

*На правах рукописи*



**Маслов Сергей Евгеньевич**

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ В  
УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Специальность: 08.00.13 –

Математические и инструментальные методы экономики (экономические  
науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата экономических наук

Москва – 2019

Работа выполнена на кафедре математических методов экономики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. Г.В. Плеханова», г. Москва.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор  
**Косоруков Олег Анатольевич**

Официальные оппоненты **Бродецкий Геннадий Леонидович**  
Доктор технических наук, профессор  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Факультет бизнеса и менеджмента,  
Профессор Школы логистики

**Ильин Игорь Васильевич**  
Доктор экономических наук, профессор  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
Директор Высшей школы Управления и бизнеса,

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Защита состоится 26 июня 2019 года в 13:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.196.15 на базе ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, корп. 3, ауд. 353.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Научно-информационном библиотечном центре им. академика Л.И. Абалкина ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Зацепа, д. 43 и на сайте организации: <http://ords.rea.ru/>

Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_2019 г.

И.о. ученого секретаря

Диссертационного совета Д 212.196.15,  
доктор экономических наук, профессор



Мхитарян  
Сергей Владимирович

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Оптимизация товарных потоков в системах управления запасами, обеспечивающая максимизацию удовлетворения потребительского спроса и снижение торговых издержек, является достаточно эффективным направлением повышения конкурентоспособности и финансовой устойчивости компаний, производящих и реализующих товары для населения.

С одной стороны, компаниям необходимо осуществлять вложения в формирование запасов, с целью максимального удовлетворения спроса клиентов. С другой стороны, не менее значимой проблемой является обеспечение рентабельности этих вложений, поиск новых вариантов снижения издержек и увеличение прибыли. С учетом этого теоретически оптимальным является состояние, когда запасов нет и при этом полностью удовлетворяются производственные потребности фирмы, но такого состояния трудно достичь в реальных условиях. В этой связи возникает проблема нахождения компромисса между объемом запаса и степенью удовлетворения спроса на реализуемые товары и услуги, которая обычно решается на основе оптимизации управления запасами. Многие компании несут необоснованно завышенные издержки в процессе управления запасами из-за ошибок при формировании их структуры, оценки отдельных ее составляющих элементов, включая возможные риски потерь вследствие недостоверных прогнозов спроса, последствий его неудовлетворения, неправильной оценки запасов и т.д. Эти случайные по своей природе ошибки во многом являются следствием неопределенности, обусловленной неточностью прогнозов размера спроса, временными отклонениями в сроках поставок, потерями продукции ограниченного срока хранения и другими факторами, которая существенно усложняет вопросы принятия логистических решений, и ведет к увеличению издержек, а следовательно, и потере конкурентоспособности предприятия. В силу вышесказанного, поиск оптимальной стратегии управления товарными запасами с учетом состава издержек, адекватных процессам его формирования в условиях неопределенности, является важным направлением повышения эффективности торговых и производственных предприятий, что и обосновывает актуальность данного диссертационного исследования.

**Степень научной разработанности проблемы.** Влияние стратегий управления запасами на экономические показатели предприятия широко представлены в отечественной и зарубежной научной литературе, в част-

ности в работах Аникина Б.А., Тяпухина А.П., Бродецкого Г.Л., Просветова Г.И., Цвиренько И.А., Шикина Е.В., Чхартишвили А.Г., Шрайбфедер Дж. и других авторов. Определенную сложность при решении этой проблемы представляет учет элементов случайности и неопределенности параметров рассматриваемых процессов. В такой ситуации в России большинство торговых предприятий при управлении товарными запасами ориентируются на средние показатели спроса и длительности поставки.

Вместе с тем, подходы к получению оптимальных решений управления потоками запасов в условиях неопределенности по формированию объемов и времени поставки описаны в научных работах Дуброва А.М., Лагоши Б.А., Хрусталева Е.Ю., Шапиро Дж., Косорукова О.А., Свиридовой О.А., Рубальского Г.Б., Юдина Д.Б. Лотоцкого В.А., Рыжикова Ю.И.

Однако в большинстве этих работ используется предположение о нормальном законе распределения рассматриваемых случайных величин. Во многом это было обусловлено существующей в научных исследованиях традицией его применения в отсутствие достаточного объема статистических данных. Попытки восполнить отсутствие исходной информации экспертными оценками были предприняты в работах Петрусевича А.В., который предложил неопределенность спроса моделировать на основе вариационного спектра оценок экспертов. Исходя из предположения о равнозначности представленных экспертных оценок, автор обосновывает возможность использования равномерного распределения для описания отклонений в объемах спроса и времени поставки. Однако такое предположение не представляется обоснованным с точки зрения практики.

