

На правах рукописи



Истомина Алена Андреевна

**УПРАВЛЕНИЕ АССОРТИМЕНТОМ И ЗАПАСАМИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
(на примере предприятий розничной торговли)**

Специальность 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (региональные народнохозяйственные комплексы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ангарский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бадеников Виктор Яковлевич

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Гозбенко Валерий Ерофеевич

Официальные оппоненты: **Ступина Алёна Александровна**
доктор технических наук, профессор, ФГАОУ
ВО «Сибирский федеральный университет»,
проректор по образовательной деятельности,
заведующая кафедрой «Экономика и информа-
ционные технологии менеджмента»

Кедрин Виктор Сергеевич
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Иркутский государственный университет»,
кафедра «Теория вероятностей и дискретная
математика», доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Бурятский государственный
университет»

Защита состоится 10.04.2018 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.070.07 на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 24, корпус 9, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУ, корпус 2, аудитория 101,
(<http://dissovet.bgu.ru/dissertation/disInfo.aspx?id=52>).

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан «___» февраля 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в связи с развитием рыночных отношений и возникновением различных форм собственности, розничная торговля, как и вся торговая отрасль в целом, становится самостоятельной сферой деятельности людей, когда каждое торговое предприятие работает на основе полной самокупаемости. Это существенно повышает заинтересованность торговых предприятий в эффективности своей деятельности. В конкурентной борьбе торговые предприятия стремятся обеспечить близость своих товаров к потребителю, высокий уровень обслуживания и качество предъявляемых товаров. Но эффект от проделанной работы часто перечеркивается неправильно сформированным ассортиментом товаров и неверно выстроенной стратегией управления товарными запасами, что приводит к увеличению времени обращения товаров, увеличению затрат на хранение запасов, сокращению прибыли торговых предприятий.

Проблема усугубляется еще и тем, что во многом экономические результаты деятельности торговых предприятий имеют стохастический, случайный характер, негативным образом влияющий на их текущую и перспективную деятельность. Это особенно проявляется в условиях нестабильной экономики, санкций, введенных в отношении РФ, ответных действий России по ограничению поставок продукции со стороны ряда стран, когда торговые предприятия сталкиваются с необходимостью частого изменения ассортимента и стратегии управления товарными запасами и принятия решений. Все эти обстоятельства требуют новых подходов к управлению розничной торговлей и процессом товарооборота в целом.

В то же время, обращает на себя внимание недостаточная разработанность теории и методологии управления ассортиментом и запасами товаров в условиях вероятностного характера спроса на товары. Нет надежных методик определения наилучшего ассортимента товаров, их объемов, размеров партий поставки товаров, особенно в условиях неопределенности, без которых торговое предприятие не может стабильно функционировать в условиях рынка.

Все вышеперечисленное составляет актуальность исследований в области управления ассортиментом и товарными запасами, а также необходимость выработки механизмов по их оптимизации.

Степень разработанности проблемы. Основные аспекты процесса формирования ассортимента продукции, товаров и услуг, а также управления запасами сформулированы и детально изучены в работах И. Ансоффа, Дж. Букана, Г. Вагнера, Э. Кенигсберга, А. Кофмана, Н. Прабху, М. Портера, Т. Саати, Т. Уайтина, Дж. Хедли, Ф. Хэнссмента, Дж. Шрайбфедера. Большой вклад в разработку теорий управления ассортиментом и товарными запасами внесли Л.В. Канторович, В.А. Лотоцкий, А.С. Мандель, В.А. Сакович, А.А. Первозванский, Г.В. Рубальский, Ю.И. Рыжиков, Н.Д. Фасоляк, что позволило расширить теоретический инструментарий, используемый в настоящее время.

Однако до сих пор управление ассортиментом товаров в розничной торговле рассматривалось отдельно от задачи управления запасами. Отвечая на вопросы, когда запасы подлежат пополнению и каковы объемы пополнения запаса, теория управления запасами не касалась вопроса о том, какие наименования товаров целесообразно иметь торговому предприятию.

Целью работы является повышение эффективности функционирования предприятий розничной торговли за счет совершенствования методов и моделей определения оптимального ассортимента и наилучшей стратегии управления товарными запасами, которые учитывают вероятностный характер спроса и легко реализуются на ЭВМ.

Задачи исследования.

1. Провести системный анализ задачи управления ассортиментом товаров и товар-

ными запасами в розничной торговле, выявить теоретические и методологические основы управления ассортиментом и запасами при вероятностном спросе на товары, исследовать возможности их использования в современных условиях.

2. Разработать математическую модель задачи определения оптимального ассортимента товаров в условиях вероятностного характера спроса на товары и разработать эффективные алгоритмы ее реализации.

3. Разработать математические модели управления товарными запасами в условиях вероятностного характера спроса на товары для различных стратегий пополнения запасов и разработать эффективные алгоритмы их реализации.

4. Разработать методы расчета параметров распределений спроса и поставок товаров на основе ретроспективных данных о сбыте и времени выполнения заказов, а также прогнозирования спроса на горизонте управления.

5. Разработать математическое, алгоритмическое и информационное обеспечение системы поддержки принятия решений, способной предоставлять лицу, принимающему решение, автоматизированный выбор наилучшей из альтернатив, как на основе решения оптимизационных задач, так и на основе предпочтений лица, принимающего решения.

Объектом исследования являются системы управления ассортиментом товаров и товарными запасами на предприятиях розничной торговли.

Предметом исследования являются математические методы и модели определения оптимального ассортимента и стратегий управления товарными запасами.

Методы исследования. Результаты и выводы диссертационной работы основаны на применении методов системного анализа, математического программирования, математической статистики, теории управления запасами, теории массового обслуживания, компьютерного моделирования систем и процессов.

Эмпирическую базу исследования составили отчетные материалы муниципального унитарного предприятия Ангарского городского округа «Аптека № 28».

