

На правах рукописи

Грылева Ирина Валентиновна

**Модифицированные детерминированные и вероятностная модели  
управления материально-производственными запасами**

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата экономических наук

Санкт-Петербург - 2003

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: доктор экономических наук,  
профессор Некрасова Татьяна Петровна

Официальные оппоненты: доктор экономических наук,  
профессор Медников Михаил Дмитриевич

кандидат экономических наук,  
доцент Карпов Сергей Георгиевич

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2003г. в 14 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.229.23 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. III уч. корпус, ауд. 506

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «СПбГПУ».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2003г.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета  
кандидат экономических наук, доцент

Сулоева С.Б.

**Актуальность темы исследования.** Управление материальными запасами промышленных предприятий является важной народнохозяйственной задачей. Особенно важно оптимально организовать управление запасами материалоемких отраслей промышленности, таких как, например машиностроение и металлообработка, по данным статистики в этих отраслях сосредоточено 30÷35%% всех запасов промышленности.

Для того чтобы предприятие эффективно работало материальных запасов должно быть достаточно для обеспечения бесперебойности производственного процесса, и, в тоже время, на предприятии не должны скапливаться излишки запасаемых материалов. Накопление излишних материальных запасов приводит к следующим негативным последствиям:

- росту издержек содержания запасов предприятия;
- замораживанию капитала, который мог быть размещен в других сферах деловой активности и принести дополнительную прибыль;
- дефициту свободных денежных средств и, как следствие, невозможности рассчитаться по своим обязательствам.

Решать задачи обеспечения производственного процесса материалами в нужном количестве и с наименьшими затратами можно путем использования специально разработанных математических моделей. Разработке таких моделей уделено значительное внимание как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Однако, в силу уникальности ситуаций, складывающихся во внутренней и внешней средах каждого конкретного предприятия, невозможно предусмотреть в таких моделях все факторы, влияющие на размер издержек управления материальными запасами предприятия. Тем не менее, учет в существующих математических моделях управления запасами дополнительных факторов, влияющих на издержки, позволяет получать в процессе их использования более близкие к оптимальным значения параметров системы управления запасами. Приближение параметров системы управления запасами предприятия к оптимальным позволяет снизить издержки, высвободить связанный в излишних запасах капитал, и, при этом, обеспечить бесперебойность производственного процесса, в конечном итоге это приводит к повышению рентабельности предприятия. Поэтому тема диссертационного исследования является актуальной и практически значимой.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является разработка математических моделей и методов управления материальными запасами промышленных предприятий.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить факторы, которые необходимо учитывать при построении системы управления запасами промышленного предприятия;
- систематизировать категории издержек, относящихся к процессам создания и содержания материальных запасов промышленного предприятия;
- классифицировать существующие экономико-математические модели управления запасами;

- проанализировать достоинства и недостатки существующих математических моделей управления запасами и выявить пути их модификации с учетом условий внутренней и внешней среды российских промышленных предприятий;

- построить и проанализировать модифицированные (для случая дискретного скачкообразного роста стоимости запасаемых материалов) статическую и динамическую детерминированные модели размера партии;

- построить модифицированную с учетом возможности реализации нескольких поставок в плановом периоде статическую вероятностную модель управления запасами;

- осуществить экспериментальные расчеты по предложенным моделям на основе данных псковского предприятия ООО «ТЭСО Электромагнит»;

- разработать методику построения системы управления запасами машиностроительного предприятия с использованием математических моделей.

**Объектом исследования** являются процессы управления запасами материалов на промышленных предприятиях в условиях детерминированного и стохастического спроса на их продукцию.

**Предметом исследования** являются математические модели и методы управления материальными запасами.

**Теоретическую и методологическую основу исследования** составляют: труды отечественных и зарубежных ученых (Букана Дж., Глухова В. В., Дуболазова В.А., Кенигсберга Э., Кобзева В.В., Козловского В.А., Кузина Б. И., Медникова М. Д., Рыжикова Ю.И., Саковича В. А., Уайтина Т., Юрьева В.Н. и многих других), посвященные исследуемой проблеме.

Основными методами исследования являются экономико-математическое моделирование, системный анализ, теория управления запасами, динамическое программирование, теория вероятностей и математическая статистика.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Разработана модифицированная статическая детерминированная модель размера партии, отличающаяся возможностью учета случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости единицы закупаемых МПЗ и стоимости доставки.

2. Разработана модифицированная динамическая детерминированная модель размера партии, отличающаяся возможностью учета случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости единицы закупаемых МПЗ.

3. Разработана модифицированная статическая вероятностная модель управления запасами, отличающаяся от стандартной возможностью реализации нескольких поставок в плановом периоде, и нацеленная на отказ от дополнительного запаса, страхующего от колебаний спроса.

4. Предложена методика построения системы управления запасами машиностроительного предприятия с использованием математических моделей, особенностью методики является рассмотрение условий применения предлагаемых в диссертационной работе экономико-математических моделей.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что внедрение предлагаемых в работе методов и моделей позволит приблизить к оптимальным параметры системы управления запасами материалов промышленных предприятий. Это, в свою очередь, приведет к снижению затрат на создание и содержание материальных запасов предприятий, позволит высвободить связанный в излишних запасах капитал, повысить платежеспособность и рентабельность предприятий.

**На защиту выносятся:**

1. Модифицированная, для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости единицы запасаемых материалов и стоимости доставки, статическая детерминированная модель размера партии.

