

Глава 6. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(А.В. Никитин)

В данной главе будут рассмотрены экономико-математические модели, применяемые в информационных системах предприятий логистического аутсорсинга (фокусные предприятия), поставляющих материальные ресурсы промышленным производствам Санкт-Петербурга. Данные модели используются на логическом уровне описания упомянутых экономических информационных систем и являются составной частью их алгоритмического обеспечения [1].

Применение данных моделей в информационных системах названных предприятий, как правило, преследует две цели: планирование расхода отгружаемых предприятиям-клиентам ресурсов и оптимизацию операционных затрат¹.

6.1. Модели планирования в системе поставок материальных ресурсов промышленным производствам региона

6.1.1. Общее представление моделей планирования

Явление иммобилизации на предприятии логистического аутсорсинга – поставщике материальных ресурсов для промышленности региона возникает при относительно высоком уровне запасов, но предотвращается путём проведения постоянного мониторинга и планирования спроса пред-

¹ Классификация моделей и методов теории логистики выполнена коллективом авторов под руководством профессора Лукинского [2]. Упомянутые модели позволяют решать следующие задачи: выбор логистических посредников, определение номенклатурных групп (ABC, XYZ), планирование поступления и расходования ресурсов, расчёт оптимального размера заказа, текущего и страхового запаса, оптимизация маршрутов перевозок грузов, определение количества и координат складов в регионе.

приятий-покупателей на эти ресурсы. Необходимость планирования обусловлена несколькими причинами: ограниченность ресурсов у их производителя, неопределённость будущего, координирующая роль плана сбыта в организации поставок на склад фокусного предприятия и оптимизации его операционных затрат. В рассматриваемых в данной работе системах поставок ресурсов промышленным производствам план строится на основании статистической индукции, которая является результатом наблюдения за значениями расхода со склада как случайной величины (далее СВ), и поэтому содержит ошибку.

Целью планирования расхода в системе поставки ресурса промышленному предприятию является определение характера будущего расхода и его количественных характеристик, что необходимо для оптимизации операционных затрат на предприятии логистического аутсорсинга. Эффективность планирования влияет на эффективность принятого решения и последовавших за реализацией решения событий. Наблюдается и обратное влияние внутри пары план ↔ решение: природа принимаемого решения определит атрибуты плана (временные элементы, математический метод, точность, степень детализации, базис и форму плана¹). Принимаемое решение определяет атрибуты системы планирования расхода ресурса: временные элементы, форму плана, точность. Зачастую интервал планирова-

¹ Соотношение базиса и формы плана проф. Монтгомери, Джонсон и Гардинер иллюстрируют следующим примером. Для систематизации собственной работы и планирования запасов операционная структура предприятия формирует план сбыта в штуках по каждому виду готовых изделий. С другой стороны, финансовой структуре требуется план общего торгового оборота в денежных единицах для составления бюджета. Эти формы плана для конкретных случаев не обязательно содержат те массивы, которые будут подвергнуты анализу при составлении плана. В операционном анализе план может быть сделан на некотором агрегатном уровне (семейства готовых изделий выбираются в качестве базиса плана), а затем разложен до штучного уровня. При планировании денежного торгового оборота может быть использован анализ его штучных компонентов с дальнейшим пересчётом штук в денежные единицы с использованием предварительных цен и суммированием для получения валового торгового оборота в денежных единицах [3].

ния совпадает с периодом поставок, так что план делается заново каждый последующий период на основе данных предыдущего периода. Для того чтобы план имел силу, необходимо чтобы горизонт превышал или был, по крайней мере, равен времени реализации решения. Часто время реализации процесса поставки не определено, что увеличивает погрешность плана, причём точность планирования снижается с увеличением горизонта. Поэтому процесс принятия решения оптимизируется сокращением времени реализации, которое позволит сократить горизонт и ускорить реакцию на ошибку планирования. Интервал зависит от порядка функционирования системы обработки информации, которая предоставляет данные для формирования плана¹.

Для планирования в системе поставки материальных ресурсов важно распределение СВ – расход ресурса со склада и его характеристик: среднего, медианы, математического ожидания. Полезна оценка стандартного отклонения и доверительного интервала. План в упомянутой системе формируется в одной из форм: оценка ожидаемых значений расхода вместе с оценкой погрешности или интервал времени, имеющий заявленную вероятность содержания будущих значений расхода – интервал предвидения.