Научная новизна работы заключается в том, что в работе теоретически обоснована и практически реализована методика двухэтапной задачи оптимизации деятельности предприятия розничной торговли в условиях неопределенности на основе оптимизационной математической модели, обеспечивающей экономическую эффективность систем, связанных с реализацией продукции, товаров и услуг.

На защиту выносятся следующие результаты, обладающие элементами новизны:

1) разработана математическая модель задачи определения оптимального ассортимента товаров при вероятностном спросе на товары, при котором ожидаемая прибыль торгового предприятия достигает максимума и выполняются ограничения на имеющиеся ресурсы предприятия;

2) разработаны математические модели задачи управления запасами, построенные на основе теории массового обслуживания – модель с непрерывным пополнением запасов и модель пополнения запасов партиями;

3) получены точные и приближенные выражения для расчета вероятностей дефицита запасов и среднего размера запаса товаров для стратегий с непрерывным пополнением запасов и пополнением запасов партиями, положенные в основу критериев оптимальности задачи управления запасами;

4) разработаны математические модели прогнозирования спроса на запасы по ретроспективным данным сбыта товаров;

5) разработано математическое и алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений для управления ассортиментом и товарными запасами.

Практическая значимость. Предложенные модели и методы определения опти-

мальных ассортимента товаров и стратегии управления запасами, разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений способствуют повышению эффективности предприятий розничной торговли, приняты к внедрению в больничные аптеки медицинских учреждений Ангарского городского округа.

Отдельные положения диссертации используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «АнГТУ» при изучении курсов: «Моделирование», «Методы оптимизации», «Математическое моделирование в экономике».

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях «Современные технологии и научно-технический прогресс» в Ангарском государственном техническом университете (2014-2017), Международной научно-технической конференции «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-26, Ангарск, 2013, ММТТ-29, Саратов, 2016), XI Международной научно-практической конференции «Естественные и технические науки в современном мире» (Москва, 2017), IX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы машиностроения» (Самара, 2017), XXII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (Иркутск, 2017), Российской научно-технической конференции «Обработка информации и математическое моделирование» (Новосибирск, 2017), а также на научных семинарах кафедр «Автоматизация технологических процессов» и «Вычислительные машины и комплексы» ФГБОУ ВО «АнГТУ».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 5 статей в изданиях, входящих в Перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 133 наименований и 2 приложения. Работа изложена на 158 страницах, содержит 16 рисунков и 15 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы и приведена общая характеристика диссертации с тезисным изложением основных положений и результатов работы, определены цель и задачи исследования.

В первой главе проведен системный анализ задачи управления ассортиментом и товарными запасами в розничной торговле и существующих формализованных методов формирования ассортимента и управления товарными запасами. Выявлено отсутствие доступного широкому пользователю инструментария решения поставленной задачи в условиях неопределенности спроса на товары.

Обзор формальных методов показал, что до настоящего времени формирование ассортимента товаров и управление товарными запасами рассматривались независимо друг от друга. Главное отличие задачи управления ассортиментом от задачи управления запасами состоит в том, что при управлении ассортиментом функционирование системы рассматривается только на одном, чаще всего конечном интервале времени, в течение которого производится лишь одно начальное пополнение запасов. Тогда как управление запасами представляет собой многошаговый процесс управления при переменной интенсивности спроса на товары. Рассматривая эти два процесса во взаимосвязи друг с другом, можно значительно повысить эффективность торговых предприятий, если задачу управления конкретизировать следующим образом: на первом этапе найти оптимальный ассортимент товаров и уровень их объемов, доставляющих оптимум тому или иному критерию оптимальности функционирования торгового предприятия; на втором этапе, с учетом найденного на предыдущем этапе ассортимента товаров и их объемов, определить оптимальную страте-

гию управления запасами на горизонте управления.

Показано, что наибольшей адекватности математической модели управления ассортиментом и запасами реальным условиям хозяйствования можно добиться, если учитывать вероятностный характер спроса на товары и товарные запасы.

На основе полученных выводов сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

Во второй главе приведен анализ различных показателей эффективности торговых предприятий. Показано, что для нормального функционирования торгового предприятия необходимо, чтобы его доход от продажи товаров не только покрывал все текущие издержки по хранению и реализации товаров, но и приносил прибыль. Иначе торговая организация не обеспечит свое эффективное развитие и своевременное обеспечение населения товарами. Следовательно, из множества вариантов ассортимента товаров необходимо найти такой, который при эффективном использовании имеющихся ресурсов обеспечил бы удовлетворительный спрос и приносил торговому предприятию максимальную прибыль.

Обозначим через r_j спрос на j -й товар или товарную группу. Пусть спрос является случайной величиной с известным законом распределения. Устанавливая вид и задавая параметры распределения вероятностей для описания спроса (такие, как среднее значение для пуассоновского распределения или среднее значение и среднеквадратическое отклонение для нормального распределения и т.п.), мы даем компактное представление той степени неопределенности относительно будущего спроса на товар или группу товаров.

Очевидно, что торговая организация не дополучит дохода, если в ней не окажется достаточного количества товаров, желаемых покупателями.

Торговая организация понесет потери и в случае, если количество товаров превысит спрос на горизонте планирования. Эти потери складываются из затрат на их приобретение, хранение, распродаже по сниженным ценам и списание в случае достижения срока годности.

Тогда можно считать, что ожидаемая прибыль от продажи товара равна ожидаемому доходу минус издержки торгового предприятия, минус ожидаемая потеря.

Ожидаемый доход торговой организации от продажи j -го товара составит

$$\begin{aligned} p_j r_j, & \text{ если } r_j \leq x_j, \\ p_j x_j, & \text{ если } r_j \geq x_j, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_j – искомый объем j -го товара или товарной группы (в натуральном выражении); p_j – розничная цена j -го товара.

Примем допущение, что переменные x_j и r_j ($j = \overline{1, n}$) непрерывны.

