

На правах рукописи  
УДК 62-50:681.3

Калинин Николай Михайлович

**Разработка организационной системы управления запасами в  
условиях многономенклатурного производства**

Специальность 05.02.22–  
организация производства (машиностроение)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Москва-2009

Работа выполнена на кафедре «Компьютерные системы автоматизации производства» факультета робототехники и комплексной автоматизации Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Хоботов Евгений Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Васильев Михаил Николаевич  
кандидат технических наук, доцент  
Парамонова Татьяна Юрьевна

Ведущая организация: Институт машиноведения  
им. А.А. Благонравова РАН

Защита состоится \_\_\_\_\_ 2009 года в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.05 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Телефон для справок (499)267-0963

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2009 года

Учёный секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Силаева Л.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время проблемам управления запасами уделяется большое внимание. Это связано как с ростом производства продукции и усилением конкурентной борьбы, так и большими затратами, вызванными доставкой, хранением и обеспечением потребителей продукцией. Во многих случаях такие затраты удастся значительно сократить за счет более успешной организации процессов управления запасами.

Проблемам управления запасами посвящено значительное количество научных публикаций, разработано большое количество программных продуктов, связанных с автоматизацией работ в сфере создания и хранения запасов. Однако в имеющихся программных продуктах достаточно хорошо представлены методы учета товаров, но модели и методы управления запасами представлены слабо, либо отсутствуют вовсе. Подавляющее же большинство известных моделей управления запасами построено в предположении, что на складе хранится либо один тип продукции, либо несколько типов продукции, но они объединены в комплекты (в частности, для сборки изделий), либо считается, что запасами продукции разных типов можно управлять независимо. Однако в условиях работы машиностроительного предприятия на складах приходится хранить достаточно большое количество различных видов продукции.

Наличие большого количества наименований продукции в номенклатуре запасов машиностроительных предприятий представляет серьезнейшую проблему при разработке методов и алгоритмов управления запасами. Это связано с тем, что практически все известные методы оптимизации при таких размерностях, наличии общих ограничений, нелинейности целевых функций и при случайном характере изменения некоторых параметров и переменных не обеспечивают устойчивого и надежного определения оптимальных параметров управления запасами.

Поэтому задача, связанная с разработкой системы управления многопродуктовыми запасами в настоящее время представляется важной и актуальной, особенно для машиностроительных предприятий.

**Цель работы.** Целью данной работы является разработка организационной системы управления запасами в условиях многономенклатурного производства на основе предлагаемых методов и моделей, позволяющих минимизировать затраты на хранение и организацию поставок.

В соответствии с целью в данной работе были поставлены и решены следующие задачи:

- Проведён анализ существующих подходов к повышению эффективности управления запасами машиностроительных производств;
- Проведён анализ существующих систем и моделей управления многопродуктовыми запасами;

- Разработаны модели управления многопродуктовыми запасами при постоянном спросе;
- Разработаны модели управления многопродуктовыми запасами при постоянном спросе с разной стратегией управления для разных категорий продукции;
- Обоснован подход к управлению многопродуктовыми запасами при переменном спросе;
- Разработано программное обеспечение для управления многопродуктовыми запасами с возможностью применения на машиностроительном предприятии.

**Предметом исследования** в настоящей работе являются системы и современные концепции управления запасами на предприятиях.

**Объектом исследования** диссертационной работы является деятельность машиностроительного предприятия, направленная на создание, хранение и пополнение запасов.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в работе задач использовались методы теории управления, методы оптимизации, теория исследования операций.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- разработана модель управления многопродуктовыми запасами с возможностью потери заявок при постоянном спросе;
- разработана модель управления многопродуктовыми запасами с постановкой неудовлетворенных требований на учёт при постоянном спросе;
- разработана модель управления многопродуктовыми запасами с учётом различной стратегией управления запасами в зависимости от приносимой прибыли;
- разработана модель управления многопродуктовыми запасами при постоянном спросе с учётом ограничений на объём пополняемой продукции;
- построена модель управления многопродуктовыми запасами с возможностью потери заявок с учётом штрафов за неудовлетворённые заявки при случайном спросе;
- построена модель управления многопродуктовыми запасами для разных групп продукции при случайном спросе с учётом ограничений на объём пополняемой продукции.