2. Аналитические зависимости экономии, возникающей при применении модифицированной (для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости запасов) статической детерминированной модели размера партии, от коэффициента увеличения стоимости доставки и от коэффициента увеличения стоимости единицы запасаемых материалов.

3. Модифицированная (для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости единицы запасаемых материалов) динамическая детерминированная модель размера партии.

4. Модифицированная с учетом возможности реализации нескольких поставок в плановом периоде статическая вероятностная модель управления запасами.

5. Методика построения системы управления запасами машиностроительного предприятия с использованием математических моделей.

**Апробация результатов исследования.** По теме диссертации автором опубликовано 5 печатных работ, общим объемом 1 п.л. Основные результаты исследования были представлены в докладах на четвертой и пятой международных научно – практических конференциях «Экономика, экология и общество России в 21-м столетии». Разработанные модели и методика построения системы управления запасами используются в деятельности псковского предприятия ОАО «Автоэлектроарматура».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 78 наименований, и приложения. Содержит 15 таблиц, 20 рисунков. Общий объем работы 134 страницы.

**Во введении** обосновывается актуальность темы, определяются цель и задачи исследования, излагаются методологические основы, научная новизна и практическая значимость проведенных исследований.

**В первой главе** «Анализ существующих в России и зарубежом экономико-математических моделей управления запасами промышленных предприятий» определяются факторы, которые необходимо учитывать при построении системы управления запасами промышленного предприятия. Систематизируются категории издержек, относящихся к процессам создания и содержания материальных запасов

промышленного предприятия. Классифицируются существующие математические модели управления запасами. Анализируются достоинства и недостатки этих моделей управления запасами и выявляются пути их модификации с учетом условий внутренней и внешней среды российских промышленных предприятий.

**Во второй главе** «Разработка модифицированных детерминированных и вероятностной моделей управления запасами» разработаны модифицированные (для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости закупаемых МПЗ) статическая и динамическая детерминированные модели размера партии. Разработана модифицированная с учетом возможности реализации нескольких поставок в плановом периоде статическая вероятностная модель размера партии, позволяющая снизить издержки создания и содержания запасов предприятия в условиях статической вероятностной интенсивности их расходования. По предлагаемым моделям осуществлены экспериментальные расчеты на базе данных регистров бухгалтерского учета и регистров учета МПЗ предприятия ООО «ТЭСО Электромагнит». Проведен анализ полученных результатов. Определены области использования предлагаемых моделей.

**В третьей главе** «Методика разработки системы управления запасами машиностроительного предприятия с использованием математических моделей» предлагается методика, позволяющая на базе ABC-анализа, а также существующих и предлагаемых в диссертации математических моделей управления запасами (в дальнейшем УЗ) построить на предприятиях машиностроения и металлообработки систему УЗ.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты работы.

## **Основное содержание диссертации**

### **1. Существующие экономико – математические модели управления запасами промышленных предприятий.**

Существующие математические модели УЗ могут быть разделены на 4 основные группы: статические детерминированные, динамические детерминированные, статические вероятностные, динамические вероятностные.

Среди представленных в литературе модифицированных статических и динамических детерминированных моделей УЗ отсутствуют модели, учитывающие возможность дискретного скачкообразного увеличения стоимости закупаемых МПЗ. Однако, как показывает история мировой и, в том числе, российской экономики, такие прогнозируемые скачкообразные увеличения цен вполне возможны. Одним из примеров такого ценового скачка является кризис 1998 года в России. В случае, если предприятие в процессе управления МПЗ не будет учитывать такие изменения, оно может потерпеть серьезные финансовые потери. Следовательно, необходимо разработать модифицированные статическую и динамическую детерминированные модели размера партии для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости запасаемой продукции.

Рассмотрено два вида статических вероятностных моделей размера партии: стандартная модель и модель страхового запаса.

Стандартная статическая вероятностная модель размера партии предназначена для расчета оптимальной величины сезонного запаса и предполагает однократное пополнение запаса в начале сезона. На промышленных предприятиях она применима только для расчета оптимального размера запаса на время сезонного перерыва в поставке материалов.

Модель страхового запаса позволяет реализовывать несколько поставок в течение планового периода, однако, при ее использовании возникает необходимость содержания излишков МПЗ.

Из анализа достоинств и недостатков стандартной статической вероятностной модели и модели страхового запаса сделан вывод о необходимости разработки целостной модели, учитывающей все возможности снижения издержек создания и содержания запасов при вероятностном спросе. Такая модель может быть разработана путем модификации стандартной статической вероятностной модели размера партии с учетом затрат на доставку и возможности реализации нескольких поставок в плановом периоде.

## **2. Модифицированная для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости запасов статическая детерминированная модель УЗ.**

В стандартной статической детерминированной модели управления запасами оптимальный с точки зрения минимизации издержек размер партии на пополнение запаса определяется с помощью формулы:

$$Q^* = \sqrt{2 \cdot D \cdot \frac{P}{I \cdot C}} \quad (1)$$

где  $D$  – интенсивность расходования запасаемого материала в единицу времени,  $P$  – затраты на доставку партии запаса,  $I$  – издержки хранения в единицу времени на единицу капитала, вложенного в запасы,  $C$  – стоимость единицы запасаемого продукта.

Время между поступлениями партий на пополнение запаса (длина цикла) равно  $T_{ц} = Q/D$ .

