Санкт-Петербургский государственный университет
Факультет Прикладной математики — процессов управления
Кафедра моделирования экономических систем

Логоша Елизавета Сергеевна

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Оценка функции спроса с минимизацией риска затоваривания

Направление 01.03.02

«Прикладная математика и информатика»

Научный руководитель,
доктор физ.-мат. наук,
профессор Прасолов А. В.

Рецензент,
ассистент Костюнин С. Ю.

Санкт-Петербург

2018

Содержание

Введение

Актуальность темы работы

Управление запасами — важная часть управления оборотными активами предприятия, основной задачей которого является обеспечение непрерывного процесса производства и реализации продукции, а также минимизация совокупных затрат по обслуживанию запасов. При управлении запасами решаются два основных вопроса: это объем и срок заказа, то есть в каком количестве и когда надо осуществлять заказ необходимого товара.

Практически каждое предприятие сталкивается в своей работе с запасами, управление которыми является важной составляющей управленческой деятельности для успешного существования. Управление запасами дает возможность предприятию максимизировать свою прибыль за счет оптимизации уровня запасов и эффективного их использования, установление достаточного, но не слишком высокого уровня запаса. При этом средства, которые вкладываются в эти запасы, возможно минимизировать. Именно поэтому тема данной работы актуальна и своевременна.

Постановка задачи

Целью работы выступает изучение возможности оценки функции спроса с минимизацией риска затоваривания математическими методами.

Исходя из поставленной цели и темы работы, возникают следующие задачи:

- рассмотреть теоретические аспекты управления запасами;
- рассмотреть классическую модель Харриса-Уилсона;
- определить ограничения классической модели и разработать оптимизированные модели.

Предметом работы выступает математическое моделирование. Объектом работы – функция спроса с минимизацией риска затоваривания.

Глава 1

Теоретические аспекты изучения управления запасами

Согласно экономико-математическому словарю, управление запасами — комплекс моделей и методов, предназначенных для оптимизации запасов, то есть ресурсов, которые находятся на хранении и предназначены для удовлетворения спроса на эти ресурсы. Такие термины, как ресурсы и запасы, рассматриваются в широком смысле: можно говорить о запасах конечной продукции, о запасах полуфабрикатов (тогда соответствующая задача будет задачей об оптимизации незавершенного производства), о запасах сырья, материальных и трудовых ресурсов, денежных средств и т.д. Здесь производственная роль сводится к возобновлению уровня запасов по мере возникновения потребности в них. В задачах управления запасами в качестве целевой функции выбираются суммарные затраты на хранение запаса, на старение, потери от дефицита, складские операции, потери от порчи, штрафы и т.д. Очевидно, что ведется поиск минимума этой функции. В качестве управляемых переменных в подобных задачах выступают: объем запасов, частота и сроки их восполнения (путем закупки, производства и т.д.), степень готовности продукции, которая хранится в виде запасов, и др. Задачи делятся на статические (в таком случае, должно приниматься разовое решение об уровне запаса на определенный период) и динамические, когда решения принимаются последовательно, или ранее принятое решение корректируется с учетом имеющихся изменений [5].

Стали широко распространенными системы задач по управлению запасами, то есть обоснование величины общепроизводственных запасов, цеховых и внутреннецеховых запасов, оптимизации их величины и распределения по видам. Изменения в экономике, создание большего количества коммерческих организаций, их серьезная диверсификация, требование ориентироваться на запросы клиентов, учет действий конкурентов привели к существенному изменению процесса управления производством, требуя наибольшей гибкости и адаптивности организаций к новым условиям. Контроль спроса, быстрое изменение ассортимента продукции и минимизация запасов стали их самой важной задачей в новых условиях рыночной экономики [2].

Запасы, будучи одним из видов оборотных активов, имеют огромное значение для обеспечения финансового благополучия предприятия. Это означает, что на предприятии должна быть разработана комплексная система их анализа, причем сфера задач анализа задевает как оценку достаточности и сохранение материальных ресурсов, так и обеспеченность источниками финансирования. Запасы представляют собой ту часть оборотных активов, которые находятся в постоянном движении. Если же этого не происходит, то такие запасы — уже существующие или потенциальные убытки организации. Чрезмерные запасы прекращают движение капитала, нарушают финансовую стабильность предприятия, заставляя его руководство в срочном порядке выискивать необходимые для текущей деятельности денежные средства. Эти и другие негативные последствия политики накопления запасов нередко полностью перекрывают положительный эффект от экономии за счет более ранних закупок или полученных скидок. Величина запасов сырья и материалов определяется прежде всего объемом продаж, характером производства, природой запасов, возможностью перебоев в снабжении и условиями приобретения сырья (возможной экономии от закупок большего объема) [3].

Существует довольно много моделей управления запасами. Базисной моделью является модель Уилсона. Анализируя литературные источники, можно выделить следующие основные виды моделей управления запасами:
— однопродуктовая статическая модель;

— однопродуктовая статическая модель, которая предполагает дефицит;
— модель с постепенным пополнением запасов;
— модель с постепенным пополнением запасов, которая допускает дефицит;
— модель с фиксированным размером заказа;
— модель с фиксированной периодичностью заказа;
— модель, которая учитывает количественные скидки.

В своей работе Б.К. Плоткин и Л.А. Делюкон утверждают, что запасы являются ключевой категорией в логистике. С точки зрения логистики запасы — это материальный поток с нулевой скоростью физического перемещения. Запасы обладают двойной природой: с одной стороны, они имеют положительное значение, а с другой стороны, они имеют негативное свойство. Положительное значение запасов заключается в том, что с ростом величины запаса возрастает надежность функционирования системы, то есть обеспечивается надежное, бесперебойное обеспечение материальными ресурсами производства или надежность реализации товара. Но запасы владеют и негативным свойством, которое заключается в том, что в запасах иммобилизируются (омертвляются) материальные и финансовые ресурсы. Отсюда и возникают проблемы оптимизации запаса, то есть определение того уровня запаса, при котором общие затраты при управлении запасом будут минимальными. Оптимизация уровня запасов выполняется исходя из того, что имеет место две группы затрат — это затраты на хранение запаса и затраты на доставку продукции и осуществление заказа. Пи этих условиях возникает вопрос - поставлять продукцию большими или малыми партиями. При поставках большими партиями сокращаются транспортные затраты, но увеличиваются затраты на хранение. При поставках малыми партиями — уменьшаются затраты на хранение запаса, но возрастают транспортные затраты. Итак, проблема оптимизации запасов сводится к проблемы оптимизации партии снабжения [7]. В пособии рассматриваются такие модели, как: модель Уилсона, модель оптимального размера партии поставки при периодическом поступлении и равномерных затратах материальных ресурсов, модель оптимального размера партии поставки при периодическом поступлении и равномерных затратах материальных ресурсов.

Новикова Н.В. пишет, что одним из самых важных этапов планирования работы любой производственной единицы — цеха, предприятия или объединения предприятий — есть определение рационального уровня запасов сырья, полуфабрикатов, инструментов. Основными причинами создания производственных запасов выступает необходимость обеспечения бесперебойного снабжения производственного процесса, периодичность производства разных видов продукции поставщиками, осуществление транспортировки большинства видов продукции от поставщика до потребителя партиями, а также расхождение ритма производства с ритмом потребления. Предметом теории управления запасами являются отыскания такой организации поставок или производства, при которых суммарные затраты на функционирование системы были бы минимальными.