Точность. Повышение точности планирования снижает неопределённость, но увеличивает расходы на составление плана. После некоторой точки редукция погрешности становится невозможной, какая бы сложная система планирования не применялась.

На атрибуты системы планирования влияет процесс сбыта, генерирующий значения расхода со склада. Если процесс стабилен, система планирования опирается в основном на статистические данные. Значит, она должна быть способна не только обрабатывать, но и хранить информацию.

¹ Например, если отчёт о продажах составляется ежемесячно, то и обновление плана целесообразно делать раз в месяц. Т.е. интервал плана в этом случае составит один месяц.

Процесс, характеризуемый частыми изменениями, предъявит высокие требования к точности оценок и процедурам планирования, способным выявить изменения процесса. Доступность и форма представления данных важны в обоих случаях.

Общеизвестна классификация процессов по видам изменений. Многообразие процессов в схемах поставок для нужд региональной промышленности накладывает на систему планирования сбыта конфликтующие между собой требования стабильности и способности быстро реагировать на изменение показателей или характера процесса. Система должна гибко подстраиваться под фундаментальные изменения процесса и приспособлять метод планирования так, чтобы отслеживать их. Необходима в то же время такая стабильность системы, чтобы никак не влияли на план временные и случайные изменения значений расхода ресурса или характера процесса сбыта. Это противоречие между требованиями стабильности и гибкости остаётся предметом отдельного исследования.

Характеристики системы планирования зависят и от ограничений информационно-вычислительной системы. Количество возможных сочетаний программных и аппаратных средств велико, поэтому здесь классификация систем планирования по данному признаку не затрагивается¹.

Последовательное планирование использует функции времени, содержащие алгебраические или/и трансцендентные компоненты. Выборка значений расхода ресурса со склада с неизменным средним значением отражается моделью вида:

¹ На практике описанное ниже сочетание показало себя отвечающим основным требованиям системы планирования крупной корпорации, расположенной в пределах одного города-миллионера. База данных на платформе ORACLE способна хранить информацию предприятия. OLAP система «Hyperion Essbase» обеспечивает анализ данных и быструю генерацию отчётов. Аппаратной платформой служит оборудование локальной вычислительной сети типа 100 VG ANY LAN. Меньшие по размеру предприятия используют менее сложные и менее дорогие программные и аппаратные средства.

$$x_t = b + e_t, \quad (6.1)$$

где b – неизвестное среднее, e_t – погрешность. Ожидаемое значение случайного компонента равно нулю, а его вариабельность полагается постоянной. Если среднее значение линейно изменяется, процесс отражается моделью с восходящим линейным трендом и случайными колебаниями:

$$x_t = b_1 + b_2 t + e_t, \quad (6.2)$$

где b_1 и b_2 – постоянные, b_2 характеризует изменение среднего значения от периода к периоду. Циклические (например, повторяющиеся каждые n месяцев) изменения представлены введением в модель трансцендентных элементов:

$$x_t = b_1 + b_2 \sin \frac{2\pi}{n} t + b_3 \cos \frac{2\pi}{n} t + e_t \quad (6.3)$$

Общее представление моделей (6.1), (6.2), (6.3):

$$x_t = b_1 \varphi_1(t) + b_2 \varphi_2(t) + \dots + b_k \varphi_k(t) + e_t, \quad (6.4)$$

где b_i – параметр, $\varphi_i(t)$ – функция от t , e_t – случайный компонент.

Последовательное планирование заключается в оценке параметров модели и дальнейшем расчёте будущих значений расхода ресурса со склада. Из выражения (6.2) видно действие тренда, выраженное компонентом b_2 и подливающееся в будущее на период t . Однако это выражение представляет план на один период t , тогда как необходимо предсказание суммы значений расхода в периодах $t=1, 2, \dots, n$. При формировании такого кумулятивного плана, складываются планы отдельных периодов:

$$X_N(T) = \sum_{t=1}^N x_{T+t}(T) \quad (6.5)$$

Существуют различные приёмы оценки параметров модели. В системе поставка-сбыт широко применяется метод наименьших квадратов, который характеризует отклонение плановых значений расхода от его действительных значений.

6.1.2. Некоторые методы последовательного планирования в системе поставок материальных ресурсов промышленным производствам

На практике предприятия логистического аутсорсинга сталкиваются с заметными колебаниями расхода ресурсов со склада. Если базовый уровень значений, вокруг которого наблюдаются колебания, условно – постоянен, то в качестве метода планирования применимо простое экспоненциальное сглаживание:

$$F_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) F_{t-1}, \quad (6.6)$$

где F_t – сглаженная средняя величина;

x_t – последовательные значения расхода ресурса;

α – коэффициент сглаживания.