При включении в ассортимент j -го товара торговое предприятие теряет прибыль в объеме

$$\begin{aligned} 0, & \text{ если } r_j \leq x_j, \\ \pi_j (r_j - x_j), & \text{ если } r_j \geq x_j, \end{aligned} \quad (2)$$

где π_j – потеря прибыли из-за отсутствия одной единицы j -го товара.

Товары, оставшиеся на конец планового периода и для которых не истек срок хранения, продаются со скидкой на сумму

$$\begin{aligned} \lambda_j p_j (x_j - r_j), & \text{ если } r_j \leq x_j, \\ 0, & \text{ если } r_j \geq x_j, \end{aligned} \quad (3)$$

где λ_j – торговая скидка на j -й товар.

Тогда ожидаемая прибыль от продажи j -го товара будет равна ожидаемому доходу от

продажи j -го товара минус издержки обращения j -го товара, минус ожидаемая потеря, плюс ожидаемый доход от продажи j -го товара по сниженным ценам.

Если через $f(r_j)$ обозначить плотность распределения случайной переменной спроса r_j , то можно записать ожидаемую прибыль F_j от продажи j -го товара как

$$F_j = p_j \int_{-\infty}^{x_j} r_j f(r_j) dr_j + p_j x_j \int_{x_j}^{\infty} f(r_j) dr_j - c_j x_j - \pi_j \int_{x_j}^{\infty} (r_j - x_j) f(r_j) dr_j + \lambda_j p_j \int_{-\infty}^{x_j} (x_j - r_j) f(r_j) dr_j, \quad (4)$$

где c_j – издержкостоемость j -го товара, включая затраты на его закупку.

Тогда ожидаемая прибыль торговой организации от реализации всех товаров составит:

$$F = \sum_{j=1}^n \left(p_j \int_{-\infty}^{x_j} r_j f(r_j) dr_j \right) + \sum_{j=1}^n \left(p_j x_j \int_{x_j}^{\infty} f(r_j) dr_j \right) - \sum_j c_j x_j - \sum_{j=1}^n \left(\pi_j \int_{x_j}^{\infty} (r_j - x_j) f(r_j) dr_j \right) + \sum_{j=1}^n \left(\lambda_j p_j \int_{-\infty}^{x_j} (x_j - r_j) f(r_j) dr_j \right). \quad (5)$$

На переменные x_j накладывается ряд ограничений:

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n S_j x_j \leq S, \quad \sum_{j=1}^n v_j x_j \leq V. \quad (7)$$

где a_{kj} – норматив издержек на единицу j -го товара по k -й статье расходов; b_k – величина расходов по k -й статье издержек; S_j – закупочная цена j -го товара; S – общий объем финансовых средств на закупку товаров; v_j – объем единицы j -го товара; V – общий объем под хранение и размещение товаров в торговых залах и складах торговой организации.

В ряде случаев в исходных условиях может быть задано фиксированное значение для того или иного товара

$$x_j = X_j, \quad j = \overline{1, L}, \quad (8)$$

где L – наименования товаров, для которых установлен фиксированный товарооборот.

Могут быть заданы нижние или верхние пороговые значения объемов товара.

Имеют место случаи, когда при формировании ассортимента товаров необходимо учесть соотношения между товарооборотом тех или иных товаров.

Так, например, если между товарооборотом k -го и $k+1$ -го товара имеется соотношение $\alpha : \beta$, то математически это может быть записано в виде выражения

$$x_k / x_{k+1} \geq \alpha / \beta, \quad (9)$$

или, что то же, в разрешимом виде

$$\beta x_k - \alpha x_{k+1} \geq 0. \quad (10)$$

Окончательно, задача нахождения оптимального ассортимента товаров в торговой организации заключается в нахождении таких

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (11)$$

при которых критерий оптимальности (5) достигает максимума и выполняются ограничения (6) – (11).

Для решения задачи оптимизации ассортимента в постановке (5) – (11) необходимо установить тип распределений спроса на товары и идентифицировать параметры распределений.

Для определения закона распределения спроса на товары была проведена статистическая обработка выборки данных продаж на примере работы муниципального унитарного предприятия Ангарского городского округа «Аптека № 28».

На рис. 1 показаны временные ряды продаж некоторых лекарственных средств (ЛС).

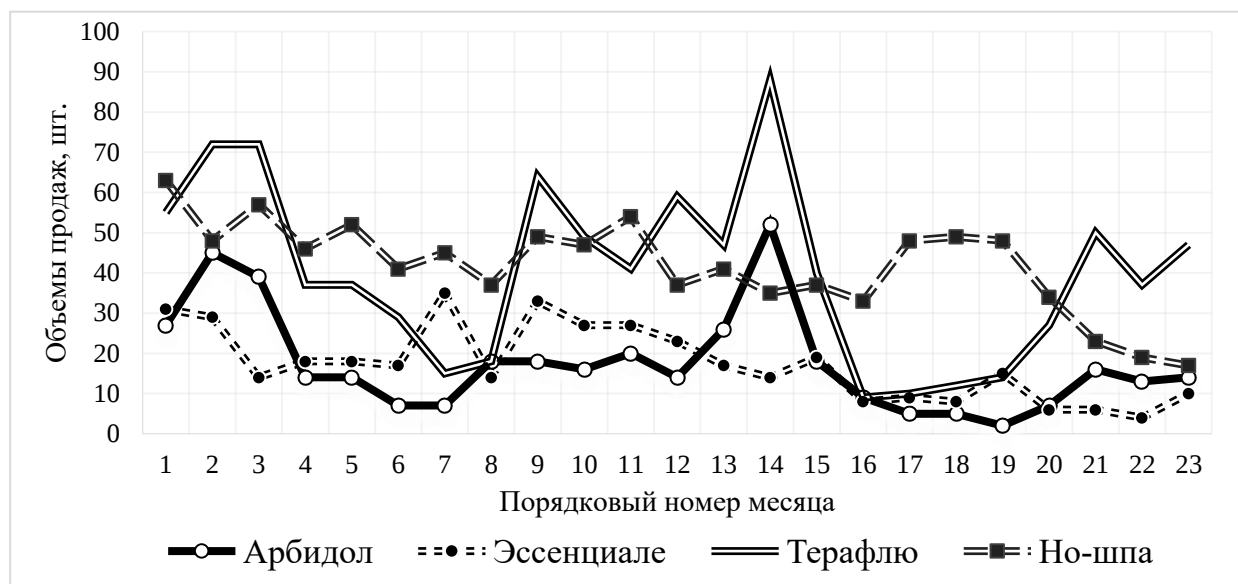


Рис.1. Временные ряды продаж некоторых лекарственных средств

Видно, что сбыт ЛС нестационарен, временные ряды содержат тренды, сезонную составляющую и случайные факторы.