Кроме того, при оптимизации товарных потоков в критериях и ограничениях моделей не учитывается ряд практически важных издержек, как, например, издержки выплаты неустоек и издержки, связанные с риском потери клиентов в результате недопоставок или неполного удовлетворения спроса.

Необходимость повышения эффективности управления запасами и тем самым конкурентоспособности компаний на основе оптимизации момента назначения и объема поставки с учетом случайного характера фактического времени поставки и спроса и адекватного практике управления запасами состава издержек этого процесса и предопределили выбор объекта, предмета, цели и задач диссертационного исследования.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является разработка стохастических моделей оценки параметров и оптимального управления товарными запасами по показателям объемов и

сроков поставки в условиях неопределенности времени поставки и размеров спроса, обуславливающей риски возникновения дополнительных издержек.

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

1) выявлены направления совершенствования существующих подходов и моделей управления запасами в условиях неопределенности спроса и времени поставки;

2) расширен состав и уточнено содержание издержек, обусловленных нарушениями сроков поставки товаров и ошибками в оценке их объемов, в том числе и в связи с ошибками в оценках спроса;

3) предложены альтернативные варианты распределений, которые можно использовать для моделирования случайных отклонений в спросе и времени поставки при оценке и управлении товарными запасами при недостаточной исходной информации;

4) предложены варианты критериев эффективности управления сроками поставок, учитывающие расширенный состав детерминированных и случайных издержек, с использованием которых разработаны нелинейные непрерывные оптимизационные стохастические модели оценки момента назначения поставки при фиксированных сроках заказов;

5) предложены варианты критериев эффективности управления объемами поставок, учитывающие расширенный состав детерминированных и случайных издержек, с использованием которых разработаны нелинейные непрерывные оптимизационные стохастические модели оценки объемов поставки при фиксированных сроках доставки товаров длительного и ограниченного сроков хранения;

6) проведена верификация разработанных моделей оптимизации момента поставки и объема поставки для автотранспортных и железнодорожных однономенклатурных поставок.

**Объект и предмет исследования.** Объектом диссертационного исследования является система управления товарными запасами предприятия. Предметом исследования являются модели и методы оптимизации процессов управления запасами предприятия в условиях неопределенности параметров внешней среды.

**Область исследования.** Результаты диссертационного исследования соответствуют Паспорту специальностей ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по специальности 08.00.13 –

Математические и инструментальные методы экономики и пунктам областей исследования, а именно:

п. 1.4 Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений, п. 2.3 Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях.

**Теоретическая и методологическая основа исследования.** Теоретической и методологической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных специалистов по проблемам логистики, управления цепями поставок, управления запасами, управления рисками, исследования операций и методам оптимизации.

**Методы исследования.** В ходе выполнения исследования использовались методы математического анализа, теории оптимизации, финансового анализа, математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, методы оптимизационного моделирования. Для проведения расчетов на основе построенных моделей использовались программные пакеты «Microsoft Excel» и «Matlab».

**Научная новизна исследования.** Научная новизна диссертационного исследования состоит в разработке комплекса нелинейных непрерывных стохастических оптимизационных моделей управления запасами в условиях неопределенности спроса и времени поставки с уточненными критериями на минимум издержек управления запасами и максимум прибыли, учитывающими расширенный состав и стохастический характер дополнительных издержек, обусловленных сверхнормативным хранением, дефицитом, выплатами штрафов и пени, потерями продукции ограниченного срока хранения, риском потери клиентов и т.д., и аналитических методов решения оптимизационных задач определения объемов и сроков поставок при треугольных распределениях отклонений реальных величин спроса и времени поставки от ожидаемых.