**Практическая ценность.** Данная работа имеет практическую значимость для создания систем управления многопродуктовыми запасами, для совершенствования деятельности организаций и особенно подразделений машиностроительных предприятий, отвечающих за снабжение продукцией, ресурсами, и позволяет:

- определять оптимальные величины объёма и времени пополнения запасов для многих продуктов в условиях постоянного спроса;

- управлять процессом пополнения продукции при случайном спросе;
- рассчитывать объёмы и время пополнения для нескольких групп продукции в условиях случайного спроса;
- рассчитывать величины объёмов пополнения запасов и корректировать их значения при резких изменениях спроса и значительном ассортименте хранимой продукции.

**Апробация и реализация результатов исследования.** Основные теоретические и методологические положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на заседании кафедры компьютерные системы автоматизации производства МГТУ имени Н.Э. Баумана, а также на 50-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук», 2007 года, 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук».

**Публикации.** Материалы диссертации полностью отражены в шести работах общим объёмом около четырёх печатных листов, из них четыре в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований, и содержит 34 рисунка и 22 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность работы по исследованию и разработке моделей и методов управления многопродуктовыми запасами, даётся краткий обзор и анализ состояния разработок в этой области, формулируются цели и задачи, проводимых в работе исследований, а также приводятся основные результаты исследований.

В **первой главе** проведён анализ существующих систем управления многопродуктовыми запасами на предприятиях. Кроме того, приводятся результаты анализа представленных на российском рынке программных продуктов, связанных с учётом и управлением запасами. Также, в этой главе приводится обзор работ по однопродуктовым моделям управления запасами при постоянном спросе. На основе проведённого анализа были сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во **второй главе** диссертационной работы рассматриваются модели управления запасами при постоянном спросе. При наличии большого количества наименований закупаемых комплектующих, заготовок, различных видов сырья использование формулы Вильсона становится затруднительным, поскольку для каждого продукта будет определена своя оптимальная величина закупки и свое время возобновления поставки. В связи с этим возникает идея производить закупку и доставку на склад продуктов

различных типов одновременно так, чтобы к началу следующей поставки запасы этой группы продуктов стали бы равными нулю. Графически процесс изменения величины запасов при таком предположении можно представить в следующем виде (рис. 1).

Стоимость хранения запасов  $\tilde{D}$  в течение времени между закупками  $t_s$ , которое в этом случае будет одним и тем же для всех продуктов этой группы, определяется следующим образом:

$$\tilde{D} = \sum_{i=1}^L \frac{c_i q_i t_s}{2} = \sum_{i=1}^L \frac{c_i \cdot r_i \cdot t_s^2}{2},$$

где  $L$  - количество типов продуктов, закупка которых производится одновременно,  $q_i$  - количество единиц  $i$ -го продукта, которое закупается для пополнения запасов,  $t_s$  - интервал времени между смежными закупками,  $c_i$  - стоимость хранения единицы продукта  $i$ -го типа в единицу времени.

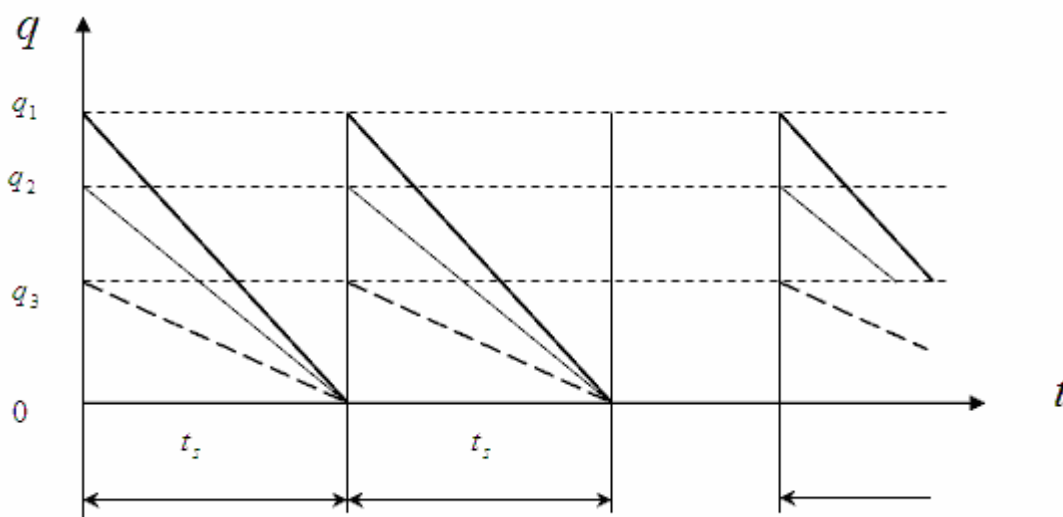


Рис.1. График изменения величины запасов при одновременной поставке разных продуктов