Исследование показало, что описать точно спрос на товары определенным законом распределения для всей совокупности данных не представляется возможным. Однако, если расчленить вероятностные распределения на всем интервале времени на подинтервалы, равные, например, горизонту управления ассортиментом и запасами, можно достаточно точно аппроксимировать данные продаж известными законами распределения. Так, визуально по графикам гистограмм, по коэффициентам асимметрии и эксцесса, а также по критерию согласия Пирсона установлено, что спрос на ЛС, например, для зимних и летних месяцев года, хорошо описывается нормальным распределением и законом Пуассона. В дальнейшем для нахождения оптимального ассортимента товаров в постановке (5) – (11) использован нормальный закон распределения вероятностей спроса на товары.

Особенностью задачи (5) – (11) является то, что она содержит нелинейную целевую функцию (5), что относит ее к классу задач нелинейного программирования. Но, поскольку целевая функция (5) является сепарабельной, она может быть легко аппроксимирована кусочно-линейными зависимостями, каждая из которых зависит от одной переменной, а исходная задача преобразована в задачу линейного программирования.

Приведено решение точной и приближенной задачи оптимизации товарного ассортимента, сформулированной в виде задачи линейного программирования. Решение приближенной задачи оказалось достаточно близким к точному.

В третьей главе показано, что многие ситуации управления товарными запасами можно рассматривать как задачи массового обслуживания. Если в качестве требований и

заявок в системе массового обслуживания (СМО) считать запасенные товары, а обслуживающие устройства – покупателей товаров, то зная интенсивность прибытия покупателей, можно определить оптимальную интенсивность поступления товаров в условиях тех или иных ограничений.

Математический анализ СМО значительно облегчается, если потоки событий в системе являются пуассоновскими. Так как исследование во второй главе показало, что спрос на товары хорошо описывается распределением Пуассона, примем допущение, что поток заявок или требований на товар является пуассоновским и происходит с интенсивностью μ ; пополнение запасов происходит с интенсивностью λ и также имеет пуассоновское распределение.

В работе исследованы две стратегии управления запасами – стратегия с непрерывным пополнением запасов и стратегия пополнения запасов партиями.

Непрерывное пополнение запасов. На рис. 2 показана схема случайного процесса движения товаров в случае непрерывного пополнения запасов.

Система находится в состоянии S_n , когда имеются n товаров, как «обслуживаемых» покупателями, так и ожидающих обслуживания. Система выходит из состояния S_n в состояние S_{n+1} , когда прибывает дополнительная единица товара, или в состояние S_{n-1} , когда товар куплен покупателем. Интенсивности пуассоновских потоков событий, ведущих к уменьшению товаров, обозначены как μ , а к увеличению как λ .

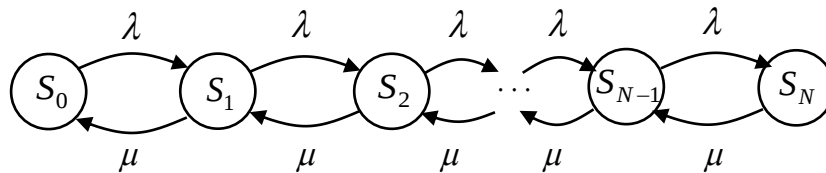


Рис.2. Схема движения товаров в системе с непрерывным пополнением запасов

В стационарном режиме процесс меняет свои состояния, переходя из одного в другое, но вероятности этих состояний не зависят от времени и принимают вид:

$$P_0 = (1 - \rho) / (1 - \rho^{N+1}), \quad (12)$$

$$P_n = \rho^n P_0, \text{ для } 0 < n \leq N. \quad (13)$$

В уравнениях (12), (13) P_n – вероятность того, что в наличии имеются n единиц товара, P_0 – вероятность того, что товар отсутствует, N – максимальное число товаров (найдено из решения задачи оптимизации ассортимента товаров), $\rho = \lambda / \mu$ – показатель нагрузки системы.

Средний объем запасенного товара, находящихся в системе находится как

$$\bar{n} = \frac{\rho(1 - \rho^N(N + 1 - N\rho))}{(1 - \rho^{N+1})(1 - \rho)}. \quad (14)$$

Ожидаемое число единиц товара, реализованного на горизонте управления:

$$\bar{N} = \mu \left(1 - \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \right). \quad (15)$$

Обозначим через C_1 издержки выполнения заказа одной единицы товара, а через C_2 затраты на хранение единицы товара. Тогда $C_1\lambda$ – издержки выполнения заказа товара или $C_1\rho\mu$, а $C_2\bar{n}$ – затраты на хранение запасенного товара.

Пусть доход на единицу проданного товара равен Z . Тогда прибыль от реализации товара на горизонте управления товарными запасами составит

$$F = Z\mu \left(1 - \frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}} \right) - C_1\rho\mu - C_2 \frac{\rho(1-\rho^N(N+1-N\rho))}{(1-\rho^{N+1})(1-\rho)}. \quad (16)$$

Получено выражение для ρ , доставляющего максимум прибыли (16). По найденному ρ и известному μ из выражения $\rho = \lambda / \mu$ легко рассчитывается оптимальная интенсивность пополнения запасов λ .