В предлагаемой в диссертационной работе модифицированной модели рассматривается ситуация, когда в ближайшем будущем прогнозируется существенное резкое увеличение стоимости закупаемых МПЗ и стоимости доставки. В этом случае промышленному предприятию выгодно перед таким увеличением закупить большую партию материалов. Ее оптимальный с точки зрения минимизации издержек УЗ в плановом периоде размер определяется по формуле:

$$Q^*_1 = \frac{D \cdot C_2}{I \cdot C_1} + \frac{\sqrt{2 \cdot D \cdot C_2 \cdot P_2}}{C_1 \cdot \sqrt{I}} - \frac{D}{I} \quad (2)$$

при ограничении  $0 \leq Q_1^* \leq T \cdot D$ ,

где  $C_1$  – цена единицы запасаемого материала до ее скачкообразного увеличения,  $P_1$  – стоимость доставки партии запасаемого материала до ее увеличения,  $C_2$  – новая цена единицы запасаемого материала,  $P_2$  – новая стоимость доставки.

Если значение  $Q_1^*$ , найденное из формулы (2), оказывается больше, чем  $T \cdot D$ , то перед увеличением стоимости закупается партия, равная потребности всего планового периода, поскольку предполагается, что предприятие не имеет сведений о том, какой будет интенсивность расходования материала по истечении планового периода.

Применение формулы (2) позволяет промышленному предприятию избежать убытков от прогнозируемого скачкообразного увеличения стоимости используемых им материалов.

### 3. Анализ модифицированной статической детерминированной модели УЗ.

Аналитическая взаимосвязь экономии, возникающей при применении формулы (2) от коэффициента увеличения стоимости доставки (при неизменной стоимости единицы запасаемого материала) выглядит следующим образом:

$$ИО_1 - ИО_2 = P_1 \cdot (1 - \sqrt{\mathfrak{Z}_1})^2 \quad (3.1)$$

где  $ИО_1$  – общие издержки создания и содержания запаса, возникающие при использовании стандартной модели,  $ИО_2$  – общие издержки возникающие при применении модифицированной модели,  $\mathfrak{Z}_1$  – коэффициент, показывающий во сколько раз увеличилась стоимость доставки.

Из анализа выражения (3.1) сделан вывод о том, что применение формулы (2) при увеличении только стоимости доставки и неизменной стоимости единицы закупаемых МПЗ нецелесообразно.

Аналитическая взаимосвязь экономии, возникающей при применении формулы (2) от коэффициента увеличения стоимости единицы закупаемых МПЗ (при неизменной стоимости доставки) выглядит следующим образом:

$$ИО_1 - ИО_2 = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot \frac{D}{I} \cdot (\mathfrak{Z}_2 - 1)^2 + (1 - \mathfrak{Z}_2) \cdot (1 - \sqrt{\mathfrak{Z}_2}) \cdot C_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot P}{I \cdot C_1}} + P \cdot (1 - \sqrt{\mathfrak{Z}_2})^2, \quad (3.2)$$

где  $\mathfrak{Z}_2$  – коэффициент, показывающий во сколько раз увеличилась стоимость единицы МПЗ.

Относительная экономия на издержках равна:

$$(ИО_1 - ИО_2) / ИО_1 \quad (3.3)$$

Поскольку  $\mathfrak{Z}_2 > 1$ , все слагаемые в формуле (3.2) являются положительными, следовательно, применение формулы (2) в случае прогнозируемого скачкообразного увеличения стоимости единицы закупаемых МПЗ оказывается целесообразным. Скачкообразное увеличение затрат на доставку в расчетах можно не учитывать, поскольку это не даст существенной экономии на издержках УЗ.

Кроме того, из анализа формулы (3.2) и выражения для расчета общих издержек  $ИО_1$ , в диссертационном исследовании сделан вывод о том, что при значении  $\mathfrak{Z}_2 < 2$ , изменение какого-либо другого параметра, используемого для расчета значения (3.3), приводит к незначительному изменению конечного результата. Значение коэффициента увеличения стоимости единицы запасаемого материала превышающее два встречается нечасто, при таком возрастании стоимости применение модифицированной модели для наиболее дорогостоящих материально-

производственных запасов всегда целесообразно. Таким образом, проанализировав экономию от применения модифицированной модели для одного конкретного примера, можно сделать вывод о целесообразности ее применения и в других случаях.

Рассматривается, какую экономию может дать использование формулы (2) в условиях прогнозируемого резкого увеличения стоимости единицы запасаемого материала при различных значениях коэффициента  $\mathfrak{Z}_2$ .

Псковскому предприятию ООО «ТЭСО Электромагнит» для производства электромагнита МЭГ –160С требуется 1200 килограммов медной ленты в месяц по цене 75 рублей за один килограмм. Стоимость доставки партии ленты составляет 600 рублей. На каждый рубль, вложенный в запас медной ленты, приходится 0,1 рубля издержек хранения в месяц.

Продолжительность планового периода предполагается равной одному году. Рассматривается годовая экономия от применения формулы (2) для определения размера запаса, который необходимо сделать перед прогнозируемым скачкообразным увеличением стоимости одного килограмма медной ленты при различных значениях  $\mathfrak{Z}_2$ .

