятельности предприятий, является конечное звено, как говорят о телефонных линиях, «последняя миля» — автоматизация

---

<sup>14</sup> «Forecasting that fits».

отношений с потребителями. Именно так и называются системы, призванные повысить качество предоставляемых услуг и продаваемых товаров (скорее даже первое), так как в современной рыночной экономике, особенно в секторе услуг, к которому относится значительная часть сегмента ИТ, намного дешевле становится удерживать существующих потребителей, чем привлекать новых. CRM-системы (Customer relationship management, управление взаимоотношениями с клиентами — относительно устоявшийся перевод) получают всё большее распространение, особенно в высокотехнологичных отраслях, ориентированных на конечного потребителя, но прогнозы не предсказывают им однозначного роста.

Во-первых, не для всех необходимость CRM-систем очевидна, а иногда предприятию не совсем понятно, что ему предлагают под видом CRM (может быть, это тот же портал с расширенной функциональностью? [3]), так же как не утвердился пока общий подход к проектированию таких систем. Сейчас этот рынок в некотором смысле «перегрет», поэтому за эйфорией и эмоциями трудно разглядеть тенденции. В России говорить о перспективах CRM очень сложно (пока идут пилотные внедрения), тогда как управление цепочками поставок как необходимый элемент B2B уже доказало свою действенность.

## 7 Глоссарий.

Программная платформа — операционная система + прикладные программы.

ПО — программное обеспечение. Под этим может иметься ввиду программная платформа, реализующая необходимую функциональность.

ERP — Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия (буквальный перевод). ERP-система управляет данными о транзакциях внутри компании в режиме реального времени. Эта система стандартизирует данные и информацию внутри компании для ввода заказов, ведения финансовой отчётности, заказов и других функций, связывая отдельные подразделения компании. ERP-система не выполняет оптимизационных процедур, а лишь предоставляет данные, которые могут использоваться для отражённого в названии «планирования ресурсов», но уже в других системах.

MRP-система — Materials requirement planning system. Данная система выполняет анализ данных следующим образом. Основываясь на данных основного производственного плана готовой продукции, необходимой для удовлетворения спроса на рассматриваемый период времени, баланса имеющихся в наличии предметов и сырья на складе, незавершённой и готовой продукции, данные о материалах и производственных мощностях компании, MRP-система выдаёт «чистые» требования сырья и промежуточной продукции на период. Это сырьё и промежуточная продукция должны быть произведены или заказаны поставщикам для того, чтобы удовлетворить спрос на конечную продукцию компании.

DRP — Distribution requirements planning system. Анализ с использованием DRP-системы начинается с прогнозов конечной продукции, которую необходимо перевезти, баланса имеющихся в наличии запасов этих продуктов на заводах и центрах дистрибуции, и управленческих данных по запасам, таких как требования безопасного объёма продукции на складе, пополнения запасов и времени, за которое производится пополнение запасов. Вместе с системой моделирования и оптимизации графика распределения продукции, DRP-система планирует входящие, исходящие потоки товаров и потоки товаров между подразделениями предприятия.

СППР — Системы поддержки принятия решений.

SCP — Supply chain planning, планирование цепочек поставок.

B2B — Business-to-business, отношения между бизнесами. Обычно имеется в виду часть электронной коммерции, осуществляемой между предприятиями.

B2C — Business-to-consumer. Соответственно часть электронной коммерции, осуществляемой между предприятием и конечным потребителем.

C2C — Consumer-to-consumer. Коммерция между потребителями, типичным примером является интернет-аукцион.

Электронная коммерция, e-commerce — коммерция с привлечением электронных средств коммуникации.

SCM — Управление цепочками поставок. Область науки и программные средства, реализующие автоматизацию цепочки поставок.

SCP — часть SCM, соответствующая аналитическим ИС.

SCE — часть SCM, соответствующая транзакционным ИС.

just-in-time поставки — система поставок, когда предприятие-потребитель ресурсов работает

без складов, сразу используя поставки в производстве. Для реализации такой схемы необходимо тщательное согласование работы поставщика и производителя.

Транзакция — (нестрогое определение) некоторая операция, во время которой создаётся чаще виртуальный (или реальный) денежный или товарный поток.

## Список литературы

- [1] Christopher Koch, «The ABCs of Supply Chain Management» (CIO.com SCM Research Center); 22 янв. 2002.
- [2] Jeremy F. Shapiro, «Modeling the Supply Chain». Duxbury, 2001.
- [3] Анатолий Левенчук, «Не просто вебсайт». «Компьютерра» #8 (433), 5 марта 2002.
- [4] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, «Designing and Managing the Supply Chain». Irwin McGraw-Hill, 2000.
- [5] Christopher Koch, «Four Strategies» (CIO.com SCM Research Center); 1 окт., 2000.
- [6] «Supply Chain Management - Ask The Expert (архив CIO.com SCM Research Center); 1 мая, 2000.
- [7] Kathleen Kotwica, «The Basic Links of SCM» (CIO.com SCM Research Center).
- [8] «SCM Guru Hau Lee on Demand Forecasting»; 15 июля, 2001.
- [9] Sarah D. Scalet, «The World's Most Competitive Supply Chain»; 15 июля, 2001.
- [10] Doris Kilbane, «Nuts and bolts: Supply Chain Planning», [www.supplychaintech.com](http://www.supplychaintech.com).
- [11] Derek Slater, «By the Numbers» (CIO.com SCM Research Center); 1 февраля 2000.
- [12] Lauren Gibbons Paul, «Start Small, Think Big», Darwin Magazine ([www.darwinmag.com](http://www.darwinmag.com)); 1 июня 2000.
- [13] «Where Do We Go from Here?» (CIO.com SCM Research Center ; 15 сент., 2001.