Модель с непрерывным пополнением запасов эффективна в тех случаях, когда невыгодно заказывать товар крупными партиями, а выгоднее штучное пополнение, но с широким ассортиментом.

Пополнение запасов партиями. Как и в модели с непрерывным пополнением запасов покупатели прибывают за товаром с интенсивностью μ человек в единицу времени. Распределение спроса во времени является пуассоновским. Длительность промежутка времени от момента подачи заказа на пополнение запасов до момента поступления товара имеет показательное (экспоненциальное) распределение. При показательном законе и потоке событий с интенсивностью λ среднее время доставки заказа составляет $T = 1/\lambda$.

Пусть при уменьшении уровня запасов до критического уровня P («точки заказа») заказывается количество товара, равное Q единицам, так что

$$P + Q = M, \quad (17)$$

где M – максимальное количество товара, которое может принять торговая организация. Поскольку величина M для каждого наименования товаров была получена из решения задачи оптимизации ассортимента товаров и их объемов, определению подлежит либо точка заказа P для каждого наименования товара, либо объем заказа каждой партии Q . Очевидно, что установив любое из этих значений, второе можно найти из уравнения (17).

Пусть как и в предыдущей модели P_n есть вероятность того, что в наличии имеются n единиц товара. Применение правила «заказывать Q единиц товара, когда уровень запасов уменьшится до P , и заказывать M единиц товара, когда уровень запасов уменьшается до нуля», означает, что:

- 1) система S переходит из состояния S_n в состояние S_{n-1} при продаже единицы товара с интенсивностью μ ;
- 2) система S переходит из состояния S_n ($n \neq 0$) в состояние S_{n+Q} и из состояния S_0 в состояние S_M , при пополнении запаса с интенсивностью λ .

Случайный процесс, протекающий, например, в системе S с шестью состояниями (M равно пяти единицам, а точка заказа P двум единицам товара), показан на рис.3.

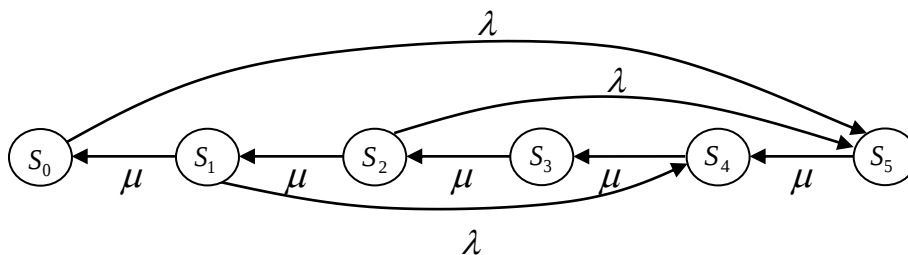


Рис.3. Случайный процесс движения товаров при заказе товара партиями

На рис. 3 видно, что при отсутствии товара делается заказ на пополнение запаса до максимального уровня. Далее, как только запас товара уменьшается до двух единиц (точки заказа) следует заказ товара в количестве трех единиц.

Пополнение запаса может наступить до прибытия очередного покупателя (в этом случае система перейдет из состояния S_2 в состояние S_5), либо уже после прибытия очередного покупателя и продажи ему единицы товара (в этом случае система перейдет из состояния S_1 в состояние S_4) и т.д.

Стационарные решения:

$$P_n = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^{n-1}, \text{ для } 0 < n \leq P, \quad (18)$$

$$P_n = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P, \text{ для } P < n \leq M - P + 1, \quad (19)$$

$$P_n = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \left[1 + \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P - \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^{n-Q-1} \right], \text{ для } M - P + 1 < n \leq M, \quad (20)$$

где

$$P_0 \approx \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)}. \quad (21)$$

Среднее число запасенных товаров, находящихся в системе в стационарном режиме определяется по формуле

$$\bar{n} \approx \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[\frac{1 - \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \left(P + 1 - P \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)}{\left[1 - \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right) \right]^2} + \left(\frac{M(M + 1) - P(P + 1)}{2} \right) \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \right]. \quad (22)$$

Следует обратить внимание на то, формулы для расчета вероятности дефицита запасов (21) и среднего числа запасенных товаров (22) являются приближенными. Сравнение результатов расчетов P_0 и $\bar{n}$, полученных по точным и приближенным выражениям, показало, что значения достаточно близки между собой. Максимальная относительная ошибка для разных M, P и Q не превышала 10 %.

Пусть, как и ранее, Z – доход на единицу проданного товара, C_1 – издержки выполнения заказа, C_2 – затраты на хранение единицы товара. Если спрос на товар на горизонте управления составляет μ , то количество заказов в установившемся режиме будет равно μ/Q . Тогда прибыль на горизонте управления товарными запасами составит

$$F = Z\mu \left(1 - \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \right) - C_1 \frac{\mu}{Q} - C_2 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P (\mu + Q\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \times \left[\frac{1 - \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \left(P + 1 - P \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)}{\left[1 - \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right]^2} + \left(\frac{M(M + 1) - P(P + 1)}{2} \right) \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \right]. \quad (23)$$

Нас интересуют критический уровень заказа P и объем каждой партии Q , максимизирующие F . Поскольку P и Q связаны уравнением (17) подставим в (23) $M - P$ вместо Q . В

результате получим

$$F = Z\mu \left(1 - \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P [\mu + (M - P)\lambda]} \right) - C_1 \frac{\mu}{M - P} - C_2 \frac{\mu^{P+1}}{(\mu + \lambda)^P [\mu + (M - P)\lambda]} \frac{\lambda}{\mu} \times$$

$$\times \left[\frac{1 - \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \left(P + 1 - P \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)}{\left[1 - \frac{\mu + \lambda}{\mu} \right]^2} + \left(\frac{M(M + 1) - P(P - 1)}{2} \right) \left(\frac{\mu + \lambda}{\mu} \right)^P \right]. \quad (24)$$

Возьмем производную выражения (24) по P и приравняем результат к нулю, получим выражение для нахождения оптимального значения критического объема запаса P , а из выражения (17) найдем оптимальный размер партии запасов Q .