Н.В. Новикова в своей работе рассматривает такие модели: модель Уилсона с бесконечной интенсивностью поставки без дефицита, ЭММ- формирование запасов с конечной интенсивностью поставки без дефицита, ЭММ-формирование запасов при наличия дефицита с учетом неудовлетворенных требований [6].

Е.Н. Ломкова и А.А. Эпов в своей работе отмечают, что фирмы часто делают разные запасы. Сохраняют сырье, заготовки, готовую продукцию, предназначенную для продажи. Запасов не должно быть ни слишком много, ни слишком мало. В первом случае возникает необходимость неоправданных затрат на хранение, на амортизацию товара. Во втором случае может оказаться так, что на складе не будет нужного товара. Кроме того, малое количество запасов предполагает их частое пополнение, которое также нуждается в затратах. Задача управления запасами заключается в том, чтобы во избежание обеих крайностей сделать общие затраты по возможности меньше [4]. В пособии рассматриваются несколько простейших детерминированных моделей управления запасами, а именно, основная модель, модель производственных поставок и модель поставок со скидкой.

В данной работе за основу определений и обозначений исследуемых моделей примем подход, который предложен Т.В. Алесинской. В своей работе она пишет, что математические модели управления запасами (УЗ) позволяют найти оптимальный уровень запасов некоторого товара, способного минимизировать суммарные затраты на покупку, оформление и доставку заказа, хранение товара, а также убытки от его дефицита. Модель Уилсона является простейшей моделью УЗ и описывает ситуацию закупки продукции у внешнего поставщика, которая характеризуется следующими предположениями:

— интенсивность потребления есть априорно известная и постоянная величина;

— заказы доставляются со склада, на котором хранится ранее произведенный товар;

— время поставки заказа есть известная и постоянной величина;

— каждый заказ поставляется в виде одной партии;

— затраты на осуществление не зависят от размера заказа;

— затраты на хранение запаса пропорциональны его размерам;

— отсутствие запаса (дефицит) является недопустимым [1].

Глава 2

Оптимизация модели Харриса-Уилсона

2.1 Классическая модель Харриса-Уилсона

Модель Харриса-Уилсона оптимального размера заказа является «визитной карточкой» логистики. С одной стороны, предложенная около ста лет тому назад, эта модель находится в центре постоянной дискуссии о возможности ее практического применения. Одни специалисты говорят о невозможности ее использования вследствие целого ряда ограничений [8], другие считают, что имеющиеся ограничения можно преодолеть и расчеты дают довольно точные и обоснованные результаты, поскольку основывается на принципе оптимизации, являющейся движущей идеей логистики. В этой модели элегантно объединяются убедительность аргументов и простота расчетов. Кроме того, модель способна быть модифицирована в зависимости от условий ее применения.

Несмотря на широкую популярность этой модели, в течение нескольких десятилетий обстоятельства ее создания и комментарии были недостаточно освещены в научной среде. Это послужило причиной ее жесткой критики. В то же время, пояснения авторов модели дают исчерпывающие ответы на замечания, которые появились в результате различных толкований, накладывающихся друг на друга на протяжении времени.

Модель оптимального размера заказа (EOQ - Economic Optimal Quantyty) впервые была предложенная Фордом Уитманом Харрисом (Ford Whitman Harris) в статье «Сколько деталей делать одновременно?» в 1913 году опубликованная в журнале «Factory, The Magazine of Management» [11]. Тираж этого специализированного издания достигал 10000 экземпляров (по тем временам охватывающий довольно значительную аудиторию) и был ориентирован на менеджеров, занятых в производственной сфере.

Издателем журнала был Шоу А.У. (A.W. Shaw), который тесно сотрудничал с Гарвардской школой бизнеса и поддерживал развитие академической науки, полностью пересчитывая ей гонорары за публикации в «Harvard Business Review». Одним из журналов Шоу был «System, The Magazine of Business», ставший со временем знаменитым «Business Week». Несмотря на публикацию в таком солидном издании, статья Харрiса осталась практически незамеченной и не принесла популярности своему автору. Лишь в 1934 году Уилсон Р.Х. (Wilson, R.H.) профессор Гарвардской школы бизнеса, опубликовал статью «Научные подходы по контролю запасов», в которой проанализировал предложенную Харрисом Ф. модель и сформулировал принципиальный вывод о том, что для достижения оптимального размера заказ необходимо достижение баланса между затратами на оформление заказа и затратами по хранению запаса на складе [12]. С того времени в теории логистики модель EOQ носит название «Модель Уилсона».

Только в 1989 году сотрудник Калифорнийского университета Дональд Эрленкоттер (Donald Erlenkotter) в статье «Форд Уитман Харрис и модель оптимального размера заказа» отметил авторство именно Харриса в разработке этой модели [10]. Таким образом, модель оптимального размера заказа встречается в научной и бизнес-литературе и как «модель Харриса», и как «модель Уилсона». В своей статье Харрис Ф. предложил рассматривать общие (совокупные) затраты, связанные с запасами, как сумму постоянных и переменных затрат в течение определенного периода (года).

К первым относится стоимость годового объема запасов $FC = U * D$, где FC (Fixed Cost) — постоянные затраты, U (unit) — цена единицы запаса, D (Demand) — спрос. К переменным относятся затраты, связанные с размещением заказа R (R — request) и хранением запаса H (H — hold).

Таким образом,

$$TC = FC + VC = U * D + R + H \tag{2.1}$$

где TC (Total Cost) — совокупные затраты, VC — (Variable Cost) — переменные затраты. Переменные затраты, как известно, непосредственно связаны с объемами производства и реализации. Поскольку переменными в данном случае являются количество заказов и размер запаса, то графически функциональная зависимость затрат была представлена Харрисом Ф. таким образом (рис. 2.1.1.).

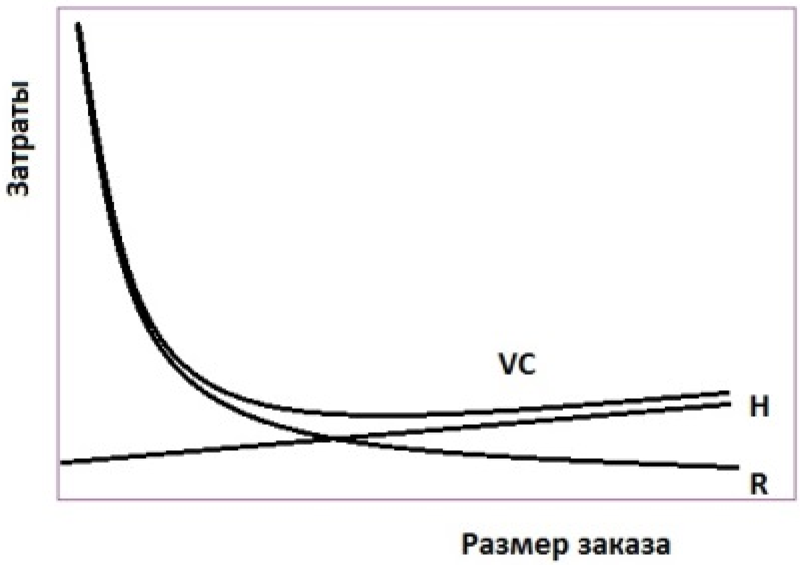

Рис. 2.1.1. Функциональная зависимость уровня затрат по управлению запасами от размера заказа