Таблица 1

$\mathfrak{Z}_2$	$C_2$ , руб.	$Q_1^*$ , кг рассчитанный по формуле (1)	$Q_1^*$ , кг рассчитанный по формуле (2)	ИО <sub>1</sub> , руб.	ИО <sub>2</sub> , руб.	Экономия от применения формулы (2)
1.2	90	438.178	2880	1332512.80	1313880.00	1.40%
1.3	97.5	438.178	4099.6	1438936.77	1397042.99	2.91%
1.4	105	438.178	5318.459	1545296.13	1470867.56	4.82%
1.5	112.5	438.178	6536.656	1651597.70	1535374.46	7.04%
1.6	120	438.178	7754.256	1757847.16	1590581.53	9.52%
1.7	127.5	438.178	8971.314	1864049.33	1636504.29	12.21%
1.8	135	438.178	10187.878	1970208.33	1673156.33	15.08%
1.9	142.5	438.178	11403.987	2076327.71	1700549.70	18.10%
2	150	438.178	12619.677	2182410.55	1718695.16	21.25%

Как видно из таблицы 1 для рассматриваемого примера применение при расчете оптимального размера партии формулы (2) вместо (1) целесообразно уже при скачкообразном увеличении стоимости одного килограмма медной ленты на 20%.

#### 4. Модифицированная для случая дискретного скачкообразного увеличения стоимости запасов динамическая детерминированная модель УЗ.

В базовой динамической детерминированной модели УЗ с постоянной периодичностью поставок оптимальное количество поставок на пополнение в плановом периоде рассчитывается при помощи следующего неравенства:

$$\sum_{n=1}^N D\left(n \cdot \frac{T}{N}\right) \cdot \frac{T}{N} - \sum_{n=1}^{N+1} D\left(n \cdot \frac{T}{N+1}\right) \cdot \frac{T}{N+1} \leq \frac{P}{I \cdot C} \leq \sum_{n=1}^{N-1} D\left(n \cdot \frac{T}{N-1}\right) \cdot \frac{T}{N-1} - \sum_{n=1}^N D\left(n \cdot \frac{T}{N}\right) \cdot \frac{T}{N}, \quad (4)$$

где  $N$  – количество поставок на пополнение (искомая величина),  $T$  – продолжительность планового периода,  $D(t)$  – накопленный от момента начала планового периода к моменту времени  $t$  спрос на материал.

Оптимальный размер каждой партии поставки определяется по формуле:

$$Q_n = \int_{t_{n-1}}^{t_n} D(\tau) d\tau = D(t_n) - D(t_{n-1}) = D\left(n \cdot \frac{T}{N}\right) - D\left((n-1) \cdot \frac{T}{N}\right), n = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где  $D(\tau)$  – функциональная зависимость интенсивности спроса от времени.

Общие издержки управления запасами за весь плановый период, продолжительностью  $T$  определяются по формуле:

$$ИО_T = C \cdot D(T) + N \cdot P + I \cdot C \cdot \sum_{n=1}^N \int_{(n-1) \cdot \frac{T}{N}}^{\frac{T}{N}} \left( D\left(n \cdot \frac{T}{N}\right) \right) dt - I \cdot C \cdot \int_0^T D(t) dt. \quad (6)$$

В предлагаемой в диссертационной работе модифицированной динамической детерминированной модели, как и в случае с модифицированной статической моделью, необходимо определить оптимальный размер партии материала, который необходимо закупить перед увеличением стоимости единицы закупаемых МПЗ. Для этого первоначально определяется оптимальная продолжительность периода расходования этой партии запаса  $T_1$ .

Общие издержки создания и содержания запаса за этот период в соответствии с (6) будут равны:

$$И_1 = C_1 \cdot D(T_1) + P + I \cdot C_1 \cdot D(T_1) \cdot T_1 - I \cdot C_1 \cdot \int_0^{T_1} D(t) dt.$$

После того как будет полностью израсходована партия, закупленная перед увеличением стоимости единицы МПЗ, поставки на пополнение будут осуществляться через равные промежутки времени, продолжительностью  $T_{ц}$ . Общая продолжительность второй части планового периода будет равна  $T_2 = T - T_1$ .

Продолжительность каждого цикла внутри второй части планового периода может быть рассчитана следующим образом: при помощи неравенства (4) находится оптимальное количество поставок за весь плановый период  $T$  при новой цене единицы запасаемого материала  $C_2 = C_1 \cdot \mathfrak{S}_2$ , затем  $T_{ц}$  определяется как отношение  $\frac{T}{N}$ . Всего за вторую часть планового периода будет сделано  $\frac{T - T_1}{T_{ц}}$  поставок.

Поскольку  $T_{ц} = \frac{T}{N}$ , количество поставок за вторую часть планового периода может быть выражено как  $\frac{T - T_1}{T} \cdot N$ .

Общие издержки создания и содержания запаса во второй части планового периода в соответствии с (6) будут равны:

$$\begin{aligned}
I_2 = & C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot D(T) - C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot D(T_1) + \frac{T - T_1}{T} \cdot N \cdot P + \\
& + I \cdot C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot \frac{T}{N} \cdot \sum_{n=1}^{\frac{T-T_1}{N}} D\left(\frac{n \cdot T + N \cdot T_1}{N}\right) - I \cdot C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot \int_{T_1}^T D(t) dt.
\end{aligned}$$

Общие суммарные издержки создания и содержания запаса за весь плановый период будут равны:

$$\begin{aligned}
\text{ИО} = I_1 + I_2 = & C_1 \cdot D(T_1) + P + I \cdot C_1 \cdot D(T_1) \cdot T_1 - I \cdot C_1 \cdot \int_0^{T_1} D(t) dt + C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot D(T) - C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot D(T_1) + \\
& + \frac{T - T_1}{T} \cdot N \cdot P + I \cdot C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot \frac{T}{N} \cdot \sum_{n=1}^{\frac{T-T_1}{N}} D\left(\frac{n \cdot T + N \cdot T_1}{N}\right) - I \cdot C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot \int_{T_1}^T D(t) dt.
\end{aligned}$$

Продолжительность первой части планового периода будет оптимальной ( $T_1 = T_1^*$ ) при  $\frac{d}{dT_1} \text{ИО} = 0$ .