Тогда уравнение затрат при таком предположении может быть записано в следующем виде:

$$D(t_s) = \left( \sum_{i=1}^L \frac{c_i \cdot r_i \cdot t_s^2}{2} + C_s \right) \cdot \frac{T}{t_s} = \sum_{i=1}^L \frac{c_i \cdot r_i \cdot t_s T}{2} + C_s \cdot \frac{T}{t_s},$$

где  $C_s$  - стоимость организации поставки с пополнением запасов.

Функция  $D(t_s)$  является непрерывной функцией  $t_s$ , и ее величина стремится к  $\infty$  при  $t_s \rightarrow 0$ . Поэтому оптимальное значение  $t_s$  достигается,

когда  $\frac{dD(t_s)}{dt_s} = 0$ . Из этого уравнения, после некоторых преобразований

получаем следующие выражения для определения оптимального времени

между смежными пополнениями склада  $t_s^*$ :

$$(1) \quad t_s^* = \sqrt{\frac{C_s \cdot 2}{\sum_{i=1}^L c_i \cdot r_i}}, \quad q_i^* = r_i t_s^*, \quad (i=1, \dots, L).$$

Для условий, в которых допускается наличие дефицита, была разработана другая модель. При построении такой модели, как и в ранее рассмотренном случае, поставки разных продуктов предлагается производить в одно и то же время. В этом случае общие затраты, связанные с хранением продуктов, их доставкой и дефицитом за время  $T$ , будут иметь вид:

$$D = \left( \sum_{i=1}^L \frac{C_{1i} \cdot s_i \cdot t_{1i}}{2} + \sum_{i=1}^L \frac{C_{2i} (q_i - s_i) t_{2i}}{2} + C_s \right) n,$$

где  $s_i$  – величина заказываемой партии продукции  $i$ -го типа;  $t_{1i}$  – время, в течение которого на складе имеются запасы продукции  $i$ -го типа;  $C_{1i}$  – стоимость хранения единицы продукции  $i$ -го типа в единицу времени;  $C_{2i}$  – штраф, назначаемый за отсутствие на складе единицы продукции  $i$ -го типа в течение единицы времени;  $t_{2i}$  – время, в течение которого на складе будет дефицит продукции  $i$ -го типа;  $q_i$  – спрос на продукты  $i$ -го типа в течение интервала времени  $t_s$ ;  $n$  – количество пополнений запасов за время  $T$ .

Минимальное значение  $D(t_s, t_{1i})$  достигается, когда частная производная  $\frac{\partial D(t_s, t_{1i})}{\partial t_s} = 0$ , а частные производные  $\frac{\partial D(t_s, t_{1i})}{\partial t_{1i}} \geq 0$ .

Тогда из равенства нулю этих производных и определим оптимальные значения  $t_s^*$  и  $t_{1i}^*$ :

$$(2) \quad t_s^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_s}{\sum_{i=1}^L \left( r_i \frac{C_{1i} \cdot C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \right)}}, \quad t_{1i}^* = \frac{C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \sqrt{\frac{2 \cdot C_s}{\sum_{i=1}^L \left( r_i \frac{C_{1i} \cdot C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \right)}}.$$

В случае если же есть дефицит продуктов, но заявки не теряются, а ставятся на учёт выражение для определения времени между пополнениями примет вид:

$$t_s^* = \sqrt{\frac{2C_s - \sum_{i=1}^L \frac{r_i C_{2i}^2}{(I_i \hat{C}_i + \tilde{c}_i)}}{\sum_{i=1}^L \frac{I_i \hat{C}_i \tilde{c}_i r_i}{(I_i \hat{C}_i + \tilde{c}_i)}}}.$$

В данном случае издержки учёта продукции  $i$ -го типа описываются выражением  $C_{2i} + \tilde{c}_i t$  ( $i=1, \dots, L$ ), где  $t$  – продолжительность учёта. Издержки, связанные с содержанием запасов каждого продукта в единицу времени в

данной модели, полагаются пропорциональными с коэффициентом пропорциональности  $I_i$  стоимости закупки запаса  $\hat{C}_i \hat{q}_i(t)$  этого продукта, хранящегося в данный момент на складе. Здесь  $\hat{C}_i$  - цена товара для склада, а  $\hat{q}_i(t)$  - количество продуктов  $i$ -го типа на складе в момент времени  $t$ .