Выбор величины α

На предприятиях величина коэффициента определяется эмпирически, $0 < \alpha < 1$, и чем больше значение α , тем большее влияние на план оказывают более поздние результаты наблюдений. Следовательно, если процесс считается стабильным, α выбирается наименьшим, для предотвращения влияния единичных отклонений. Если процесс характеризуется частыми и значительными колебаниями, целесообразен выбор наибольшего значения α для учёта этих подъёмов и спадов. Имеются трудности в обосновании перехода от качественных оценок значения коэффициента к его количественному вычислению. Во-первых, если речь идёт об эмпирическом подборе α , в каждом конкретном случае требуется большое количество опытных данных, и возникают затруднения в обработке информации. Во-вторых, непредвиденные изменения характера процесса могут сделать пригодное в прошлом значение коэффициента непригодным в будущем. В современной литературе рассматривается два основных подхода к решению этого вопроса. Первый состоит в присвое-

нии коэффициенту заранее выбранного значения (0.1, 0.3, 0.5). При этом считается, что если значение α , минимизирующее среднее отклонение, превышает 0.5, то имеет место тренд, сезонность или циклическое изменение, и простое экспоненциальное сглаживание следует заменить другим методом планирования. Второй подход предполагает ввод дополнительного параметра – отношения экспоненциально сглаженной действительной погрешности к экспоненциально сглаженной абсолютной погрешности, и расчёт сигнального значения этого параметра, равным которому устанавливается значение α . Профессора Чейз и Аквилано [4] отмечают кажущуюся логическую простоту и в то же время неточность этого подхода в практических ситуациях. Такой расчёт требует допущений в предыдущем периоде, т.е. присвоения значения постоянным сглаживания. Эти допущения, сделанные на основе субъективных представлений лиц, принимающих решения (далее – ЛПР), обуславливают неточность расчёта.

Распространённым на практике способом определения коэффициента сглаживания является его подбор посредством серии пробных расчётов на уже имеющемся массиве фактических данных, в результате которого выбирается то значение α , которое оптимизирует сумму среднеквадратичных отклонений. Например, доступны данные о значении объёмов сбыта за три года. Возможен выбор оптимального коэффициента сглаживания на базе информации первых двух лет с последующей симуляцией плана в каждом выбранном периоде третьего года для проверки того, как выбранный оптимальный коэффициент будет реагировать на данные, отличные от тех, что послужили базой для его выбора. Многие ЛПР предпочитают иметь в своём распоряжении несколько заранее рассчитанных значений α , которые могут быть использованы в разных условиях. Для таких расчётов в качестве оптимизируемого параметра обычно выбирается среднее относительное отклонение, и с помощью процедуры «Поиск решения» пакета

Microsoft Excel определяется то значение α , которое минимизирует среднее относительное отклонение (пункт 6.3).

Предприятия-поставщики промышленных производств сталкиваются с заметными колебаниями расхода ресурсов со склада вокруг линейно изменяющегося среднего значения. Для планирования используется экспоненциальное сглаживание с экстраполяцией линейного тренда (метод Холта) формула (6.2). Ожидаемое значение расхода x_t в момент t выражается зависимостью:

$$E(x_t|t) = b_1 + b_2 t \quad (6.7)$$

Практика показала эффективность использования экспоненциального сглаживания с восходящим трендом при создании полиномиальной модели планирования расхода ресурса со склада. Но описание процесса расхода некоторых ресурсов нельзя свести к выражению вида

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0, \quad (6.8)$$

где n – целое положительное число, a_n – действительное число. Таковы циклические временные последовательности (выражения 6.3 и 6.4). В общем случае процесс приобретает восходящий линейный тренд, т.к. одна из целей предприятия – увеличение масштаба деятельности для роста капитализации за счёт наращивания объёмов поставок ресурсов. Поэтому в уравнение (6.2) добавляется фактор цикличности c_t и планирование осуществляется по методу Винтера:

$$x_t = (b_1 + b_2 t)c_t + e_t \quad (6.9)$$

На рисунках 6.1 и 6.2 представлен еженедельный расход ресурсов пяти видов со склада предприятия логистического аутсорсинга – поставщика промышленных производств. Все пять ресурсов относятся к категории «А»¹. На рисунке 6.1 наблюдаются колебания вокруг базового уровня.