То есть может быть найдена при помощи следующего уравнения:

$$\begin{aligned}
& D(T_1^*) \cdot C_1 \cdot (1 - \mathfrak{Z}_2) + I \cdot C_1 \cdot D(T_1^*) \cdot T_1^* - \frac{N \cdot P}{T} + \\
& + I \cdot C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot \frac{T}{N} \cdot \frac{d}{dT_1^*} \left[ \sum_{n=1}^{\frac{T-T_1^*}{N}} D\left(\frac{n \cdot T + N \cdot T_1^*}{N}\right) \right] + I \cdot C_1 \cdot \mathfrak{Z}_2 \cdot D(T_1^*) = 0, \quad (7)
\end{aligned}$$

с ограничением  $0 \leq T_1^* \leq T$ .

После того как найдена оптимальная продолжительность периода расходования партии, закупленной перед увеличением стоимости МПЗ, по формуле (5) находится ее оптимальный размер:  $Q_1^* = D(T_1^*) - D(0) = D(T_1^*)$ .

Применение представленной модифицированной динамической детерминированной модели УЗ позволяет предприятию определить оптимальный размер партии материала, который необходимо закупить перед прогнозируемым увеличением стоимости используемых в работе предприятия материалов.

На примере запаса провода предприятия ТЭСО «Электромагнит» рассматривается, какую экономию может дать использование уравнения (7) в условиях прогнозируемого скачкообразного увеличения стоимости единицы запасаемого материала при динамическом детерминированном спросе на этот материал.

Для производства электромагнита МЭГ-120С, а также для ремонта электромагнитов М-42, М-62 предприятием используется провод ПСДТ 2.5×5.6. В соответствии с имеющимися договорами на производство и ремонт электромагнитов на предприятии разрабатывается план полугодовой потребности в материалах. Согласно этому плану недельная потребность предприятия в проводе ПСДТ на протяжении полугода возрастает еженедельно на 19 кг с 328 кг/нед.

Таким образом, зависимость интенсивности расходования провода от времени выглядит следующим образом:  $D(\tau) = 328 + 19 \cdot \tau$  (кг/нед.). Стоимость одного килограмма провода составляет 71 рубль ( $C_1=71$  руб./кг). Доставка партии провода грузовым автомобилем обходится предприятию в 1430 рублей ( $P=1430$  руб.). На каждый рубль, вложенный в запас провода, приходится 0.025 рубля издержек хранения в неделю ( $I=0.025$  1/нед.). Продолжительность планового периода составляет 26 недель ( $T=26$  нед.). Рассматривается полугодовая экономия от применения уравнения (7).

Таблица 2

$\Xi_2$	$C_2$ , руб.	$T_1$ , нед.	$ИО_1$ , руб.	$ИО_2$ , руб.	Экономия от применения уравнения (7)
1.1	78.1	6	1214404.02	1188299.83	2.1%
1.2	85.2	10	1322606.02	1265015.98	4.4%
1.3	92.3	14	1430737.78	1342123.37	6.2%
1.4	99.4	18	1538810.50	1418978.17	7.8%
1.5	106.5	22	1646784.82	1394302.07	15.3%
1.6	113.6	26	1754715.28	1457247.13	17.1%

Как видно из таблицы 2, для рассматриваемого примера закупка большей партии перед увеличением стоимости провода целесообразна уже при ее десятипроцентном скачкообразном увеличении.

Проведенный анализ экономии от применения предлагаемой модифицированной динамической детерминированной модели УЗ при различных значениях параметров, входящих в уравнение (7), показал следующие результаты:

экономия, возникающая при применении модифицированной динамической детерминированной модели размера партии, зависит, главным образом, от коэффициента увеличения стоимости единицы запасаемого материала, и, в меньшей степени от других параметров;

экономия от применения предлагаемой модифицированной динамической детерминированной модели оказывается тем выше, чем ближе значение оптимальной продолжительности периода расходования партии, закупленной перед увеличением стоимости ( $T_1^*$ ), к полной продолжительности планового периода ( $T$ ).

### **5. Модифицированная статическая вероятностная модель УЗ, учитывающая возможность реализации нескольких поставок в плановом периоде.**

В стандартной статической вероятностной модели УЗ определяется оптимальный размер сезонного запаса. Возможность реализации нескольких поставок не предусмотрена.

В модели страхового запаса реализация нескольких поставок в плановом периоде предусматривается, однако, возникает необходимость содержания излишков МПЗ.