Почти всегда приходится хранить много различных видов продукции. Для сокращения затрат и уменьшения размерности возникающих задач широко применяется так называемый А, В, С анализ, который позволяет сконцентрировать внимание на продукции, наиболее значимой для предприятия.

В связи с этим в данной работе предлагается осуществлять управление продуктами различных групп с помощью разных стратегий. Так продукты группы А, оборот которых приносит наибольшую прибыль, должны быть, практически, всегда в наличии на складе. Для продуктов группы В, приносящих существенно меньшую прибыль, оказывается достаточно дорого и технически сложно обеспечивать постоянное наличие на складе. Поэтому при управлении продуктами этой группы, возможно, следует предусматривать определенный дефицит продуктов и определенные потери от неудовлетворенных заявок. Запасы же продуктов группы С целесообразно пополнять в тех случаях, когда это возможно. Поставки разных продуктов предлагается производить в одно и тоже время.

Для реализации данной стратегии в работе строится общая функция затрат на хранение, доставку и оформление продуктов групп А и В в течение периода планирования  $T$ . Как уже отмечалось ранее, продукты этих групп доставляются на склад одновременно, т. е. пополнение склада всеми необходимыми продуктами происходит периодически с интервалом времени  $t_s$  и количество таких интервалов  $t_s$  за период планирования  $T$  будет целым числом.

Общие затраты  $D$ , связанные с хранением, доставкой, оформлением и дефицитом продуктов на складе за время  $T$ , и с учётом соотношений  $q_i = r_i \cdot t_s$ ,  $s_i = r_i \cdot t_{1i}$ ,  $q_i - s_i = r_i \cdot t_{2i}$ ,  $t_s = t_{1i} + t_{2i}$ , составят:

$$D = (\tilde{D}_A + \tilde{D}_B + \hat{D}_B + C_s)n =$$

$$= \left( \sum_{j=1}^{L_A} \frac{C_{1j} \cdot q_j \cdot t_s}{2} + \sum_{i=1}^{L_B} \frac{C_{1i} \cdot s_i \cdot t_{1i}}{2} + \sum_{i=1}^{L_B} \frac{C_{2i} \cdot (q_i - s_i) \cdot t_{2i}}{2} + C_s \right) n,$$

где  $\tilde{D}_A$  - стоимость хранения продуктов группы А в течение интервала времени  $t_s$ ,  $\tilde{D}_B$  - стоимость хранения продуктов группы В в течение интервала времени  $t_s$ ,  $\hat{D}_B$  - штраф за дефицит продуктов группы В на складе в течение интервала времени  $t_s$ ,  $L_A$  - количество наименований продуктов группы А,  $L_B$  - количество наименований продуктов группы В.



Функция общих затрат является непрерывно дифференцируемой функцией переменных  $t_s$  и  $t_{1i}$ , на которые наложены ограничения  $t_s \geq 0$  и  $t_{1i} \geq 0$ . Но при  $t_s \rightarrow 0$  значение функции  $D(t_s, t_{1i}) \rightarrow \infty$ , а дефицит существует и  $t_{1i} > 0$ . Поэтому минимум этой функции достигается при таких значениях  $t_s$  и  $t_{1i}$ , для которых выполняются условия:

$$\frac{\partial D(t_s, t_{1i})}{\partial t_s} = 0, \quad \frac{\partial D(t_s, t_{1i})}{\partial t_{1i}} \geq 0.$$

После преобразований получаем:

$$t_s^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_s}{\sum_{i=1}^{L_B} r_i \cdot \frac{C_{1i} \cdot C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} + \sum_{j=1}^{L_A} r_j \cdot C_{1j}}} \quad \text{и} \quad t_{1i}^* = \frac{C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \cdot t_s \quad (i \in L_B).$$

Размеры поставок для продукции группы А  $q_i$  определяются из соотношения  $q_i = r_i \cdot t_s$ , размеры поставок для продуктов группы В  $s_i$  из соотношения  $s_i = r_i \cdot t_{1i}$ .