¹ Критерий присвоения категорий «А», «В» и «С» различным ресурсам – валовая прибыль, полученная предприятием от их продажи за период с 01.01.2006 по 31.12.2007; группировка по категориям выполнена в информационной системе «1С: Предприятие 8.X».

Максимальное значение расхода артикула 1 превышает среднее почти в 5 раз на фоне понижательного тренда. Тренд обусловлен участвовавшими в 2007 году случаями недостатка данного ресурса на складе и некоторым снижением спроса, а импульсивность объясняется перебоями во входящих поставках, а не характером сбыта. Для устранения перебоев предприняты действия по планированию, поддержанию запасов и оптимизации соотношения «размер заказа / транспортные расходы»¹. Операционные затраты оптимизированы, выстроены стабильные партнёрские отношения с клиентами и поставщиками. Показанный на рисунках 6.1 и 6.2 характер сбыта предполагает использование экспоненциального сглаживания второго порядка в качестве метода планирования. Коэффициент сглаживания оптимизирован для минимального значения относительного отклонения с помощью процедуры «Поиск решения» Microsoft Excel. Коэффициент сглаживания $\alpha=0.1$ был бы более приемлем для расчётов по наименованию «артикул 1»: ресурсы этой группы характеризуются постоянным потреблением и необходимостью поддержания запаса. Но на фокусном предприятии в течение 2006 и 2007 годов задача планирования расхода и расчета неснижаемого запаса математическими методами не ставилась. Поэтому нулевой или близкий к нулю сбыт в некоторые периоды обусловлен не отсутствием потребности в ресурсе, а его дефицитом на складе предприятия логистического аутсорсинга. Импульсный рост расхода в течение некоторых периодов вызван дефицитом ресурса на складе в течение предшествующих одной – двух недель. Факт подъёма спроса на рынке в 2007 году был зафиксирован только на неделе от 12.02.2007. Меньшее значение коэффициента α сделало бы планирование менее чувствительным к таким флуктуациям, которые не должны быть нормой при наличии посто-

¹ Порядок решения задач поддержания неснижаемого запаса и оптимизации соотношения «размер заказа / транспортные расходы» и используемые для этого математические методы описаны в пункте 6.2.

янного неснижаемого запаса. Значения коэффициентов сглаживания и средних относительных отклонений при планировании сбыта в 2007 и 2008 годах сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1. Сравнение значений оптимального коэффициента сглаживания и средних величин относительного отклонения при планировании расхода пяти артикулов группы «А» в 2007 и 2008 годах методом Холта

	Арт. 1		Арт. 2		Арт. 3		Арт. 4		Арт. 5	
	α	σ	α	σ	α	σ	α	σ	α	σ
2007	0.490	3.099	0.073	1.866	0.014	0.686	0.508	12.54	0.185	0.702
2008	0.073	1.310	0.065	0.340	0.212	0.083	0.076	0.118	0.306	0.126

Приведённые в таблице данные показывают, что из-за отсутствия неснижаемого запаса сбыт менее предсказуем и менее устойчив: значения относительного отклонения в 2007 году в разы превосходят значения 2008 года для всех пяти артикулов.

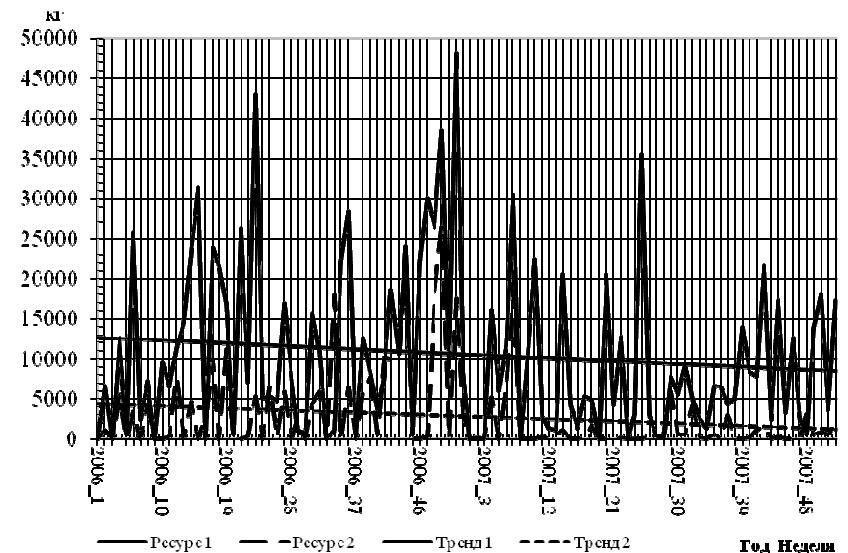


Рис. 6.1. Еженедельный расход со склада ресурсов 1 и 2 в течение 2006 и 2007 годов