В четвертой главе приведены модели и алгоритмы поддержки принятия решений, необходимые для практической реализации разработанных в работе моделей и методов.

Задача управления ассортиментом товаров и товарными запасами на основе разработанных в диссертации математических моделей сложна из-за высокой размерности определяемых переменных, наличия огромного числа идентифицируемых параметров моделей и ограничений. С помощью *ABC*-анализа существенно снижена размерность задачи и повышена эффективность управления ассортиментом и запасами. В табл.1 приведены результаты разбиения ассортимента товаров на группы дифференциальным методом *ABC*-анализа.

Таблица 1

Результаты *ABC*-анализа дифференциальным методом

Группа	Количество наименований в группе	Распределение по группам, %	Распределение по доходам от продаж, %
<i>A</i>	123	6,86	51,45
<i>B</i>	402	22,43	25,64
<i>C</i>	1267	70,71	22,91
Всего	1792	100	100

Из табл. 1 видно, что $\approx 7\%$ или 123 наименования лекарственных средств приносят более половины дохода от продаж. Группа *B* (22,43 % или 402 наименования) обеспечивает чуть более 25 % доходов; группа *C* (70,71 % или 1267 наименования) обеспечивает почти 23 % дохода.

В виду того, что основную прибыль приносят товары групп *A* и *B*, достаточно задачу управления ассортиментом и запасами на основе разработанных моделей решать лишь для товаров групп *A* и *B*.

Эффективность системы управления ассортиментом и товарными запасами в значительной степени зависит от способности дать с приемлемой точностью прогноз спроса на товары. Показано, что для прогнозирования спроса на «сезонные» и «несезонные» товары эффективно использование разных моделей. Так, для товаров, сбыт которых не подвергался значительным сезонным колебаниям, эффективной является линейная модель, описывающая лишь основную тенденцию. Для товаров, сбыт которых значительно меняется во времени и для которых наблюдаются заметные колебания сбыта в зависимости от времени года, эффективной является комбинированная модель, которая кроме основной тенденции, описываемой линейной уравнением, описывает и сезонную составляющую с помощью тригонометрических рядов Фурье.

Для выделения из номенклатурного списка сезонных и несезонных товаров использо-

вался коэффициент корреляции между годовыми циклами.

На рис. 4 в качестве примера представлены данные сбыта лекарственного средства «Цитрамон» и математическая модель для вычисления прогнозного значения спроса, а на рис. 5 показаны данные о сбыте и расчетные по модели значения сбыта аскорбиновой кислоты, в том числе прогнозные значения сбыта на следующий календарный год.