При этом, функция затрат из размещения заказа выражается уравнением

$$y = kx^{-1}, \tag{2.2}$$

где k — постоянный коэффициент, x — размер заказа. Функция затрат с хранения запасов выражается линейным уравнением

$$y = b_0 + b_1 x, \text{при } b_0 = 0 \tag{2.3}$$

Общие переменные затраты рассчитываются по формуле:

$$y = kx^{-1} + b_1 x \tag{2.4}$$

Оптимизация состоит в нахождении координаты точки x_{min}, которой отвечает минимум функции y_{min}. Для этого необходимо найти производную y' и приравнять ее к нулю:

$$y' = \frac{k}{x^2} + b_1,\ y' = 0 \Rightarrow \frac{k}{x^2} + b_1 = 0$$

Дальше, в результате преобразования:

$$-k + b_1 x^2 = 0;\ x^2 = \frac{k}{b_1};\ x = \sqrt{\frac{k}{b_1}}$$

$$\text{при условии, что }\ x > 0$$

Таким образом,

$$x_{min} = \sqrt{\frac{k}{b_1}} \tag{2.5}$$

$$y_{min} = \sqrt{kb_1} + \sqrt{kb_1} = 2\sqrt{kb_1} \tag{2.6}$$

Затраты, связанные с размещением заказа и затраты по хранению рассчитываются, как

$$R = r\frac{D}{x},\quad H = h\frac{x}{2}\ \text{ соответственно,} \tag{2.7}$$

где h – стоимость хранения ед. запаса в течение указанного периода, r - стоимость размещения одного заказа, $\dfrac{x}{2}$ – средний запас. Из последних формул получаем

$$k = rD,\quad b_1 = \frac{h}{2}$$

Формула (2.5) приобретает следующий вид:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2Dr}{h}} \tag{2.8}$$

то есть классический вид модели « Харриса-Уилсона».

Соответственно, переменные затраты при EOQ составят:

$$y_{min} = 2\sqrt{\frac{Drh}{2}} = \sqrt{2Drh} \tag{2.9}$$

или

$$y_{min} = h * EOQ \tag{2.10}$$

Формула (2.9) предоставляет возможность рассчитать ожидаемые затраты с исходными данными к обретению значения EOQ.

Следует отметить, что именно формула (2.8) подвергалась жесткой критике за наличие целого ряда условий, которые усложняют ее использование.

Среди таких условий отмечаются:

1. уровень спроса постоянный в течение планового периода;
2. время выполнения заказа (lead-time) постоянное;
3. затраты на размещение заказа постоянные;
4. затраты, связанные с транспортировкой заказа постоянные;
5. спрос удовлетворяется в полном объеме;
6. транзитных запасов нет;
7. в запасе находится один вид продукции;
8. диапазон планирования неограниченный;
9. финансовые ресурсы неограниченные [9].

Действительно, такие условия описывают «идеальную картину», которая не встречается в реальной жизни. Но поиск оптимизации не останавливается. В своей работе Харрис обращал внимание, что модель EOQ предназначена в качестве практического инструмента, который нужно умно использовать («...formula is intended as a practical tool to be used intelligently» [11]).

Кроме того, полученное значение может оказаться нецелым числом и, естественно, в ряде случаев не может быть использовано «механически». В других ситуациях может быть рассчитано нецелое значение количества заказов. Ограничения могут быть продиктованы условиями поставки (по 100, 200, 300 единиц и т.д.). Ограничения, связанные с бюджетом предприятия, могут существенно влиять на возможность формирования оптимального размера заказа. Кроме того, классическая модель не учитывает скидки.

Таким образом, возникают следующие задачи для оптимизации:
- оптимизация модели для нецелого числа – количества заказов;
- оптимизация модели для учета скидок;
- оптимизация модели для ограниченного бюджета, соответствующего спросу.

2.2 Оптимизация модели для нецелого количества заказов

Для принятия решения в подобных ситуациях менеджеру нужно воспользоваться свойствами кривой общих переменных затрат. На рис. 2.2.2. приведена закономерность изменения общих затрат в зависимости от изменения размера заказа. Уровню затрат с координатой m, отвечают размеры заказа X_1 и X_2.

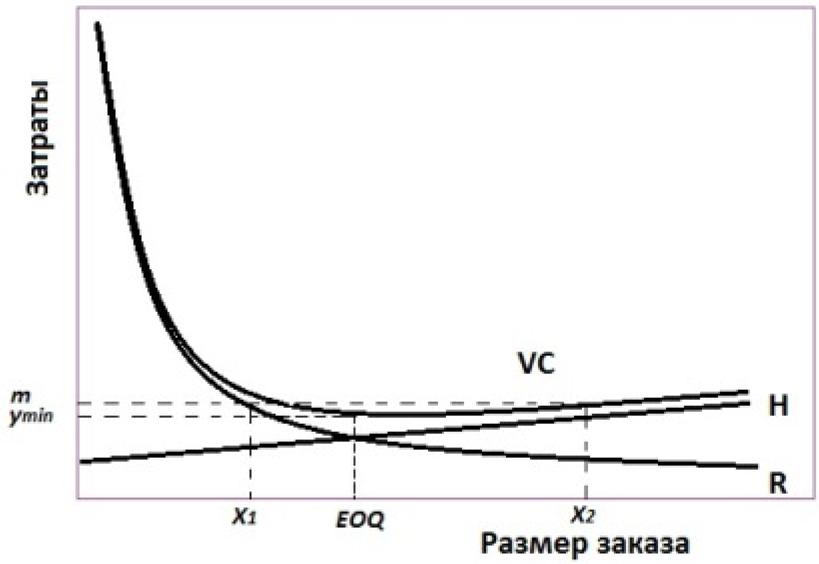

Рис. 2.2.2. Закономерность изменения общих переменных затрат в зависимости от размера заказа

Найдем точки X_1 и X_2 на оси «Размер заказа» с координатой m.

$$y = m \Rightarrow \frac{k}{x} + b_1 x = m$$

Пусть

$$\begin{cases} k + b_1 x^2 - mx = 0, \\ x \neq 0 \end{cases}$$

Решим квадратное уравнение:

$$b_1 x^2 - mx + k = 0, \ \mathfrak{D} = m^2 - 4 b_1 k$$

$\mathfrak{D}$ - дискриминант функции:

$$X_{1,2} = \frac{m \pm \sqrt{\mathfrak{D}}}{2b_1} = \frac{m \pm \sqrt{m^2 - 4\frac{h}{2}Dr}}{2\frac{h}{2}} = \frac{m \pm \sqrt{m^2 - 2hDr}}{h} \tag{2.11}$$

Поскольку $m = \Delta * y_{min} = \Delta * \sqrt{2Drh}$, где Δ - коэффициент увеличения общих затрат (например, 1,05 - общие затраты увеличиваются на 5%; 1,1 - общие затраты увеличиваются на 10% и т.д.), формула (2.11) приобретает вид:

$$X_{1,2} = \frac{\Delta\sqrt{2Drh} \pm \sqrt{\Delta^2 2Drh - 2Drh}}{h} = \sqrt{\frac{2Dr}{h}} * (\Delta \pm \sqrt{\Delta^2 - 1}) \tag{2.12}$$

Для расчета отношения изменения размера заказа $X_{1,2}$ при увеличении оптимального размера общих переменных затрат на Δ, к оптимальному значению EOQ найдем отношение выражения (2.12) к выражению (2.8), получим

$$\frac{X_{1,2}}{EOQ} = \frac{\sqrt{\frac{2Dr}{h}}(\Delta \pm \sqrt{\Delta^2 - 1})}{\sqrt{\frac{2Dr}{h}}} = \Delta \pm \sqrt{\Delta^2 - 1} \tag{2.13}$$