Наиболее существенные результаты исследования, полученные лично автором и выдвигаемые на защиту, состоят в следующем:

1) расширен состав и уточнено содержание издержек управления запасами, среди которых наряду с традиционными издержками дефицита и хранения учтены издержки рисков потери клиентов, выплат штрафов, пе-

ни, возникающие в результате нарушения договорных обязательств, потери просроченной продукции с ограниченным сроком хранения;

2) обоснована целесообразность использования треугольного распределения для представления неопределенности случайных отклонений фактического момента поставки от момента назначенной поставки, а также фактического спроса от ожидаемого в случае недостаточности статистических данных;

3) разработаны нелинейные непрерывные стохастические модели оптимизации моментов назначения поставок в условиях неопределенности спроса и времени доставки и с фиксированными временами заказов с критериями на минимум математического ожидания различных вариантов суммарных издержек, включая дополнительные издержки дефицита, хранения нереализованной продукции, а также начисления неустоек за нарушение условий контрактных обязательств, в виде фиксированных штрафов и пени;

4) разработаны нелинейные непрерывные стохастические модели оптимизации объемов поставки в условиях неопределенности спроса и времени доставки с критериями на максимум математического ожидания прибыли и минимум математического ожидания суммарных издержек, в составе которых учитываются дополнительные издержки хранения нереализованной продукции, риски потери клиентов и риски потери просроченной продукции с ограниченным сроком хранения;

5) обоснованы алгоритмы аналитического решения задач оптимизации времени назначения поставки и объема поставки и на их основе получены параметрические аналитические решения этих задач для треугольных распределений случайных отклонений фактического момента поставки от момента назначенной поставки и отклонений фактического спроса от его предполагаемого уровня;

б) с использованием разработанных моделей оптимизации момента и объема поставок для автотранспортных и железнодорожных однономенклатурных поставок получены решения задач оптимального управления запасами, свидетельствующие о возможном снижении издержек на 5-7%.

**Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования.** Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в развитии подходов, оптимизационных моделей и методов управления процессом организации поставок в системах управления запасами торговых и производственных предприятий, использова-

ние которых обеспечивает повышение финансовой устойчивости и конкурентоспособности торговых и производственных предприятий.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования его результатов в практике операционного управления запасами торговых и производственных предприятий, в целях повышения эффективности их деятельности, повышения конкурентоспособности и надежности поставок на основе совершенствования управления запасами. Разработанные математические оптимизационные модели могут быть использованы в качестве теоретической основы в системах поддержки принятия решений при управлении товарными запасами торговых и производственных предприятий.

**Апробация и внедрение результатов исследования.** Достоверность результатов и выводов диссертационного исследования подтверждается их соответствием методологическим положениям теории управления запасами, применением комплекса методов аналитического исследования, использованием методов математического анализа, теории вероятностей и математической статистики. Научные результаты подтверждаются практическими расчетами.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты были апробированы в практике управления запасами в компании ООО «Сахар-Пром» и дали положительный эффект, подтвержденный актом о внедрении.

Основные научные положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на: III Международной научно-практической конференции «Инновационная экономика и менеджмент: Методы и технологии» (г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018 г.), XVII-XVIII международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы экономических наук и современного менеджмента» (г. Новосибирск, 2019 г.), XIX Международной научной конференции «Научный диалог: Экономика и менеджмент» (г. Санкт-Петербург, 2019 г.), Международной научно-практической конференции «XXXII Плехановские чтения» (г. Москва, ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2019 г.), XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019 г.).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 9 печатных работ общим объемом – 9,42 п.л. (авторских – 8,47 п.л.), в том числе 7 печатных работ в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные

результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук общим объемом – 7,63 п.л. (авторских – 6,68п.л.).

**Структура и объем диссертационной работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 224, включая 22 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 126 наименований и 17 приложений на 31 странице.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

### **1. Расширен состав и уточнено содержание издержек управления запасами.**

Отмечено, что повышение эффективности управления запасами производственно-сбытового предприятия, в основном, связывается со снижением издержек их формирования и неудовлетворенности спроса на поставляемые товары. В составе таких издержек обычно учитываются потери от снижения качества обслуживания клиентов, издержки хранения и дефицита товара, затраты на поддержание минимально необходимого уровня товарных запасов для обеспечения бездефицитных продаж, в совокупности обуславливающие снижение прибыли компании от реализации закупленного товара.

Вместе с тем в работе показано, что на практике в составе этих издержек необходимо также учитывать дополнительные издержки хранения, возникающие в следствие преждевременного и позднего завоза товара, а также риски невыполнения или невыполнения договорных обязательств по поставке товара. Дополнительные издержки хранения товара в зависимости от конкретных условий могут появиться вследствие увеличения арендных платежей, затрат на складское обслуживание товара, финансовых потерь, обусловленных эффектом замороженных денег и т.д. Ситуация преждевременного завоза может возникнуть и в силу неопределенности спроса, приводящего к образованию товарных излишков, что в случае товаров с ограниченным сроком хранения связано с риском потери части не реализованного товара.