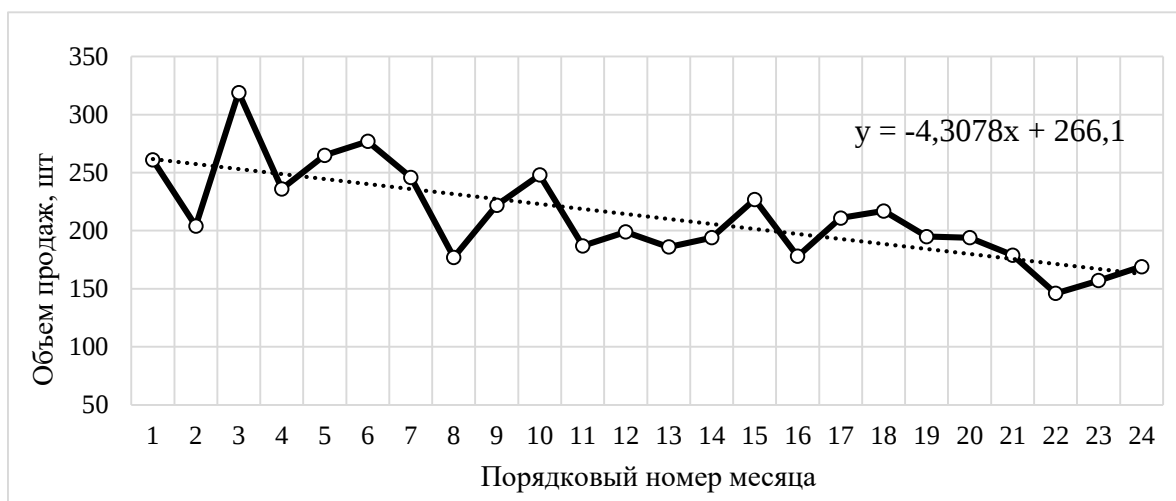


Рис.4. Данные реализации и модель прогнозирования спроса на цитрамон

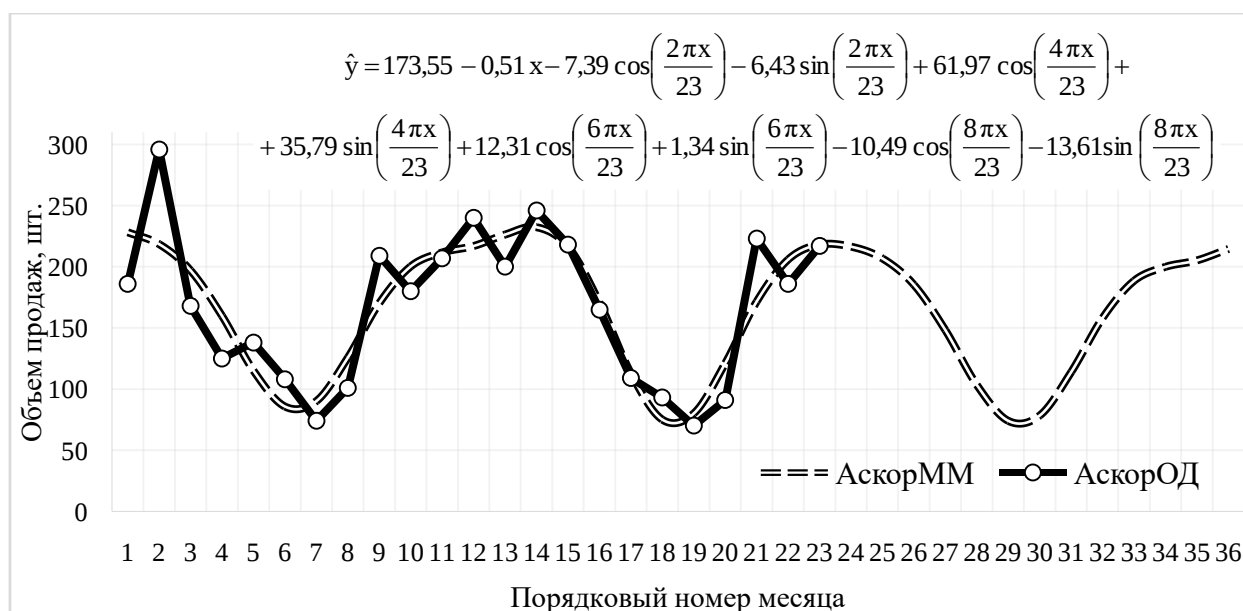


Рис.5. Данные продаж и модель прогнозирования спроса аскорбиновой кислоты

Предложенный в работе подход к управлению ассортиментом и товарными запасами может быть продемонстрирован с помощью информационно-логической модели поддержки принятия решений, которая графически отображает логическую структуру решения исследуемой задачи (рис.6).

Информационно-логическая модель иллюстрирует модули поддержки принятия решений, а также их взаимоотношения между собой и может быть положена в основу разрабатываемых систем поддержки принятия решений при управлении ассортиментом и товарными запасами.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты проведенного исследования.

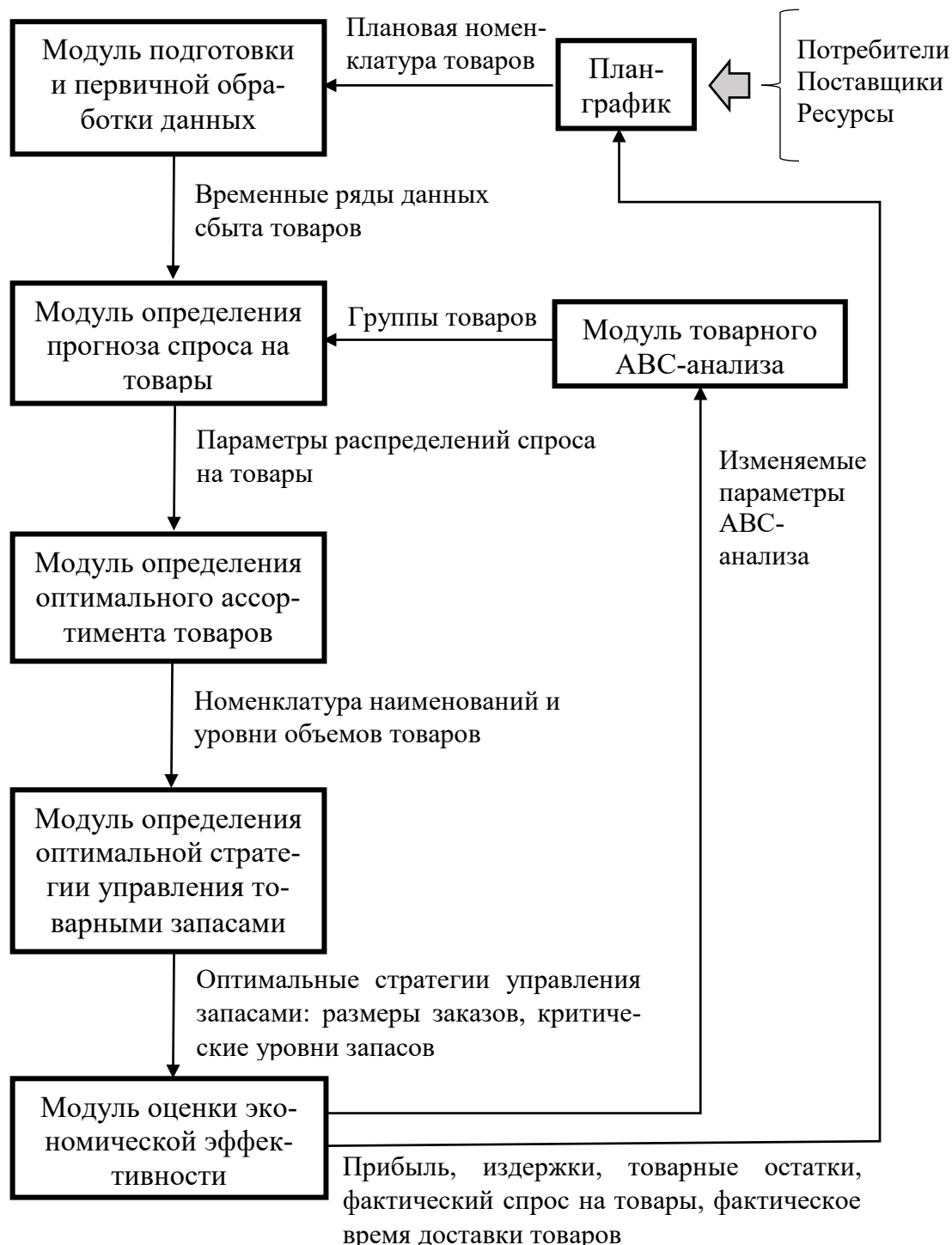


Рис.6. Информационно-логическая модель поддержки принятия решений при управлении ассортиментом и товарными запасами

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Поставлена двухэтапная задача управления ассортиментом и товарными запасами: на первом этапе определяются ассортимент и объемы товаров, обеспечивающие максимум прибыли торгового предприятия на горизонте управления; на втором этапе с учетом найденного на предыдущем этапе ассортимента товаров и их объемов находится оптимальная стратегия пополнения запасов на горизонте управления.