Обобщение закономерности изменения общих затрат в зависимости от размера заказа приведено в таблице:

Таблица 2.1. Закономерность изменения общих затрат в зависимости от размера заказа

Рост общих затрат, %	Δ	Уменьшение EOQ, %	Увеличение EOQ, %	Рост общих затрат, %	Δ	Уменьшение EOQ, %	Увеличение EOQ, %
1	1,01	13,18	15,18	21	1,21	47,12	89,12
2	1,02	18,1	22,1	22	1,22	47,89	91,89
3	1,03	21,68	27,68	23	1,23	48,62	94,62
4	1,04	24,57	32,57	24	1,24	49,32	97,32
5	1,05	27,02	37,02	25	1,25	50	100
6	1,06	29,16	41,16	26	1,26	50,66	102,66
7	1,07	31,07	45,07	27	1,27	51,29	105,29
8	1,08	32,79	48,79	28	1,28	51,9	107,9
9	1,09	34,37	52,37	29	1,29	52,49	110,49
10	1,1	35,83	55,83	30	1,3	53,07	113,07
11	1,11	37,18	59,18	31	1,31	53,62	115,62
12	1,12	38,44	62,44	32	1,32	54,16	118,16
13	1,13	39,62	65,62	33	1,33	54,69	120,69
14	1,14	40,74	68,74	34	1,34	55,2	123,2
15	1,15	41,79	71,79	35	1,35	55,69	125,69
16	1,16	42,79	74,79	36	1,36	56,17	128,17
17	1,17	43,74	77,74	37	1,37	56,64	130,64
18	1,18	44,64	80,64	38	1,38	57,1	133,1
19	1,19	45,51	83,51	39	1,39	57,55	135,55
20	1,2	46,33	86,33	40	1,4	57,98	137,98

Выше речь шла о том, что по формуле (2.10) рассчитываются общие переменные затраты, которые отвечают оптимальному размеру заказа. С ростом этих затрат на 1%, (координата m на рис. 2.1.1.) диапазон значений, отличных от EOQ, колеблется в пределах от -13,18% до +15,18%. С ростом общих затрат лишь на 5% от y_{min} размер заказа, приближенный к оптимальному, может быть найден в диапазоне от - 27,02% к +37,02% от EOQ, что значительно повышает возможности принятия обоснованных решений в политике управления запасами.

Практически полезным результатом будет вывод о том, что незбольшое изменение суммарных затрат позволяет варьировать размер заказа в широком диапазоне.

Значениями, приведенными в табл. 2.1 можно пользоваться при разных исходных данных конкретной логистической задачи. Кроме того, очевидно, что увеличение общих затрат всего до 10%, что вполне вероятно для бизнеса, позволяет в большинстве ситуаций найти оптимальный размер заказа.

Пример

Годовой прогнозируемый объем спроса составляет 1000 единиц. Стоимость размещения заказа равна 100, стоимость хранения продукции на складе равна 2. Рассчитать оптимальный размер заказа для формирования политики управления запасами.

Воспользовавшись формулой (2.8) рассчитываем значение:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2*1000*100}{2}} = 316,22$$

Уровень переменных затрат составляет:

$$VC = r\frac{D}{EOQ} + h\frac{EOG}{2} = 2*EOQ = 632,45$$

Дальнейший анализ показывает, что при размещении заказа в 316,22 единиц не удается полностью обеспечить удовлетворение спроса в 1000 единиц.

Так, по формуле

$$F = \frac{D}{Q} = \frac{1000}{316,22} = 3,16$$

рассчитывается количество заказов в течение года, или частота поставок (F - frequency). Итак, необходимо разместить заказ 3,16 раз, что, очевидно, бессмысленно.

Вместе с тем, при незначительном увеличении затрат на управление запасами на 5% их размер достигнет уровня 632,45*1,05 = 664,07.

По формуле (2.5) рассчитаем размер заказа, который отвечает этому уровню затрат. В результате вычислений получаем значения X_1=230,79 единиц и X_2=433,28 единиц, которые находятся в диапазоне —27,02% и +37,02% от EOQ. В результате расчетов появляется обоснованная возможность довести размер заказа к $Q = 250$ единиц (Q - quantity) и полностью обеспечить объем годового спроса за 4 снабжения. При этом, затраты, связанные с запасами, составят

$$VC = r\frac{D}{Q} + h\frac{Q}{2} = 100\frac{1000}{250} + 2\frac{250}{2} = 650,$$

что лишь на 2,7% больше, чем затраты при EOQ ($\Delta\% = (1 - \frac{632,45}{650}100 = 2,7\%$)

Критерием оптимизации в данном случае выступает количество заказов, которое должно быть целым числом.

Учитывая свойства кривой общих затрат, выбор остается за вариантом, при котором количество заказов (частота поставок) больше.

Такой подход является довольно гибким в применении и позволяет преодолеть возможные ограничения, ориентируясь на оптимальный уровень затрат, связанных с запасами («...using a formula as a check is at least warranted» [8]).

Что касается объема годового спроса (D), то уместно вести речь не о постоянном спросе, а о прогнозируемом спросе. Прогнозирование спроса выступает одной из задач логистики и для ее решения используются разные методики, в частности, объем спроса можно рассчитать с помощью формулы: $D = d * T$, где d - среднесуточный спрос, T - количество рабочих дней в году.

Стоимость хранения единицы запаса в течение года рассчитывается по формуле: $H = \frac{W}{D}$, где W (warehouse) — стоимость содержания склада.

Сложнее выделить затраты из оформления заказа (r). Этот вопрос остается дискуссионным. Поскольку эти затраты фиксированные и не зависят от размера заказа, то в них должны включаться соответствующие логистические операции. На мой взгляд, к таким затратам нужно относить:

комиссию банка за транзакцию из оплаты заказа, телефонные переговоры с поставщиком, подготовка документов и электронный обмен ими и др. Что касается создания страховых запасов, то их наличие не меняет подходы к формированию оптимального размера заказа, хотя общие затраты из управления запасами, безусловно, увеличиваются.

2.3 Модификация модели с учетом скидки

Модель управления запасами, которая учитывает скидки - это модель оптимального экономического размера заказа, который обеспечивает минимальную величину суммарных затрат и позволяет получить более выгодную партию товара, получив скидку. Приведем формулы этой модели.

Уравнение общих затрат при учете затрат на покупку товара, представляется в виде:

$$TC = r\frac{F}{Q} + h\frac{Q}{2} + uF \tag{2.14}$$

где TC - общие затраты;

Q - размер заказа;

r - затраты на реализацию заказа.

F - интенсивность потребления запаса;

D – спрос на товар.

u - цена товара;

h - затраты на хранение;

Если на заказ большого объема предоставляются скидки, то заказ на большие партии вызовет увеличение затрат на хранение, но скнижение закуполчной цены может компенсировать это увеличение. Таким образом, оптимальный размер заказа может меняться в зависимости от ситуации с отсутствием скидок. Поэтому затраты на приобретение товара необходимо учитывать в модели покупок со скидками [1].

Теперь можно рассмотреть новые параметры модели, которая учитывает скидки:

1. Qp_1, Qp_2 - точки разрыва цен, то есть величины заказа, при которых начинают действовать скидки (первая и вторая соответственно);

2. u, u_1, u_2 - соответственно, изначальная цена, цена при первой скидке, цена при второй скидке.