Обычно в процессе работы складов стремятся организовывать регулярное пополнение складских запасов продукцией, а не осуществлять пополнение запасов большими партиями через длительные промежутки времени. Поэтому продукцию для пополнения складов целесообразно доставлять группами или партиями, имеющими ограниченные объемы пополнения, и через такие промежутки времени, чтобы с одной стороны запасы обеспечивали работу склада в течение этого промежутка времени. С другой же стороны затраты на закупку продукции каждого пополнения не должны превышать выделенных оборотных средств, а также не должны выходить за те объемы, которые на складе могут разгрузить, проверить, оформить и разместить в течение одного поступления. Однако закупки и не должны быть излишне частыми, чтобы не приводить к необоснованным затратам на доставку продукции.

Промежутки времени между приемами различных партий пополнения запасов следует делать постоянными даже при случайном спросе на продукцию, поскольку при переменной длительности таких промежутков могут возникать ситуации, когда несколько пополнений должны будут прибывать на склад в одно и то же время. Это может привести к серьезным проблемам и весьма нежелательным, «пиковым» режимам работы склада. Для решения этой проблемы была разработана модель, которая позволяет рассчитать оптимальное время между пополнениями для различных партий продукции.

Пусть вся номенклатура запасов уже распределена по таким партиям. Тогда каждая партия пополнения запасов должна поступать на склад через одинаковые промежутки времени, которые, как и в ранее описанных

моделях, будем обозначать  $t_s$ . Если первая партия продукции поступает на склад в некоторый момент времени  $t_0$ , то вторая партия пополнения должна поступить на склад через некоторый интервал времени после поступления первой. Новое поступление на склад каждой из этих партий должно происходить по истечении времени  $t_s$  после предыдущего поступления. Графически процесс функционирования склада по такой схеме для двух партий пополнения может быть представлен, как показано на рис. 2.

Рассмотрим любой интервал времени  $t_s$ , начинающийся с поступления какой-либо партии пополнения. Стоимость хранения остатков продукции остальных партий пополнения, и величина штрафов за дефицит продукции таких партий будет равна стоимости хранения остатков продукции и величине штрафов за дефицит этих же партий на интервале времени, который выходит за пределы рассматриваемого периода  $t_s$ . Это следует из постоянства спроса на все виды продукции.