Издержки позднего завоза товара включают в себя упущенную прибыль и издержки, связанные с риском потери клиентов вследствие неполного удовлетворения их спроса. Следует отметить, что в условиях растущей рыночной конкуренции, этот последний вид издержек приобретает все большую актуальность.

Риски невыполнения или невыполнения договорных обязательств по поставке товара характеризуются возможными дополнительными выплатами неустоек в виде штрафов или пени. Следует отметить, что в практике управления запасами данный вид издержек имеет тенденцию к росту, обусловленному ростом рыночной конкуренции, в частности в секторе обеспечения поставок сетевым розничным торговым предприятиям.

**2. Обоснована целесообразность использования треугольного распределения для представления неопределенности случайных отклонений фактического момента поставки от момента назначенной поставки, а также фактического спроса от ожидаемого в случае недостаточности статистических данных.**

В работе отмечено, что при управлении запасами необходимо принимать во внимание стохастический характер некоторых характеристик поставок товаров, обусловленный неопределенностью исходных данных. Важнейшими из них являются оценки спроса и времени поставки. На практике в целях упрощения процедур принятия управленческих решений по формированию товарных потоков обычно ориентируются на их средние показатели, которые могут определяться на основе спектра оценок экспертов, сценарного подхода к учету неопределенности, по предполагаемым законам распределения этих параметров, с учетом трендов изменения спроса и т.п. Однако такая ориентация в большинстве случаев существенно снижает эффективность управления. В этой связи специалисты предлагают при разработке стратегий управления запасами в условиях недостаточности исходных данных учитывать особенности предполагаемых законов распределения этих характеристик и, в частности, нормального или равномерного. Однако адекватность этих законов реальным распределениям спроса и времени поставки товаров часто не подтверждается. В частности, нормальный закон не учитывает ограниченность интервалов отклонений этих характеристик от соответствующих математических ожиданий, а равномерный их разноразмерный характер. В этой связи в работе в качестве их альтернативы предлагается использовать треугольные распределения. Важным преимуществом использования треугольных законов распределения является возможность получения аналитических решений задач оптимизации времени назначения поставки и объема поставки. Практическое использование треугольных распределений в практике компании ООО «Сахар-Пром» подтвердило их адекватность и эффективность.

**3. Разработаны нелинейные непрерывные стохастические модели оптимизации моментов назначения поставок в условиях неопреде-**

ленности спроса и времени доставки и с фиксированными временами заказов с критериями на минимум математического ожидания различных вариантов суммарных издержек, включая дополнительные издержки дефицита, хранения нереализованной продукции, а также начисления неустоек за нарушение условий контрактных обязательств, в виде фиксированных штрафов и пени.

В вариантах моделей оценки оптимального момента поставки оптимальные значения моментов поставки определяются по критерию минимума математического ожидания совокупных дополнительных издержек. В первом варианте в их составе учитываются издержки хранения излишков товара на складе, а также издержки, связанные с несвоевременным подвозом товара, а значит, и с неполным удовлетворением спроса. При этом предполагается, что поставка осуществляется точно в назначенные сроки. Случайная переменная - момент времени окончания товара на складе  $\alpha$ , определяется выражением (1):

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha_0$  - ожидаемое время окончания товара,  $\Delta\alpha$  - случайная величина, характеризующая отклонение реального времени окончания товара на складе от ожидаемого с плотностью распределения вероятностей  $\rho(\Delta\alpha)$ .

Дополнительные издержки хранения излишка товара на складе, определяемые по величине соответствующих затрат, могут возникнуть из-за раннего привоза товара. Предполагаем объем партии товара фиксированным и равным  $Q$ . В этом случае издержки хранения объема  $Q$  от момента поставки  $t^*$  и до реального обнуления товара  $\alpha$ , в случае, когда поставка товара произошла раньше срока  $t^*$  ( $t^* < \alpha$ ), определяются следующим выражением (2):

$$I = pQ(\alpha - t^*), \quad (2)$$

где  $p = const$  - суточная стоимость хранения единицы продукции.

Из-за позднего привоза товара может возникнуть дефицит товара, который приведет к недополученной прибыли. Связанные с ней издержки дефицита товара за период от момента реального обнуления товара  $\alpha$  и до момента поставки  $t^*$  в объеме  $Q$ , в случае, когда поставка товара произошла позже срока  $t^*$  ( $t^* > \alpha$ ), определяются следующим выражением (3):

$$D = \frac{Q}{\alpha_0} z(t^* - \alpha), \quad (3)$$

где  $z = const$  - прибыль от продажи единицы продукции,  $Q/\alpha_0$  - средний суточный объем продаваемого товара.