Для определения оптимального размер заказа EOQ, следует проанализировать, куда может попасть точка разрыва цены. Правило выбора EOQ для случая, когда скидка одна, имеет вид [1]:

$$EOQ = \begin{cases} Qw, \text{ если } \ 0 \leqslant Qp_1 < Qw \\ Qp_1, \text{ если } \ Qw \leqslant Qp_1 < Q_1 \\ Qw, \text{ если } \ Qp_1 \geqslant Q_1 \end{cases} \tag{2.15}$$

Здесь Q_w - объем заказа, вычесленный по формуле Уилсона, Q_{p1} - объем, при котором начинает действовать скидка, Q_1 - объем заказа, при котором равны общие затраты при цене со скидкой и без нее.

Использование в экономике функций комплексной переменной было предложено С. Светуньковым, так как такие функции в силу присущих им свойств описывают взаимосвязь между экономическими показателями иначе, чем функции вещественных переменных. [13].

И.С. Светуньков в своих научных трудах на примере теории производственных функций доказал, что использование комплексных переменных значительно расширяет инструментальную базу экономического анализа производственных процессов. Им были рассмотрены различные виды функций комплексной переменной и то, как они могут быть использованы в экономико-математическом моделировании [14, 15].

Построение базовой модели управления запасами с использованием комплексных чисел было предложено в работе Чорнорота Я. О. [16]. Таким же образом затраты на закупку и затраты на хранение представим в виде в виде комплексной переменной $b_0 + ib_1$. Тогда функция общих затрат на управление запасов в общем виде будет выглядеть так:

$$TC = f(b_0 + ib_1), \text{ где} \tag{2.16}$$

$$b_0 = r\frac{F}{Q} + uF = \frac{rF + uFQ}{Q} \tag{2.17}$$

$$b_1 = h\frac{Q}{2} \text{ - затраты на хранение} \tag{2.18}$$

Здесь , b_0 и b_1 - положительные вещественные числа. Отнесение b_0 в вещественную часть, а b_1 - в мнимую принципиального значения не играет. Комплексному числу в данной функции ставится в соответствие вещественное число TC.

Свяжем затраты на закупку и хранение таким образом:

$$TC = (a_0 + ia_1)(b_0 + ib_1) \tag{2.19}$$

Здесь a_0 и a_1 являются вещественными числами. Первый сомножитель, который представляет собой комплексное число $(a_0 + ia_1)$, связывает в одной модели затраты и результаты, но требует отдельного исследования.

Осуществив перемножение множителей в первой части равенства (2.19) и группируя вещественную и мнимую части, получим:

$$TC = (a_0b_0 + a_1b_1) + i(a_0b_1 - a_1b_0) \tag{2.20}$$

В итоге, получаем комплексное число, вещественная часть которого $(a_0b_0 + a_1b_1)$ равняется TC. Мнимая же часть должна быть равной нулю $(a_0b_1 - a_1b_0 = 0)$. так как мнимая часть отсутствует в левой части равенства, то есть она есть множитель $i*0$. Итак, функция (2.19) является аддитивной моделью вида:

$$TC = (a_0b_0 + a_1b_1) \tag{2.21}$$

Здесь коэффициенты a_0 и a_1 являются частями одного комплексного числа, что предопределяет особенности предложенной модели. Использовать модель (2.21) в данном случае нельзя, поскольку, как сказано выше, должно выполняться условие:

$$a_0b_1 - a_1b_0 = 0 \tag{2.22}$$

Таким образом, решение системы уравнений (2.21) - (2.22) дает возможность найти значение коэффициентов a_0 и a_1.

Значения этих коэффициентов можно получить, если использовать непосредственно модель (2.20). Их можно определить через затраты, если сделать несколько элементарных преобразований:

$$a_0 - ia_1 = \frac{TC}{b_0 + ib_1} = \frac{TC(b_0 - ib_1)}{b_0^2 + b_1^2} \tag{2.23}$$

Последнее равенство выполняется только в том случае, если имеет место равенство между вещественными и мнимыми частями комплексных чисел. После раскрытия скобок и группирования отдельно вещественной и мнимой частей получим формулы для расчета каждого из коэффициентов:

$$a_0 = \frac{TCb_0}{b_0^2 + b_1^2} \tag{2.24}$$

$$a_1 = \frac{TCb_1}{b_0^2 + b_1^2} \tag{2.25}$$

Эти формулы дают возможность найти численные значения коэффициентов по известным значением затрат, а также дать экономическую интерпретацию значений каждого из коэффициентов a_0 и a_1.

$$a_0 = \frac{\dfrac{TC(rF + uFQ)}{Q}}{\dfrac{(rF + uFQ)^2}{Q^2} + h^2\dfrac{Q^2}{4}} = \frac{\dfrac{TC(rF + uFQ)}{Q}}{\dfrac{r^2F^2 + 2rFuFQ + u^2F^2Q^2}{Q^2} + h^2\dfrac{Q^2}{4}} =$$

$$= \frac{(TCF + TCuFQ)4Q}{4r^2F^2 + 8ruFQ + 4u^2F^2Q^2 + h^2Q^4} = \frac{4TCrFQ + 4TCuFQ^2}{(2rF + 2uFQ)^2 + h^2Q^4}$$

$$a_1 = \frac{TC\dfrac{hQ}{2}}{\dfrac{r^2F^2 + 2ruF^2Q + u^2F^2Q^2}{Q} + \dfrac{h^2Q^2}{4}} =$$

$$= \frac{TChQ}{2}\frac{4Q^2}{4r^2F^2 + 8ruF^2Q + 4u^2F^2Q^2 + h^2Q^4} = \frac{2TChQ^3}{(2rF + 2uF)^2 + u^2Q^4}$$

Коэффициенты a_0 и a_1 будут равны, если:

$$\frac{4TCrFQ + 4TCuFQ^2}{(2rF + 2uFQ)^2 + h^2Q^4} = \frac{2TChQ^3}{(2rF + 2uF)^2 + u^2Q^4} \Leftrightarrow$$

$$2rF + 2uF)^2 + u^2Q^4 \neq 0$$

$$2rF + 2uF)^2 + u^2Q^4 > 0$$

$$4TCrFQ + 4TCuFQ^2 = 2TChQ^3 \Leftrightarrow$$

$$2rF + 2uFQ = hQ^2$$

$$hQ^2 - 2uFQ - 2rF = 0 \text{ -уравнение относительно } Q$$

$$\mathfrak{D} = (2uF)^2 + 4h * 2rF = 4u^2F^2 + 8hrF$$

$$Q = \frac{2uF + \sqrt{4u^2F^2 + 8hrF}}{2h} = \frac{2uF + \sqrt{4(u^2F^2 + 2hrF)}}{2h} =$$

$$= \frac{2uF + 2\sqrt{u^2F^2 + 2hrF}}{2h} = \frac{uF + \sqrt{u^2F^2 + 2hrF}}{h}$$

Согласно выражениям (2.24)-(2.25), коэффициент a_1 отображает изменение затрат на закупку запасов, а коэффициент a_0 отображает изменение затрат на хранение запасов. Таким образом, эти коэффициенты можно назвать коэффициентами затрат на закупку и хранение соответственно.