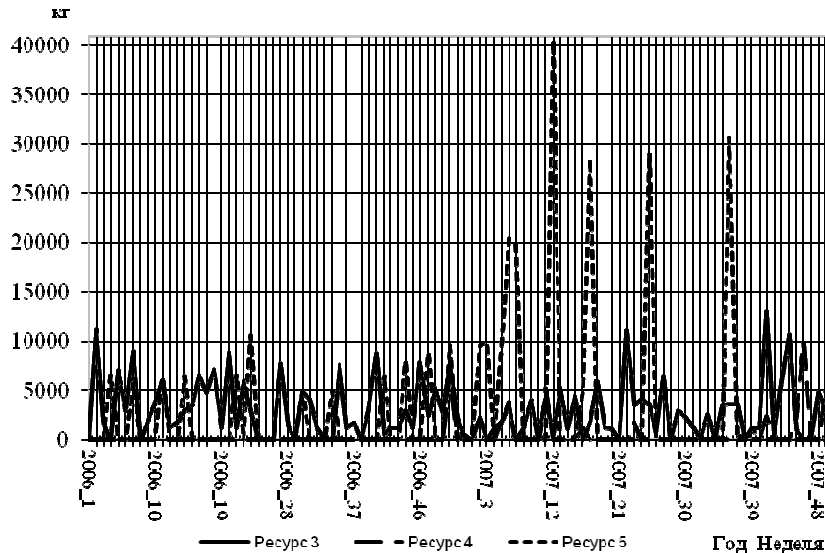


Рис. 6.2. Ежедневный расход со склада ресурсов 3, 4, 5
в течение 2006 и 2007 годов

Благодаря планированию и поддержанию оптимального неснижаемого запаса, в 1 полугодии 2008 года величина среднего относительного отклонения снизилась в несколько раз; коэффициент α приобрёл значение близкое к 0,1 для ресурсов 1, 2, 4 и возрос для ресурсов 3 и 5. В 2007 году из-за недостатка ресурсов 3 и 5 на складе возникла иллюзия незначительной амплитуды колебаний. В действительности же, из-за дефицита этих ресурсов размеры входящих поставок и, следовательно, отгрузок в адрес промышленных производств были невелики и нерегулярны. Импульсные колебания сбыта ресурсов 1, 2, 4, о которых сказано выше, обусловили завышенные значения коэффициента сглаживания в расчётах 2007 года. В 2008 году значения α точнее отразили динамику сбыта ресурсов, т.к. ошибки планирования входящих поставок на предприятие элиминированы

оптимальными запасами¹, что было достигнуто применением моделей оптимизации операционных затрат.

6.2. Модели оптимизации операционных затрат

Далее рассматриваются три вида моделей, предназначенных для анализа и оптимизации операционных затрат на предприятиях логистического аутсорсинга, функционирующих в системах поставки материальных ресурсов промышленности региона, а именно: моделирование эффекта операционного рычага, оптимизация операционных затрат методом математического нелинейного программирования, оптимизация размера и точки заказа.

6.2.1. Моделирование эффекта операционного рычага

На величину прибыли предприятия существенно влияют два фактора: эффективность использования ресурсов и структура источников средств. Первый фактор связан с оптимизацией переменных и условно-постоянных² затрат как элементов, влияющих на прибыль от основной деятельности, и характеризуется категорией «операционный рычаг». Второй фактор связан с категорией «финансовый рычаг» и в данном исследовании не рассматривается. Прибыль от основной деятельности (операционная прибыль или прибыль от реализации) отражается по строке 050 Отчета о прибылях и убытках³ коммерческого предприятия (таблица 6.2).

¹ Расчёт и порядок создания оптимальных запасов, определение связанных с ними точек заказа и расходов на транспортировку ресурсов описаны в пункте 6.2.

² Условно-постоянными считаются затраты, стабильные при варьировании объема поставок в некотором интервале и меняющиеся ступенчато при выходе за пределы этого интервала.

³ Форма № 2, Закон от 21.11.96 № 129-ФЗ «О бухгалтерском учете».