С учетом (2) и (3) общие дополнительные издержки хранения и дефицита рассчитываются по формуле (4):

$$I + D = \begin{cases} pQ(\alpha - t^*), t^* < \alpha; \\ \frac{Q}{\alpha_0} z(t^* - \alpha), t^* > \alpha. \end{cases} \quad (4)$$

С учетом случайного характера переменной  $\Delta\alpha$  математическое ожидание общих дополнительных издержек хранения и дефицита может быть оценено по формуле (5):

$$F(t^*) = \int_{\Delta\alpha \leq t^* - \alpha_0} \frac{Q}{\alpha_0} z(t^* - \alpha_0 - \Delta\alpha) \rho(\Delta\alpha) d\Delta\alpha + \\ + \int_{\Delta\alpha \geq t^* - \alpha_0} pQ(\alpha_0 + \Delta\alpha - t^*) \rho(\Delta\alpha) d\Delta\alpha. \quad (5)$$

Задача минимизации дополнительных издержек управления запасами, состоит в отыскании такого момента назначения поставки  $t^*$ , при котором математическое ожидание общих издержек будет минимальным.

В нелинейной непрерывной стохастической модели оптимизации момента поставки с учетом неопределенности времени поставки предполагается детерминированным спрос, т.е. точно известен момент окончания товара  $\alpha$  в объеме  $Q$ . Предполагается, что случайный момента реального прихода товара на склад  $x$ , определяется выражением (6):

$$x = t^* + \Delta t, \quad (6)$$

где  $t^*$  - момент назначения доставки товара,  $\Delta t$  - случайная величина, описывающая отклонение реального времени поставки от ожидаемого с плотностью распределения вероятностей  $\rho(\Delta t)$ . Такая ситуация характерна, например, для поставок из-за рубежа, связанных с процессами растаможивания товара или с комбинированными поставками несколькими видами транспорта. В данной модели учитываются дополнительные издержки хранения и дефицита, аналогично модели, описанной выше. Математическое ожидание общих издержек принимает вид, согласно (7):

$$F(t^*) = \int_{\Delta t \geq \alpha - t^*} \frac{Q}{\alpha} z(t^* + \Delta t - \alpha) \rho(\Delta t) d\Delta t + \\ + \int_{\Delta t \leq \alpha - t^*} pQ(\alpha - t^* - \Delta t) \rho(\Delta t) d\Delta t. \quad (7)$$

Задача минимизации дополнительных издержек управления

запасами, состоит в отыскании такого момента назначения поставки  $t^*$ , при котором математическое ожидание суммарных издержек будет минимальным.

Варианты моделей оптимизации момента поставки в условиях неопределенности времени доставки также различаются по составу, учитываемых в критериях издержек.

В первой из них в качестве целевой функции рассматривается математическое ожидание интегральных дополнительных издержек, включающие издержки хранения до начала контрактных поставок и издержки выплаты штрафов за нарушение контрактных условий поставки. Математический вид целевой функции модели представлен выражением (8):

$$F(t^*) = \int_a^{t_1 - t^*} HQ(t_1 - t^* - \Delta t)f(\Delta t)d\Delta t + \sum_{i=1}^n p_i(t^*)V_i, \quad (8)$$

где  $p_1(t^*), p_2(t^*), \dots, p_n(t^*)$  – вероятности выплаты соответствующего штрафа, зависящие от момента назначения поставки  $t^*$ , а  $Q$  – объем поставки в рассматриваемый период.

Вероятности штрафов при заданном моменте поставки могут быть выражены через функцию плотности распределения вероятностей как:

$$p_i(t^*) = \begin{cases} \int_{t_i - t^*}^b f(\Delta t)d\Delta t, & t_i \leq t^* + b, \\ 0, & t_i > t^* + b, \end{cases} \quad (9)$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – последовательные моменты поставок в рассматриваемый период, а  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – абсолютные значения фиксированных штрафов за нарушение сроков соответствующих поставок.

Во втором варианте модели в качестве целевой функции рассматривается математическое ожидание интегральных дополнительных издержек, включающие издержки хранения до начала контрактных поставок и издержки выплаты пени за нарушение сроков поставки. Предполагаем, что пени начисляются за каждый день задержки поставки и исчисляются как фиксированная доля от общей суммы поставки. Пусть  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – значения фиксированных долей от общей суммы поставки при начислении пени за нарушение сроков соответствующих поставок, а  $W_1, W_2, \dots, W_n$  – общие суммы соответствующих поставок.