В предлагаемой в диссертационной работе модифицированной статической вероятностной модели УЗ оптимальный размер партии и оптимальная периодичность поставок определяется следующим образом:

Пусть  $D$  – случайная величина, обозначающая интенсивность спроса в плановом периоде  $T$ ,  $f(D)$  – закон распределения вероятностей для интенсивности спроса. Необходимо определить оптимальный размер партии поставки данного вида запаса  $Q$  и оптимальную длину цикла  $T_{ц}$  (время между поставками). В отличие от ситуации детерминированного спроса длина цикла  $T_{ц}$  не всегда будет равна  $Q/D$ , в силу того, что спрос носит случайный характер. Здесь возможны две ситуации:

Ситуация первая:  $D > Q/T_{ц}$ . В этом случае средняя величина запаса в течение цикла равна  $Q/2$ , а время его хранения  $T_{ц1} = Q/D$ . Средний объем неудовлетворенных требований за цикл равен  $(D \cdot T_{ц} - Q)/2$ , время существования дефицита запасаемого продукта в цикле составляет  $T_{ц2} = (D \cdot T_{ц} - Q)/D$ . Общая продолжительность цикла:  $T_{ц} = T_{ц1} + T_{ц2}$ .

Ситуация вторая:  $D \leq Q/T_{ц}$ . Средняя величина запаса за цикл составит  $\frac{D \cdot T_{ц}}{2} + (Q - D \cdot T_{ц}) = Q - \frac{D \cdot T_{ц}}{2}$ , а время его хранения будет равно  $T_{ц}$ . Излишки запасаемого материала не переходят на следующий цикл, так как в случае, если расход за период между подачами заказа на пополнение меньше размера партии  $Q$  на величину  $\Delta$ , то следующий заказ подается на величину  $Q - \Delta$ .

Издержки создания запаса за цикл будут равны:  $ИС_{2ц} = P$ , где  $P$  – затраты на доставку. За плановый период  $T$  будет иметь место  $T/T_{ц}$  циклов. С учетом двух рассмотренных случаев математическое ожидание средних по времени общих издержек за весь плановый период будет равно:

$$M[ИО_{cp}(Q, D)] = \frac{P}{T_{ц}} + \frac{I \cdot C}{T_{ц}} \cdot \int_0^{Q/T_{ц}} T_{ц} \cdot \left( Q - \frac{D \cdot T_{ц}}{2} \right) f(D) dD + \frac{1}{2} \cdot \frac{I \cdot C}{T_{ц}} \cdot \int_{Q/T_{ц}}^{+\infty} \frac{Q^2}{D} f(D) dD + \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{T_{ц}} \cdot \int_{Q/T_{ц}}^{+\infty} \frac{(D \cdot T_{ц} - Q)^2}{D} f(D) dD, \quad (8)$$

где  $g$  – издержки, вызванные отсутствием одной единицы запаса в единицу времени. При оптимальных значениях  $Q=Q^*$  и  $T_{ц}=T_{ц}^*$  частные производные  $M[ИО_{cp}(Q, D)]$  по  $Q$  и по  $T_{ц}$  равны нулю. В результате получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} (I \cdot C + g) \cdot \int_0^{Q^*/T_{ц}^*} f(D) dD + \frac{(I \cdot C + g) \cdot Q^*}{T_{ц}^*} \cdot \int_{Q^*/T_{ц}^*}^{+\infty} \frac{f(D)}{D} - g = 0 \\ -\frac{P}{T_{ц}^{*2}} - \frac{1}{2} \cdot I \cdot C \cdot \int_0^{Q^*/T_{ц}^*} D \cdot f(D) dD - \frac{1}{2} \cdot \frac{(I \cdot C + g) \cdot Q^{*2}}{T_{ц}^{*2}} \cdot \int_{Q^*/T_{ц}^*}^{+\infty} \frac{f(D)}{D} dD + \\ + \frac{1}{2} \cdot g \cdot \int_{Q^*/T_{ц}^*}^{+\infty} D \cdot f(D) dD = 0. \end{cases} \quad (9)$$

При ограничениях  $Q^* > 0$ ,  $T_{ц}^* > 0$ .

Из полученных пар корней системы уравнений (9), удовлетворяющих ограничениям, выбираются такие значения  $Q^*$ ,  $T_{ц}^*$ , при которых выражение (8) принимает минимальное значение.

Использование полученной системы уравнений в процессе управления запасами промышленного предприятия в условиях статического вероятностного спроса позволяет сократить общие издержки создания и содержания запасов.

Рассматривается, какую экономию может дать использование предлагаемой модифицированной статической вероятностной модели управления запасами в сравнении с моделью страхового запаса при управлении запасом лака на предприятии ТЭСО «Электромагнит».

Для производства всего ассортимента электромагнитов, а также для их ремонта предприятие использует лак КО – 916К. Стоимость одного килограмма лака составляет 131 рубль. Доставка партии лака грузовым автомобилем обходится предприятию в 1430 рублей. На каждый рубль, вложенный в запас лака приходится 0.025 рубля издержек хранения в неделю.

Поскольку, отсутствие одного килограмма лака в течение недели приведет к остановке производства на эту неделю, издержки дефицита равны тем постоянным затратам, которые предприятие будет в течение этой недели нести  $g = 61797$  руб./кг·нед. Интенсивность расходования лака признана нормально распределенной случайной величиной с параметрами:

$$\bar{D} = 52.7 \text{ кг/нед.} \quad \sigma = 11 \text{ кг/нед.}$$

Расчет показал, что при применении системы уравнений (8), для управления запасом лака предприятия ООО ТЭСО «Электромагнит», математическое ожидание средненедельных общих издержек УЗ оказывается на 35% ниже, чем при применении модели страхового запаса.