Дальше проанализируем возможные границы изменения коэффициентов в зависимости от изменения затрат или на поставку или на их хранение, т.е.:

$$a_0 = f\left(\frac{rF}{Q}\right)$$

$$a_1 = f\left(\frac{hQ}{2}\right)$$

Как и в базовой модели, значение коэффициентов a_0 и a_1 имеет различное поведение. Коэффициент a_0 при стремлении объема заказа Q к нулю сам стремится к нулю, а коэффициент a_1 при стремлении параметра Q к бесконечности - стремится к единице:

$$\lim_{Q \to 0} a_0 = 0$$

$$\lim_{Q \to \infty} a_1 = 1$$

Поэтому с учетом несимметричности поведения коэффициентов их следует рассматривать отдельно. Проведем анализ значений коэффициентов затрат на хранение и закупку и исследуем значение Q, когда $a_0 = a_1$. Для этого рассмотрим задачи управления запасами, которые учитывают скидки, и построим графики.

Условия задачи: Пусть интенсивность потребления запаса F равняется 1000 ед. в год, затраты на осуществление заказа r равны 10 (здесь и далее в у.е.), цена единицы товара $u = 5$, при этом если объем заказа не менее, чем 500 единиц, то действует скидка и цена единицы будет $u = 4$. Затраты на хранение $h = 4$ за ед. в год. Рассчитанное значение оптимального размера заказа приблизительно равняется $EOQ = 71$ единиц.

Построим для этой задачи график затрат на управление запасами с учетом скидок (рис.2.3.3.) и график изменения значений коэффициентов a_0 и a_1 (рис.2.3.4.).

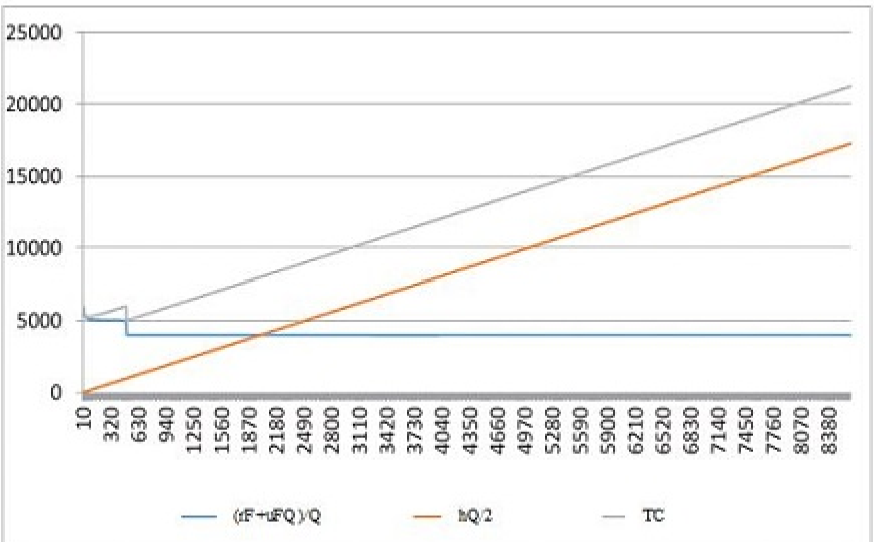

Рис. 2.3.3. График затрат на управление запасами с учетом скидок

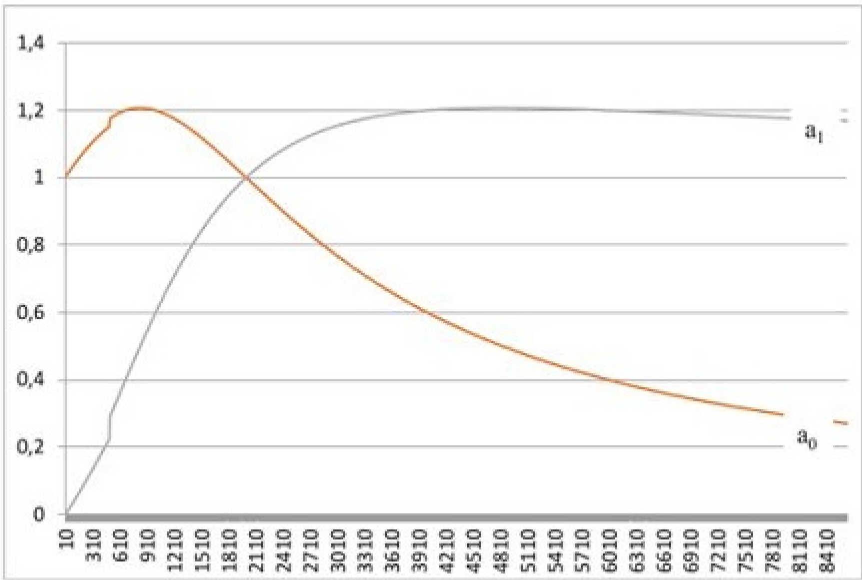

Рис. 2.3.4. График изменения коэффициентов a_0 и a_1

Проанализировав график изменения значений коэффициентов a_0 и a_1, можно сделать вывод, что кривые коэффициентов a_0 и a_1 ведут себя разнонаправленно, подобно простейшей модели.

Исследуем и проанализируем значение Q, когда $a_0 = a_1$. Как можно увидеть графически из рис.2.3.4. или рассчитав значение Q по формуле $EOQ_{\text{расч}}$, получили значение 2003 шт., которое намного больше рассчитанного значения объема заказа по формуле Уилсона, равное 71 шт. и избранного в задаче по правилу оптимального размера заказа, который равен точке разрыва цены $Qp_1 = 500$ шт. Но при выборе значения $EOQ_{\text{расч}}$, как оптимального размера заказа, можно получить следующие преимущества. Для этого сравним рассчитанные показатели, полученные при применении классической модели управления запасами, которая учитывает скидки и этой же модели, разработанной с использованием теории комплексных переменных.

В задаче по правилу избрано значение $Qp_1 = 500$ шт., при котором значение совокупных затрат $TC = 5020$; при заданном значении интенсивности потребления запаса $F = 1000$ единиц в год, таких заказов нужно сделать 2 в год. То есть затраты на один год будут равняться:

$$TC_{EOQ} = 5020 * 2 = 10040$$

Если применять разработанную модель, то выбор размера партии будет $EOQ_{\text{расч}}$=2003 ед., при этом затраты будут равняться $TC = 8010$. Этого запаса хватит на 2 года при $F = 1000$ ед./год. Значение совокупных затрат на один год в данном случае будет равняться:

$$TC_{EOQ_{\text{расч}}} = 8010/2 = 4005$$

Таким образом, при заказе $EOQ_{\text{расч}}$ меньше чем за год инвестиции будут оправданы, так как затраты почти в 2,5 раза меньше расчетных на один год. Проведем исследование значений показателя Q при разных значениях показателя интенсивности потребления запаса F, то есть рассмотрим случаи, если спрос будет расти или падать. Полученные значения занесем в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Значение Q при разных F