С учетом этих обозначений вид целевой функции может быть представлен следующим выражением (10):

$$F(t^*) = \int_a^{t_1 - t^*} HQ(t_1 - t^* - \Delta t)f(\Delta t)d\Delta t + \sum_{i=1}^n m_i W_i P_i(t^*), \quad (10)$$

где  $P_1(t^*), P_2(t^*), \dots, P_n(t^*)$  – математическое ожидание количества дней просрочки при нарушении соответствующей поставки, зависящее от момента назначения поставки  $t^*$ , вычисляемые согласно выражения (11), а  $Q$  – объем поставки в рассматриваемый период.

$$P_i(t^*) = \begin{cases} \int_{t_i - t^*}^b (t^* + \Delta t - t_i)f(\Delta t)d\Delta t, & t_i \leq t^* + b, \\ 0, & t_i > t^* + b. \end{cases} \quad (11)$$

В обоих вариантах моделей решением является момент назначения поставки  $t^*$ , минимизирующий математическое ожидание соответствующих издержек. В работе представлены алгоритмы аналитического решения задач (8) и (10) для случая треугольных распределений случайных отклонений фактического времени поставки от момента назначенной поставки  $\Delta t$ .

**4. Разработаны нелинейные непрерывные стохастические модели оптимизации объемов поставки в условиях неопределенности спроса и времени доставки с критериями на максимум математического ожидания прибыли и минимум математического ожидания суммарных издержек.**

В представленном в работе варианте моделей оптимизации объема поставки предполагается, что поставка осуществляется точно в назначенные сроки, а момент времени окончания товара на складе  $\alpha$ , рассматривается как случайная переменная, определяемая соотношением (1), в котором  $\Delta\alpha$  представляет собой случайную величину. Математическое ожидание суммарных дополнительных издержек определяется следующим соотношением (12):

$$F(Q) = \int_{\Delta\alpha \leq t^* - \frac{Q}{q}} qz\left(t^* - \frac{Q}{q} - \Delta\alpha\right)\rho(\Delta\alpha)d\Delta\alpha + \int_{\Delta\alpha \geq t^* - \frac{Q}{q}} pQ^*\left(\frac{Q}{q} + \Delta\alpha - t^*\right)\rho(\Delta\alpha)d\Delta\alpha, \quad (12)$$

где  $Q^*$  известный (или прогнозируемый) объем партии товара, который придет после реализации завезенного в момент  $t^*$  товара в объеме  $Q$ . За-

дача минимизации дополнительных издержек управления запасами, состоит в отыскании такого объема поставки  $Q$ , при котором математическое ожидание суммарных дополнительных издержек будет минимальным.

В модели оптимизации объема поставки с учетом неопределенности времени поставки предполагается, что спрос детерминирован, т.е. момент окончания товара  $\alpha$  может быть точно рассчитан. Такая ситуация характерна, например, для случаев отпуска товара по предварительно согласованным графикам. Однако при этом существует неопределенность времени поставки товара. Неопределенность времени реального прихода товара на склад  $x$ , рассматривается как случайная переменная, определяемая соотношением (6), в котором  $\Delta t$  представляет собой случайную величину. В качестве критерия оптимизации рассматривается математическое ожидание суммарных дополнительных издержек хранения и дефицита, определяемое выражением (13):

$$F(Q) = \int_{\Delta \alpha \leq t^* - \frac{Q}{q}} qz \left( t^* - \frac{Q}{q} - \Delta t \right) \rho(\Delta t) d\Delta t + \\ + \int_{\Delta \alpha \geq t^* - \frac{Q}{q}} pQ^* \left( \frac{Q}{q} + \Delta t - t^* \right) \rho(\Delta t) d\Delta t. \quad (13)$$

В рассматриваемой модели оптимизационная задача заключается в отыскании объема поставки  $Q$ , минимизирующего математическое ожидание суммарных дополнительных издержек.

В ряде моделей оптимизации объема поставки в условиях неопределенности спроса в качестве критерия также рассматривается ожидаемая прибыль.