2. Разработана математическая модель задачи определения оптимального ассортимента товаров при случайном спросе на товар, в которой реализована вероятностная оцен-

ка эффективности ассортимента товаров и их запасов. Показано, что спрос на товары хорошо описывается нормальным законом распределения вероятностей.

3. Предложен эффективный алгоритм решения нелинейной задачи оптимизации ассортимента товаров, основанный на методе кусочно-линейной аппроксимации нелинейной целевой функции, позволяющий свести задачу нелинейного программирования к задаче линейного программирования, легко реализуемый на ЭВМ.

4. Разработаны математические модели задачи управления запасами на основе теории массового обслуживания: модель с непрерывным пополнением запасов; модель пополнения запасов партиями.

5. Для системы с непрерывным пополнением товарных запасов найдены точные аналитические выражения для расчета вероятностей дефицита товаров и среднего числа товаров в СМО. Для системы с пополнением запасов партиями найдены приближенные выражения для расчета вероятностей дефицита товаров и среднего числа товаров в СМО. Полученные аналитические и приближенные выражения позволили сформировать критерии оптимальности, поставить задачи управления товарными запасами и найти оптимальные стратегии управления.

6. Разработаны модели и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении ассортиментом и товарными запасами, включающие методы снижения размерности задачи управления ассортиментом и товарными запасами, оценки сезонности товаров, модели прогнозирования спроса на товары по ретроспективным данным сбыта товаров.

7. Разработана информационно-логическая модель поддержки принятия решений, которая может быть положена в основу проектируемой СППР по управлению ассортиментом и товарными запасами в торговых организациях.

8. Результаты выполненных исследований положены в основу разработки СППР по управлению ассортиментом и товарными запасами больничных аптек лечебных организаций Ангарского городского округа. Результаты исследования приняты к внедрению в учебном процессе ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет».

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Истомина А.А. Оптимальное управление закупками в условиях неопределенности / Истомина А.А., Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. № 3(47). С.131-137.

2. Истомина А.А. Задача формирования оптимального ассортимента и товарных запасов в розничной торговле в условиях неопределенности / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. № 2. С.105-116.

3. Истомина А.А. Оптимизация задачи управления запасами при случайном спросе / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Извест. Самарск. науч. центра РАН. – 2017. т. 19, №1(2). С. 406-409.

4. Истомина А.А. Математические модели поддержки принятия решений в управлении ассортиментом и товарными запасами // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. № 2(54). С. 126-132.

5. Истомина А.А. Управление товарными запасами на основе теории массового обслуживания / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Вестн. Сиб. гос. ун-та телекоммуникаций и информатики. Новосибирск – 2017. № 3. С. 94-103.

В других изданиях:

6. Истомина А.А. К постановке задачи оптимального планирования закупок

лекарственных препаратов в лечебных учреждениях // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов Междунар. науч. конф. – ММТТ-26: в 2-х ч. Ч.1. / Под общ. ред. А.А. Большакова. Ангарск: АГТА; Иркутск: ИГУ – 2013. С. 36-37.

7. Истомина А.А. Оптимизация закупок лекарственных средств в условиях неопределенности / Истомина А.А., Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Сб. науч. тр. молод. ученых и студентов АГТА. Ангарск – 2014. С. 12-18.

8. Истомина А.А. Постановка задачи нахождения оптимального ассортимента лекарственных средств / Истомина А.А., Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Вестник АнГТУ – 2015. № 9. С.114-117.

9. Истомина А.А. Постановка задачи нахождения оптимального ассортимента лекарственных средств в условиях неопределенности / Истомина А.А., Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Вестник АнГТУ – 2015. № 9. С.118-122.

10. Истомина А.А. Управление ассортиментом и запасами лекарственных средств в аптечных организациях / Истомина А.А., Истомин А.Л. // Сб. науч. тр. АГТА. Ангарск – 2015. С. 41-45.

11. Истомина А.А. Оптимальное управление товарными запасами на основе теории массового обслуживания / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Вестник АнГТУ – 2016. № 10. С.148-152.

12. Истомина А.А. Оценка спроса на лекарственные средства в задаче управления товарными запасами / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Вестник АнГТУ – 2016. № 10. С.153-158.

13. Истомина А.А. Анализ продаж лекарственных средств // Сб. науч. тр. молод. ученых и студентов АнГТУ. Ангарск – 2016. С. 90-94.

14. Истомина А.А. Анализ и прогнозирование продаж лекарственных средств в аптечных организациях / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов XXIX Междунар. науч. конф. – ММТТ-29: в 12 т. Т.3. Саратов – 2016. С. 136-139.

15. Истомина А.А. Постановка задачи оптимизации ассортимента товаров в розничной торговле в условиях неопределенности / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Естественные и технические науки в современном мире: сб. трудов XI Междунар. науч.-практ. конф. Москва – 2017. С. 13-17.

16. Истомина А.А. Модель управления запасами при случайном спросе / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Обработка информации и математическое моделирование: Российская научн.-техн. конф. Новосибирск: СибГУТИ – 2017. С. 233-237.

17. Истомина А.А. Поддержка принятия решений по управлению запасами в условиях неопределенности / Истомина А.А., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Информационные и математические технологии в науке и управлении – 2017. С. 114-117.

18. Истомина А.А. Стратегии и методы управления товарными запасами / Истомина А.А., Истомин А.Л. // Вестник АнГТУ – 2017. № 11. С. 122-127.

Подписано в печать 30.01.2018. Формат 60 х 90 / 16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № .

Отпечатано в типографии АнГТУ
Адрес: 665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, д. 60.