Кроме того, в диссертационном исследовании проведен расчет зависимости изменения оптимального размера партии  $Q^*$  и оптимальной периодичности поставок  $T_{ц}^*$  от изменения коэффициента пропорциональности издержек  $I$  при различных значениях параметров закона распределения вероятностей интенсивности расходования лака, и различных значениях величины издержек дефицита. (таблицы 3.1, 3.2, 3.3).

$$\bar{D} = 52.7 \text{ кг/нед.} \quad \sigma = 11 \text{ кг/нед.} \quad g = 61797 \text{ руб./кг·нед.}$$

Таблица 3.1

$I$ , 1/нед.	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2	0.225	0.25
$Q^*$ , кг	229.25	159.773	129.49	111.555	99.37	90.485	83.554	77.951	73.315	69.464
$T_{ц}^*$ , нед.	2.687	1.922	1.583	1.38	1.241	1.139	1.059	0.994	0.94	0.895

$$\bar{D} = 105.4 \text{ кг/нед.} \quad \sigma = 22 \text{ кг/нед.} \quad g = 61797 \text{ руб./кг·нед.}$$

Таблица 3.2

$I$ , 1/нед.	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2	0.225	0.25
$Q^*$ , кг	324.205	225.943	183.071	157.796	140.613	127.898	118.193	110.262	103.736	98.26
$T_{ц}^*$ , нед.	1.9	1.359	1.119	0.976	0.878	0.805	0.749	0.703	0.665	0.633

$$\bar{D} = 52.7 \text{ кг/нед.} \quad \sigma = 11 \text{ кг/нед.} \quad g = 1000 \text{ руб./кг}\cdot\text{нед.}$$

Таблица 3.3

I, 1/нед.	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2	0.225	0.25
Q*, кг	212.168	147.405	119.295	102.461	97.98	82.623	76.087	70.841	66.502	62.841
T <sub>ц</sub> *, нед.	3.018	2.198	1.834	1.613	1.561	1.349	1.261	1.19	1.131	1.081

Из анализа таблиц 3.1, 3.2, 3.3 можно сделать вывод, что чем дороже предприятию обходится хранение материала, тем меньшими партиями и через меньшие промежутки времени он должен закупаться.

### **6. Методика разработки системы УЗ машиностроительного предприятия.**

Разработка системы управления запасами на предприятиях машиностроения и металлообработки начинается с проведения ABC – анализа.

В классическом ABC – анализе разделение запасов на группы осуществляется в зависимости от их стоимости. В предлагаемой методике разделение осуществляется в зависимости от их доли в материальной себестоимости готовой продукции.

Для всех запасов групп А и В используется система управления с непрерывной проверкой их фактического уровня.

Запасы группы А, используемые только в продукции, объем производства которой планируется полностью на основании заранее заключаемых договоров, относятся к подгруппе детерминированной интенсивности расходования. Остальные запасы группы А относятся к подгруппе стохастической интенсивности расходования. В подгруппе детерминированного спроса группы А выделяются запасы со статической и динамической интенсивностью расходования.

При разработке системы управления запасами группы А подгруппы статической детерминированной интенсивности расходования используются следующие математические модели:

- в случае, если рост стоимости запасов составляет менее 7% в месяц и в плановом периоде не прогнозируется скачкообразного увеличения стоимости запасаемых материалов на 20% и более используется статическая детерминированная модель размера партии. При необходимости в модель вводятся дополнительные ограничения;

- в случае, если рост стоимости закупаемых МПЗ составляет 7% в месяц и более, используется статическая детерминированная модель размера партии, учитывающая влияние инфляции;

- в случае, если в плановом периоде ожидается скачкообразное увеличение стоимости запасаемых материалов на 20% и более, используется модифицированная для случая скачкообразного увеличения стоимости запасов статическая детерминированная модель размера партии. Модель не может применяться, если у предприятия нет условий для хранения увеличившегося размера партии, а затраты на создание таких условий превысят экономию от применения модели, рассчитанную по формуле (3.2).

При разработке системы управления запасами группы А подгруппы динамической детерминированной интенсивности расходования рекомендуется использовать:

- динамическую детерминированную модель размера партии с переменной периодичностью поставок на пополнение, в случае, если в плановом периоде не ожидается скачкообразного увеличения стоимости закупаемых МПЗ на 20% и более. Модель не может применяться, если у предприятия нет условий для хранения увеличившегося размера партии, а затраты на создание таких условий превысят экономию от применения модели;
- модифицированную для случая скачкообразного увеличения стоимости запасов динамическую детерминированную модель размера партии с постоянной периодичностью поставок на пополнение, в случае, если скачкообразное увеличение стоимости в плановом периоде ожидается.

Запасы группы А подгруппы стохастического спроса разделяются на те, интенсивность расходования которых носит статический характер, и, те интенсивность расходования которых носит динамический характер. При разработке системы управления ассортиментными позициями материалов группы А подгруппы статической вероятностной интенсивности расходования используется модифицированная с учетом возможности реализации нескольких поставок в плановом периоде статическая вероятностная модель управления запасами. При разработке системы управления ассортиментными позициями материалов группы А подгруппы динамической вероятностной интенсивности расходования используется трендовая модель размера партии.

Запасы группы В также, как и запасы группы А разделяются на 4 подгруппы: статической детерминированной, динамической детерминированной, статической вероятностной и динамической вероятностной интенсивностей расходования. Для управления запасами группы В подгруппы статической детерминированной интенсивности расходования используются следующие математические модели:

- в случае, если в плановом периоде не ожидается скачкообразного увеличения стоимости единицы запасаемого материала на 100% и более, используется стандартная статическая детерминированная модель размера партии;
- в случае, если такое увеличение ожидается, используется модифицированная для случая скачкообразного увеличения стоимости запасов статическая детерминированная модель размера партии. Модель не может применяться, если у предприятия нет условий для хранения увеличившегося размера партии, а затраты на создание таких условий превысят экономию от применения модели, рассчитанную по формуле (3).