В первом варианте модели этот показатель определен как математическое ожидание прибыли от реализации товара в рассматриваемом периоде за вычетом издержек хранения и рисков потери клиентов для случая товаров длительного использования. При этом предполагается, что, издержки хранения возникают при образовании нереализованных излишков товара, а риски потери клиентов возникают вследствие невозможности полностью удовлетворить спрос данного периода. Предполагается также, что невостребованный излишек товара переходит как входящий остаток на следующий период и учитывается при определении объема завоза товара следующего периода. Целевая функция этой задачи представлена выражением (14):

$$F(Q) = \int_0^Q (vx + h(Q - x))f(x)dx + \int_Q^{XM} (vQ + w(x - Q))f(x)dx. \quad (14)$$

Решением этой задачи является значение объема поставки  $Q$ , максимизирующее значение функции (14) на допустимом множестве значений, а именно на отрезке  $[0, XM]$ , где  $XM$  есть максимально возможный объем спроса в рассматриваемый период,  $v$  - прибыль от реализации единицы товара,  $h$  - издержки хранения единицы товара,  $w$  - усредненные финансовые потери компании в случае потери клиента, обусловленные неудовлетворением спроса в единичном объеме,  $f(x)$  - плотность распределения вероятностей случайной величины спроса в рассматриваемом периоде. В работе представлен алгоритм построения аналитического решения задачи (14) для треугольного закона распределения случайной величины спроса.

Во втором варианте оптимизации объема поставки в качестве критерия рассматривается математическое ожидание прибыли от реализации товара в рассматриваемом периоде за вычетом издержек хранения и рисков потери клиентов для случая товаров с ограниченным сроком хранения. В этих издержках учитывается, что нереализованный остаток рассматриваемого периода считается просроченным и далее не рассматривается, т.е. выходит из оборота. С учетом этого целевая функция задачи определена выражением (15):

$$F(Q) = \int_0^Q (c_2x + h(Q - x))f(x)dx + \int_Q^{XM} (c_2Q + w(x - Q))f(x)dx - c_1Q, \quad (15)$$

где  $c_1$  - цена закупки товара,  $c_2$  - цена продажи товара.

Решением этой задачи является значение объема поставки  $Q$ , максимизирующее функцию (15) на допустимом множестве значений.

В работе представлен алгоритм построения аналитического решения задачи (15) для треугольного закона распределения случайной величины спроса.

**5. Обоснованы алгоритмы аналитического решения задач оптимизации времени назначения поставки и объема поставки и на их основе получены параметрические аналитические решение этих задач для треугольных распределений случайных отклонений фактического**

**момента поставки от момента назначенной поставки и отклонений фактического спроса от его предполагаемого уровня.**

В работе предполагается, что случайные величины  $\Delta\alpha$  и  $\Delta t$  распределены по треугольному закону на отрезке  $[a, b]$ . Параметры  $a, b, c$  – определяются из статистических данных, либо с помощью оценок экспертов, при соблюдении следующего условия:  $a \leq c \leq b, a < b$ , где  $a$  - нижний предел,  $b$  - верхний предел,  $c$  - мода (значение, встречающиеся в распределении наиболее часто).

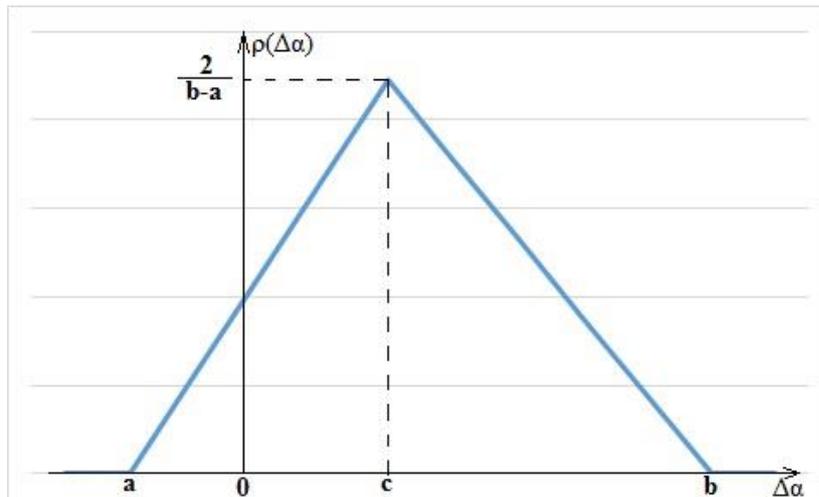


Рисунок 1. График плотности распределения случайной величины  $\Delta\alpha$ .