F	EOQ	Q_1	Выбор по правилу	$EOQ_{\text{расч}}$	TC_{EOQ}	$TC_{EOQ_{\text{расч}}}$	TC (Qp_1)
100	22,36068	88,875	EOQ	251,9843	589,4427	1007,937	-
200	31,62278	156,5	EOQ	501,9921	1126,491	2007,968	-
300	38,72983	220,75	EOQ	602,4897	1654,919	2409,959	-
400	44,72136	285	EOQ	802,4922	2178,885	3209,969	-
500	50	342,75	EOQ	1002,494	2700	4009,975	-
600	54,77226	402	EOQ	1202,495	3219,089	4809,979	-
700	59,1608	460,5	EOQ	1402,496	3736,643	5609,982	-
800	63,24555	518,75	Qp1	1602,496	4252,982	6409,984	4216
900	67,08204	576,25	Qp1	1802,497	4768,328	7209,986	4618
1000	70,71068	633,5	Qp1	2002,497	5282,843	8009,988	5020
1100	74,16198	690,5	Qp1	2202,497	5796,648	8809,989	5422
1200	77,45967	747	Qp1	2402,497	6309,839	9609,99	5824
1300	80,62258	803,5	Qp1	2602,498	6822,49	10409,99	6226
1400	83,666	859	Qp1	2802,498	7334,664	11209,99	6628
1500	86,60254	917,75	Qp1	3002,498	7846,41	12009,99	7030
1600	89,44272	970,75	Qp1	3202,498	8357,771	12809,99	7432
1700	92,19544	1026,25	Qp1	3402,498	8868,782	13609,99	7834
1800	94,86833	1081,75	Qp1	3602,498	9379,473	14409,99	8236
1900	97,46794	1187	Qp1	3802,498	9889,872	15209,99	8638
2000	100	1199,25	Qp1	4002,498	10400	16009,99	9040

Проанализировав полученные значения показателей размера заказа Q и общей суммы затрат TC, можно сделать вывод о том, что во всех случаях значение Q, полученное по формуле $EOQ_{\text{расч}}$, является экономически более выгодным (по сравнению со значением Q, которое выбирается по классическому правилу).

2.4 Модификация модели с учетом ограничения по бюджету

При наличии у поставщика широкой номенклатуры продукции (товаров) возникает вопрос о возможности организовать одновременную поставку, состоящию из n номенклатур. Положительными сторонами объединения различных товаров в один заказ могут являться:
- требование поставщика об увеличении суммарной стоимости заказа до некоторой предельной величины;
- полная загрузка имеющихся в наличии транспортных средств;
- ограничение количества отправлений и периодичности этих отправлений каждому покупателю;
- уменьшение затрат на оформление и организацию партий, поставляемых покупателю.

Мы хотим рассмотреть один из возможных подходов к решению задачи. Основное уравнение для суммарных затрат i-й номенклатуры можно записать в виде:

$$TC_i = \frac{D_i(VC_0 + VC_i)}{Q_i} + \frac{Q_i h_i}{2} \to \min \tag{2.26}$$

где D – спрос на продукт
VC_0 – затраты на реализацию одного заказа;
VC_i – затраты на реализацию i-го заказа;
Q_i – величина заказа для пополнения i-го запаса;
h_i – затраты на хранение i-го заказа;

Известно, что величину поставки с номером i можно определить по формуле:

$$Q_i = \tau_i \frac{D_i}{T} \tag{2.27}$$

где τ_i – период i-го заказа
T– продолжительность рассматриваемого периода.

При подстановке (2.27) в формулу (2.26) получим:

$$TC_i = T\frac{(VC_0 + VC_i)}{\tau_i} + \frac{\tau_i D_i h_i}{2T} \to \min \tag{2.28}$$

Очевидно, что при одновременной поставки n позиций, то есть при $\tau_i = \tau$, уравнение для суммарных затрат представляется в виде:

$$TC = \frac{T}{\tau}\sum_{i=0}^{n} VC_i + \frac{\tau}{2T}\sum_{i=1}^{n} D_i h_i \tag{2.29}$$

Для определения оптимального значения периодичности многономенклатурной поставки τ_0^* воспользумся стандартной процедурой, т. е. следует взять производную по τ и приравнять ее нулю:

$$\frac{dTC}{d\tau} = -\frac{T}{\tau^2}\sum_{i=0}^{n} VC_i + \sum_{i=1}^{n} \frac{D_i h_i}{2T} \tag{2.30}$$

Выражение для оптимальной периодичности получим из последнего уравния:

$$\tau_0^* = T\sqrt{\frac{2\sum_{i=0}^{n} VC_i}{\sum_{i=1}^{n} D_i h_i}} \tag{2.31}$$

Стоит найти и остальные показатели, которые характеризуют многономенклатурную поставку, такие как размер i-й поставки:

$$Q_i^* = \frac{D_i}{T}\tau_0^* = D_i\sqrt{\frac{2\sum_{i=0}^{n} VC_i}{\sum_{i=1}^{n} D_i h_i}} \tag{2.32}$$

$$\text{Количество поставок: } N^* = \frac{T}{\tau_0^*} \tag{2.33}$$

После подстановки τ_0^* в формулу (2.29) после преобразований можем найти выражение для минимальных суммарных затрат:

$$TC^* = \sqrt{2\sum_{i=0}^{n} VC_i \sum_{i=1}^{n} D_i h_i} \tag{2.34}$$

Рассмотрим вариант задачи, когда закупаются материальные ресурсы из нескольких источников и существуют ограничения на бюджет закупки.

На первом этапе производится рассчет оптимальных партий поставок s_{0i} для каждого i-му вида продукции $(i = 1, ...N)$ по классической формуле Харриса-Уилсона.

На втором этапе сравниваются затраты, связанные с запасами продукции и капиталом B, выделенном на приобретение продукции:

$$B \geqslant k \sum_{i=1}^{N} Q_{0i} U_{ni} \tag{2.35}$$

где k - коэффициент, введенный для учета неравномерности поступления i-ых видов продукции; $0 < k < 1$.

Если неравенство соблюдается, то поставки осуществляются в объемах, рассчитанных на первом этапе. Соответственно, переменные затраты на выполнение заказа и хранение при многопродуктовой поставке определяется по формуле

$$TC = \sum_{i=1}^{N} \sqrt{2 D_i R_{0i} U_{ni} f} \tag{2.36}$$

Третий этап, когда неравенство не соблюдается. Для расчета оптимальных значений s_{0i} применяется метод множителей Лагранжа.

В качестве критерия оптимизации принимается минимум общих переменных затрат TC, включающих затраты на выполнение заказов r и затраты на хранения запасов на складе h:

$$\begin{aligned} TC = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_i} \left(\frac{D_{ij}(R_{0ij} + VC_{ij})}{Q_{ij}} + \frac{Q_{ij} U_{nij} f}{2} \right) + \\ + z \left(B - k \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_i} Q_{ij} U_{nij} \right) \to \min \end{aligned} \tag{2.37}$$

где i - индекс, указывающий порядковый номер поставщика, $i = 1 \ldots m$
j - индекс, указывающий порядковый номер того типа продукции, который заказывается у поставщика, $j = 1 \ldots n$;
m - количество поставщиков;
n_i - количество типов продукции, которые заказываются у поставщика;

D_{ij} - спрос заказываемого продукта;

Q_{ij}- искомая величина заказа, ед.;

U_{nij} - цена за ед. продукции;

f - доля от цены TC_{nij}, которая приходится на затраты по хранению одной ед. продукции;

R_{0ij} - затраты на транспортировку (принимаются постоянными для партии);

VC_{ij} - составляющая затрат на выполнение заказа, которая зависит от объема складских операций при формировании заказа;

B - максимальный размер капитала, который предполагается вложить в запасы;

k - коэффициент, введенный для учета неодновременного заказа различных видов продукции, $0 < k \leqslant 1$;

z - неопределенный множитель Лагранжа. Для расчета z можно воспользоваться формулой

$$z = \frac{f - \left(\frac{k}{B}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i}\sqrt{2D_{ij}(R_{0ij}+VC_{ij})U_{nij}}\right)^2}{2k} \tag{2.38}$$

Параметры модели оптимального заказа в условиях финансовых ограничений и при наличии нескольких источников поставок могут быть найдены по следующим формулам:

Оптимальный размер заказа:

$$EOQ_{ij} = \sqrt{\frac{2D_{ij}(R_{0ij}+VC_{ij})}{U_{nij}(f-2kz)}} \tag{2.39}$$

Минимальные издержки:

$$TC = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i}\sqrt{\frac{2D_{ij}(R_{0ij}+VC_{ij})U_{nij}}{f-2kz}}(f-kz) \tag{2.40}$$

Количество заказов:

$$N_{ij} = \frac{D_{ij}}{EOQ_{ij}} \tag{2.41}$$

Общие издержки:

$$TC = B + \frac{f-kz}{f-2kz}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i}2(R_{0ij}+VC_{ij}) \tag{2.42}$$

Теперь рассмотрим вариант решения задачи, когда требуется организовать совместную отправку материальных ценностей от каждого поставщика в условиях ограничения на финансовые ресурсы.