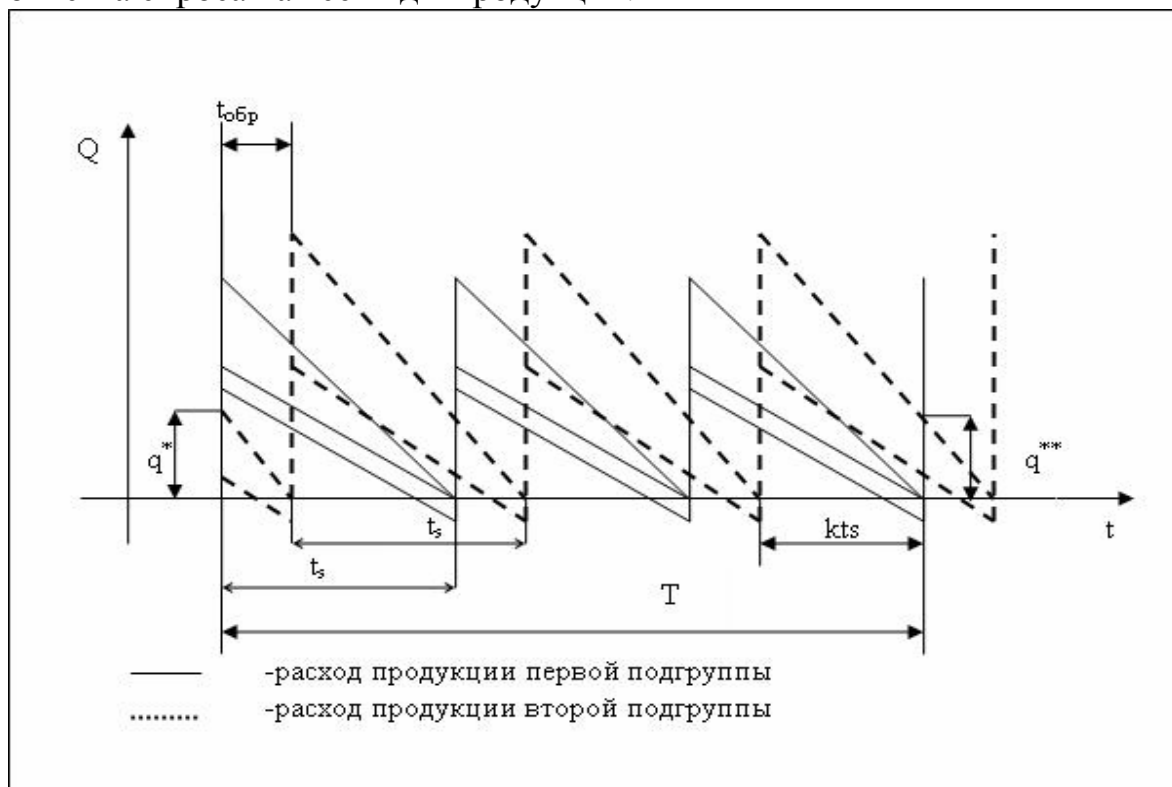


Рис. 2. График изменения величины запаса для нескольких партий продукции

Выражение для общих затрат  $D$ , связанных с хранением, доставкой, оформлением и дефицитом продуктов на складе, за время  $T$  составит:

$$D(t_s, t_{lim}) = \sum_{m=1}^M \left[ \left( \sum_{j=1}^{L_A} \frac{C_{1jm} r_{jm} t_s^2}{2} + \sum_{i=1}^{L_B} \frac{C_{lim} r_{im} t_{lim}^2}{2} + \sum_{i=1}^{L_B} \frac{C_{2im} r_{mi} (t_s - t_{lim})^2}{2} + C_{sm} \right) \cdot \frac{T}{t_s} \right],$$

где  $M$  - общее количество групп, в которые входят продукты категории  $A$  и  $B$ ,

$L_A$  - количество продуктов категории  $A$  в группе  $m$ ,  $L_B$  - количество продуктов категории  $B$  в группе  $m$ .

Минимум функции  $D(t_s, t_{1im})$  достигается, когда:

$$\begin{cases} \frac{\partial D(t_s, t_{1im})}{\partial t_s} = 0, \\ \frac{\partial D(t_s, t_{1im})}{\partial t_{1im}} = 0. \end{cases}$$

Отсюда, после преобразований, получаем

$$t_{1im} = \frac{C_{2im}}{C_{1im} + C_{2im}} \cdot t_s, \quad t_s = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M 2 \cdot C_{S_m}}{\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^A C_{1_{jm}} \cdot r_{jm} + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^B \frac{r_{im} \cdot C_{2im} \cdot C_{1im}}{C_{1i} + C_{2i}}}.$$

Размеры поставок для продукции категории  $A$  из  $m$ -й партии пополнения  $q_{jm}$  определяются из соотношения  $q_{jm} = r_{jm} \cdot t_s$ , а размеры поставок для продукции категории  $B$  из  $m$ -й партии пополнения  $s_{im}$  - из соотношения  $s_{im} = r_{im} \cdot t_{1im}$ .

**Третья глава** посвящена построению моделей управления многопродуктовыми запасами, когда спрос на продукцию является случайным. При построении таких моделей в работе считается, что время поставок заказа является детерминированной, а не случайной величиной.

В условиях случайного спроса гарантировать отсутствие дефицита продуктов на складе невозможно, но подобные модели могут быть модифицированы и для этих случаев. Во второй главе для случая постоянного спроса были выведены соотношения, позволяющие определять оптимальные времена между смежными закупками продукции (соотношения (1) и (2)).

При наличии случайного спроса использование этих формул становится затруднительным, поскольку спрос  $r_i$  на каждый продукт ( $i = 1, \dots, L$ ) в этом случае будет случайной величиной и с течением времени может меняться. Однако приведенные выше соотношения с некоторыми изменениями могут быть использованы и в условиях случайного спроса.

В работе предполагается, что спрос на продукции в течение некоторого интервала времени  $T$  является стационарным и среднее значение спроса для  $i$ -го продукта в течение этого времени равно  $\bar{r}_i$ . Тогда период между закупками  $t_s$  можно определять по формуле, которая аналогична (1), но с величиной среднего значения спроса  $\bar{r}_i$  по каждому продукту в течение интервала планирования  $T$

$$t_s^* = \frac{\sqrt{C_s \cdot 2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \bar{r}_i}},$$

где  $\bar{r}_i$  - среднее значение спроса по  $i$ -му продукту в течение интервала планирования  $T$ .