Для управления запасами группы В подгруппы динамической детерминированной интенсивности расходования рекомендуется использовать:

- динамическую детерминированную модель размера партии с постоянной периодичностью поставок на пополнение, в случае, если не ожидается скачкообразного увеличения стоимости единицы запасаемого материала на 80% и более. Модель не может применяться, если у предприятия нет условий для хранения

увеличившегося размера партии, а затраты на создание таких условий превысят экономию от применения модели;

- модифицированную для случая скачкообразного увеличения стоимости запасов динамическую детерминированную модель размера партии с постоянной периодичностью поставок на пополнение, в случае, если скачкообразное увеличение стоимости в плановом периоде ожидается.

При управлении запасами подгруппы статической вероятностной интенсивности расходования группы В используется модель страхового запаса. При управлении запасами подгруппы динамической вероятностной интенсивности расходования используется трендовая модель размера партии.

При разработке системы управления запасами групп А, В необходимо создать небольшой страховой запас, чтобы предотвратить остановку производства в случае отсутствия используемого материала на национальном, или региональном рынках. Его размер и периодичность обновления определяются каждым предприятием индивидуально.

Для запасов группы С используется система управления с периодической проверкой их фактического уровня.

Запасы группы С целесообразно разделять на подгруппы по видам спроса, поскольку они составляют лишь 5% материальной себестоимости готовой продукции предприятия. Для всех ассортиментных позиций этой группы используется единая система управления, основной задачей которой является обеспечение постоянного наличия запасов.

1) Исходя из заключенных на плановый период договоров на поставку готовой продукции определяется, какое количество каждой ассортиментной позиции запасов группы С будет требоваться в каждом месяце планового периода  $(D_{1\text{дог}}, D_{2\text{дог}}, \dots, D_{n\text{дог}}, \dots, D_{N\text{дог}})$ ,  $n=1, N$  - порядковый номер месяца.

2) На основе данных предшествующего периода о производстве продукции, определяется, какое максимальное количество каждой ассортиментной позиции запасов группы С в месяц может потребоваться для производства продукции помимо договорной  $(D_{\text{max}})$ .

3) Уровни, до которых в каждом месяце планового периода должен пополняться запас, определяются следующим образом:

$$Q_1=(D_{1\text{дог}}+D_{\text{max}})\cdot 1.2$$

$$Q_2=(D_{2\text{дог}}+D_{\text{max}})\cdot 1.2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$Q_n=(D_{n\text{дог}}+D_{\text{max}})\cdot 1.2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$Q_N=(D_{N\text{дог}}+D_{\text{max}})\cdot 1.2.$$

## Основные выводы и результаты работы

1. Проанализированы достоинства и недостатки существующих математических моделей управления запасами и выявлены пути их модификации с учетом условий внутренней и внешней среды российских промышленных предприятий;

2. Разработаны и проанализированы модифицированные статическая и динамическая детерминированные модели размера партии, позволяющие рассчитать оптимальные параметры системы управления запасами предприятия в условиях дискретного скачкообразного роста стоимости запасаемых материалов, определены области использования этих моделей;

3. Разработана модифицированная с учетом возможности реализации нескольких поставок в плановом периоде статическая вероятностная модель управления запасами, позволяющая снизить издержки создания и содержания запасов предприятия в условиях статической вероятностной интенсивности их расходования, определена область использования модели;

4. По предложенным моделям на основе данных псковского предприятия ООО «ТЭСО Электромагнит» осуществлены экспериментальные расчеты, показывающие экономию от применения этих моделей по сравнению с базовыми;

5. Разработана методика построения системы управления запасами машиностроительного предприятия с использованием математических моделей.

Внедрение предлагаемых в диссертации математических моделей и методики построения системы управления запасами в практику работы промышленных предприятий позволит: снизить издержки создания и содержания запасов материалов, эффективнее распоряжаться оборотными средствами предприятия, высвободить связанный в излишних запасах капитал, повысить платежеспособность предприятия.

По теме диссертационного исследования опубликовано 5 печатных работ:

1. Грылева И. В. Проблемы разработки системы управления запасами промышленного предприятия. // Экономические реформы в России: Сборник трудов Международной практической конференции – С-Пб.: Нестор, 2001 г. – с. 264-265.

2. Грылева И.В. Вопросы применения некоторых моделей управления запасами при детерминированном спросе. // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии: Труды 4-й Международной научно – практической конференции – С-Пб.: Нестор, 2002 г. – том 4, с. 151-153.

3. Грылева И.В. Модель управления запасами при вероятностном спросе, учитывающая возможность реализации нескольких поставок в плановом периоде. // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии: Труды 5-й Международной научно – практической конференции – С-Пб.: Нестор, 2003 г. – том 4, с. 181-183.

4. Грылева И. В. Учет переменной стоимости запасаемой продукции в статической детерминированной модели управления запасами промышленного предприятия. // Современные аспекты экономики – С-Пб. – 2003 г. - №4 (32) – с. 74-80.

5. Грылева И.В. Модифицированная для случая дискретного увеличения стоимости запасов динамическая детерминированная модель размера партии. // Современные аспекты экономики – С-Пб – 2003 г. - № 17 (45) – с.150-152.