Учет ограничения производится при помощи формулы:

$$\tau_i' = \frac{B\tau_i}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i} Q_{ij}U_{nij}} \tag{2.43}$$

где τ_i' - интервал между одновременными поставками n_i видов продукции от i-го поставщика.

Если $\tau_i' \geqslant \tau_i$ то параметры таких поставок рассчитываются по следующим формулам:

Количество заказов:

$$N_i = \frac{T}{\tau_i} \tag{2.44}$$

оптимальный размер заказа:

$$EOQ = D_{ij}\sqrt{\frac{2R_{0i} + \sum_{j=1}^{n_i} VC_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_i} D_{ij}VC_{ij}f}} \tag{2.45}$$

минимальные издержки:

$$TC_{\min} = \sum_{i=1}^{m}\sqrt{2\left(R_{0i} + \sum_{j=1}^{n_i} VC_{ij}\right)\left(\sum_{j=1}^{n_i} D_{ij}U_{nij}f\right)} \tag{2.46}$$

общие затраты:

$$TC = B + \sum_{i=1}^{m} 2\left(R_{0i} + \sum_{j=1}^{n_i} VC_{ij}\right) \tag{2.47}$$

Если $\tau_i' < \tau_i$, тогда в качестве расчетного периода принимается τ_i', и производится корректировка

оптимального размера заказа:

$$EOQ = \tau_i' \frac{D_j}{T} \tag{2.48}$$

числа поставок:

$$N = \frac{T'}{\tau_i'} \tag{2.49}$$

минимальных издержек:

$$TC_{\min} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{T}{\tau_i'} \left(R_{0i} + \sum_{j=1}^{n_i} VC_{ij} \right) + \frac{\tau_i'}{2T} \sum_{j=1}^{n_i} D_{ij} U_{nij} f \right) \tag{2.50}$$

общих затрат:

$$TC = B + \sum_{i=1}^{m} \frac{\sqrt{2\left(R_{0i} + \sum_{j=1}^{n_i} VC_{ij}\right)\left(\sum_{j=1}^{n_i} D_{ij} U_{nij} f\right)}}{N_i} \tag{2.51}$$

Таким образом, данная модель позволяет учитывать в спросе ограничения на бюджет.

Заключение

Расчеты оптимального размера заказа является ключевым вопросом в политике управления запасами. Для его решения уже почти сто лет используется модель « Харриса-Уилсона». Анализ этой модели позволяет сделать вывод о возможности ее широкого применения на практике для оптимизации затрат предприятия.

Модифицированная формула Харриса-Уилсона позволяет обосновать возможность создания уровня запаса (размера заказа), отличного от EOQ, без существенного изменения уровня общих затрат.

Кроме того, разработана модель, учитывающая скидки и имеющийся бюджет на пополнение запасов с учетом спроса на товар.

В работе построена модель управления запасами, которая учитывает скидки, с применением теории комплексных переменных, получены и проанализированы результаты использования модели.

Разработанная модель будет целесообразна для более оптовых заказов. Для использования модели можно выделить такие два основные условия:

1. Срок использования продукции, которая заказывается, не должен быть не кратким.
2. Складские возможности должны позволять предприятию сохранять довольно большие партии запасов.

Таким образом, поскольку финансовый успех предприятия в значительной мере зависит от рационального управления запасами, запасы необходимы почти любому предприятию для обеспечения беспрерывного и эффективного функционирования, то выбор правильной стратегии управления запасами является одной из главных задач руководителей организаций. Применение эффективной стратегии управления запасами даст возможность предприятию отыскать оптимальный уровень запасов и необходимый срок для заказа, а также увеличить прибыль.

Литература

[1] Алесинская Т. В. Учебное пособие по решению задач по курсу «Экономико-математические методы и модели» / Т.В. Алесинская. – Таганрог: ТРТУ, 2017. – 153 с.

[2] Баканов М. И. Теория экономического анализа / [М.И. Баканов, М.В. Мельник, А.Д. Шеремет]. – М.: Финансы и статистика, 2015. – 536 с.

[3] Ефимова О. В. Финансовый анализ: современный инструментарий для принятия экономических решений: [учебник] / О.В. Ефимова. – М.: Омега-Л, 2017. – 351 с.

[4] Ломкова Е. Н. Экономико-математические модели управления производством (теоретические аспекты): [учеб. пособие] / Е.Н. Ломкова, А.А. Эпов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2015. – 67 с.

[5] Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки; 5-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Лопатников. – М.: Дело, 2013. – 520 с.

[6] Новикова Н. В. Экономико-математические методы и модели: [конспект лекций] / Н.В. Новикова – Минск, 2018. – 46 с.

[7] Плоткин Б. К. Экономико-математические методы и модели в логистике: [учеб. пособие] / Б.К. Плоткин, Л.А. Делюкин. – СПб.: СПбГУЭФ, 2017. – 96 с.

[8] Стерлигова А.Н. Управление запасами в целях поставок. - М.: ИНФРА-М, 2018. – 320 с.

[9] Douglas M. Lambert, James R. Stock «Fundamentals of Logistics Management», McGraw-Hill, 1997

[10] Erlenkotter, D. «Ford Whitman Harris and the Economic Order Quantity Model», Management Science, №38, 37-46 (1990).

[11] Harris, Ford W. «How Many Parts To Make At Once» Factory, The Magazine of Management, №10 (2), 135-136, 152 (1913)

[12] Wilson, R.H. «A Scientific Routine for Stock Control» Harvard Business Review, №13, 116-128 (1934)

[13] Светуньков С.Г. Основы эконометрии комплексных переменных / С.Г. Светуньков. – СПб. : Изд-во СПбГУЭФ. – 2008. – 108 с. 2.

[14] Светуньков И.С. Использование комплексных переменных в теории производственных функций / И.С. Светуньков // Извес- тия Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов. – 2007. – № 4. 3.

[15] Светуньков И.С. Производственные функции комплексных переменных в экономическом анализе: автореф. дис. … к.э.н. : спец. 08.00.13 «Математические и инструментальные методы в экономике» / И.С. Светуньков // – Санкт-Петербург, – 2008. – 17 с

[16] Чорнорот Я. О. Побудова базової моделі управління запасами з використанням теорії комплексних чисел /Я. О. Чорнорот // Науковий вісник Херсонського державного універсітету. Серія «Економічні науки». – Херсон: Видавничий дім «Гельветика». – Вип. 11. – 2015. – С. 164-166.