Для сокращения затрат на содержание запасов в процесс управления вводится «обратная связь», которая может сократить остатки продукции или их нехватку на складе к моменту следующего пополнения запасов. Для этого величину закупок  $q_k$  в  $k$ -м периоде пополнения запасов будем вычислять с помощью соотношения:

$$q_k = \hat{r}_k t_s^* = \hat{r}_k \sqrt{\frac{2C_s}{c_1 \bar{r}}},$$

где  $\hat{r}_k$  - величина среднего значения спроса на  $k$ -м периоде пополнения запасов, а  $\bar{r}$  - величина среднего значения спроса на всем интервале планирования  $T$ . Обычно величины  $\bar{r}$  и  $\hat{r}_k$  определяются с использованием методов прогнозирования.

В этой главе также рассматриваются принципы построения модели управления многопродуктовыми запасами при условиях, когда неудовлетворенные заявки теряются. Для управления многопродуктовыми запасами в условиях постоянного спроса подобная модель приведена во второй главе работы. Причем запасы продукции  $i$ -го типа будут кончатся по истечении времени  $t_{1i}$  ( $i=1, \dots, n$ ), которое является индивидуальным для каждого типа продукции и определяется из следующих условий:  $s_i = r_i t_{1i}$ , ( $i=1, \dots, n$ ), где  $t_{1i}$  определяются из соотношений (2).

При наличии случайного спроса величину  $t_s$  и величины  $t_{1i}$  по аналогии с ранее описанным случаем будем определять из соотношений:

$$t_s = \sqrt{\frac{2 \cdot C_s}{\sum_{i=1}^n \left( \bar{r}_i \cdot \frac{C_{1i} \cdot C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \right)}}, \quad t_{1i} = \frac{C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \sqrt{\frac{2 \cdot C_s}{\sum_{i=1}^n \left( \bar{r}_i \cdot \frac{C_{1i} \cdot C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \right)}},$$

где  $\bar{r}_i$  - среднее значение спроса на  $i$ -й продукт в течение периода планирования  $T$ . Остальные обозначения имеют тот же смысл, что и в ранее приведённых соотношениях.

Величины пополнения запасов  $s_{ik}$  ( $i=1, \dots, L$ ) для каждого продукта  $i$  и каждого периода пополнения запасов  $k$  будет вычисляться из следующих соотношений:

$$s_{ik} = \hat{r}_{ik} t_{1i} = \hat{r}_{ik} \frac{C_{1i} C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \sqrt{\frac{2C_s}{\sum_{i=1}^n \left( \bar{r}_i \frac{C_{1i} C_{2i}}{C_{1i} + C_{2i}} \right)}},$$

где  $\hat{r}_{ik}$  - величина среднего значения спроса на  $i$ -й продукт на  $k$ -м периоде пополнения запасов.

**Четвёртая глава** посвящена описанию и анализу вычислительных экспериментов, проведённых с разработанными моделями, а также результатов внедрения разработанного на основе этих моделей программного обеспечения.

Для проверки работоспособности предложенных моделей было проведено множество вычислительных экспериментов при различных значениях стоимости хранения продукции, при различных значениях стоимости организации поставок, с различными законами распределения величины спроса. Как показали результаты проведённых вычислительных экспериментов, удаётся значительно сократить затраты на хранение и организацию поставок продукции по сравнению с использованием формулы Вильсона с независимыми поставками продукции для каждого продукта.

В таблице 1. приведены результаты эксперимента в ходе, которого происходит изменение времени между пополнениями для 1000 продуктов при постоянном спросе. Время между пополнениями задаёт пользователь. При этом предполагается, что время между смежными пополнениями будет постоянным в течение рассматриваемого периода времени.

Таблица 1.

$T_s$ , день	Стоимость хранения и организации поставки у.е.
4	47099700
5	46019640
6	46689580
7	49943508
8	52641444
9	55200382

Изменение количества продукции происходит в течение 60 дней. Предполагается, что спрос и количество продукции на складе изменяется дискретно. Величина спроса задаётся с помощью датчика случайных чисел, интервал изменения и порядок величин соответствует данным реального предприятия.

При применении модели управления многопродуктовыми запасами затраты на хранение и организацию поставок составили 38349700 у. е., расчётное время между пополнениями 5.02 дней.

Если сравнить величину затрат на хранение и организацию поставки получаемую при использовании модели 38349700 у.е. и величины затрат из таблицы 1, то видно что применение математической модели дало лучшие результаты, чем те, которые можно было бы получить, используя стратегию простого перебора величин объёмов и времени пополнения.

В таблице 2. приведены краткие результаты эксперимента в ходе, которого происходит изменение времени между пополнениями для 1000 продуктов при случайном спросе.

Таблица 2.

Ts, день	Стоимость хранения и организации поставки у.е.
4	86339844,06
5	79963423,17
6	77670789,55
7	80381236,08
8	82551583,55
9	84570611,11

При этом спрос для каждого продукта изменяется по нормальному закону со своими значениями математического ожидания и дисперсии. В процессе имитации изменений спроса с использованием модели управления затратами при случайном спросе суммарные затраты на хранение и организацию поставки в течение рассматриваемого периода составило 78282673,3 условные единицы.

В ходе исследования были использованы модель управления запасами без дефицита продукции, модель управления запасами с возможностью дефицита, модель управления запасами для разных групп продукции. Результаты экспериментов показали высокую эффективность работы для разного количества продукции, в том числе до 10000 наименований.

Разработанные модели и методы позволяют построить эффективную систему управления многопродуктовыми запасами. В условиях постоянного спроса расчёт оптимальных значений объёмов и времени пополнения позволяет достичь минимальных затрат не только на хранение и организацию поставок, но и затрат связанных с дефицитом продукции. Когда же потребление продукции носит случайный характер применение данных моделей и методов существенно повышают эффективность системы поскольку значительно снижают затраты связанные с пополнением и расходом продукции.

Разработанные в диссертационной работе модели и методы управления многопродуктовыми запасами были внедрены на предприятиях ООО «Диас» и «ИМПУЛЬС М», о чем имеются соответствующие акты.

В ходе внедрения разработанного программного обеспечения с предложенными в диссертации моделями управления многопродуктовыми запасами на указанных предприятиях удалось сократить затраты на хранение и организацию поставок продукции более чем на 14%.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проведен анализ существующих моделей и систем, предназначенных для управления запасами на промышленных предприятиях.

2. Разработана модель управления многопродуктовыми запасами с возможностью дефицита продукции, позволяющая определять оптимальные объёмы и время пополнения запасов в условиях постоянного спроса.

3. Разработана модель управления многопродуктовыми запасами с постановкой требований на учёт, позволяющая определять оптимальные объёмы и время пополнения запасов в условиях постоянного спроса.

4. Разработана модель управления многопродуктовыми запасами с разной стратегией управления для разных категорий продукции, позволяющая определять оптимальные объёмы и время пополнения запасов в условиях постоянного спроса.

5. Разработаны модели и методы, предназначенные для управления многопродуктовыми запасами в условиях случайного спроса.

6. Разработана программа, с которой проведены вычислительные эксперименты, показавшие эффективность моделей управления многопродуктовыми запасами на задачах большой размерности для машиностроительных предприятий.

7. Проведено внедрение разработанных моделей и методов на предприятиях ООО «Диас» и «Импульс М». Результаты внедрения подтвердили эффективную работу разработанных моделей.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Калинин Н.М., Хоботов Е.Н. Модели управления многопродуктовыми запасами при переменном спросе// Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.–Вып. 12.– С.185–200.
2. Калинин Н.М., Хоботов Е.Н. Модели управления многопродуктовыми запасами при постоянном спросе// Автоматика и телемеханика.–2008.– Вып.9.–С.156-169.
3. Калинин Н. М., Мелкишев В. Н., Хоботов Е.Н. Об одном подходе к управлению многопродуктовыми запасами// Труды 50-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» (Москва).–2007 (ноябрь).–Ч.III., Т.2.–С.177–180.
4. Калинин Н.М., Мелкишев В.Н., Хоботов Е.Н. Модель управления многопродуктовыми запасами при разных стратегиях пополнения запасов. Труды 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» (Москва).–2008 (ноябрь).–Ч.III., Т.2.–С.140–142.
5. Хоботов Е.Н., Калинин Н.М. Об одном подходе к управлению многопродуктовыми запасами// Программные продукты и системы.- 2008.- №4.-С. 120-123.
6. Калинин Н.М. Управление многопродуктовыми запасами при ограничениях на объём пополняемой партии продукции// Известия высших учебных заведений. Машиностроение.-2009.-№1.-С.77-81.