На рисунке 1 представлен график плотности распределения случайной величины  $\Delta\alpha$ , а функция плотности распределения вероятностей соотношением (16). Для случайной величины  $\Delta t$  графическое представление и формульное выражение функции плотности распределения полностью аналогичны.

$$\rho(\Delta\alpha) = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta\alpha < a; \\ \frac{2(\Delta\alpha - a)}{(b - a)(c - a)}, & \text{при } a \leq \Delta\alpha < c; \\ \frac{2}{(b - a)}, & \text{при } \Delta\alpha = c; \\ \frac{2(b - \Delta\alpha)}{(b - a)(b - c)}, & \text{при } c < \Delta\alpha \leq b; \\ 0, & \text{при } b < \Delta\alpha. \end{cases} \quad (16)$$

В случае треугольного распределения случайной величины  $\Delta\alpha$  оптимизационная задача (5) имеет следующее параметрическое аналитическое решение:

$$t^* = \begin{cases} a + \alpha_0 + \sqrt{\frac{p(b-a)(c-a)}{\left(\frac{z}{\alpha_0} + p\right)}}, & \text{если верно неравенство (17)} \\ b + \alpha_0 - \sqrt{\frac{\frac{z}{\alpha_0}(b-a)(b-c)}{\left(\frac{z}{\alpha_0} + p\right)}}, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$p \left( b + c - 2a - 2 \sqrt{\frac{p(b-a)(c-a)}{\left(\frac{z}{\alpha_0} + p\right)}} \right) < \frac{z}{\alpha_0} \left( 2b - a - c - 2 \sqrt{\frac{\frac{z}{\alpha_0}(b-a)(b-c)}{\left(\frac{z}{\alpha_0} + p\right)}} \right) .$$

(17)

В случае выполнения неравенства (17) для нахождения оптимального момента назначения поставки  $t^*$  к минимально возможному сроку окончания товара  $(a + \alpha_0)$  прибавляется некоторая положительная величина, которая не превосходит величину  $(b-a)$ , и тем самым искомый момент поставки не превосходит максимально возможного срока окончания товара. В случае нарушения неравенства (17) для нахождения оптимального момента назначения поставки  $t^*$  от максимально возможного срока окончания товара  $(b + \alpha_0)$  вычитается некоторая положительная величина, которая не превосходит величину  $(b-a)$ , и тем самым искомый момент поставки превосходит минимально возможный срок окончания товара.

В случае треугольного распределения случайной величины  $\Delta t$  оптимизационная задача (7) имеет следующее параметрическое аналитическое решение:

$$t^* = \begin{cases} \alpha - a - \sqrt{\frac{\frac{z}{\alpha}(b-a)(c-a)}{\left(\frac{z}{\alpha} + p\right)}}, & \text{если верно неравенство (18)} \\ \alpha - b + \sqrt{\frac{p(b-a)(b-c)}{\left(\frac{z}{\alpha} + p\right)}}, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$p \left( 2b - a - c - 2 \sqrt{\frac{p(b-a)(b-c)}{\left(\frac{z}{\alpha} + p\right)}} \right) > \frac{z}{\alpha} \left( b + c - 2a - 2 \sqrt{\frac{\frac{z}{\alpha}(b-a)(c-a)}{\left(\frac{z}{\alpha} + p\right)}} \right)$$

(18)

В случае выполнения неравенства (18) для нахождения оптимального момента назначения поставки  $t^*$  срок поставки точно в момент окончания товара в случае самого раннего завоза товара  $(a - a)$  уменьшается на

некоторую положительную величину, которая не превосходит величину  $(b-a)$ , и тем самым искомый момент поставки превосходит срок поставки точно в момент окончания товара в случае самого позднего завоза товара. В случае нарушения неравенства (18) для нахождения оптимального момента назначения поставки  $t^*$  срок поставки точно в момент окончания товара в случае самого позднего завоза товара  $(a-b)$  увеличивается на некоторую положительную величину, которая не превосходит величину  $(b-a)$ , и тем самым искомый момент поставки не превосходит срока поставки точно в момент окончания товара в случае самого раннего завоза товара.

В случае треугольного распределения случайной величины  $\Delta\alpha$  оптимизационная задача (12) имеет различные параметрические аналитические решения, в зависимости от соотношения параметров  $a, b, c, K_1, K_2$ , где  $K_1 = \frac{Q}{\alpha}z$  – среднесуточный размер прибыли от реализации товара, а  $K_2 = pQ$  – суточная стоимость хранения товарной партии в объеме  $Q$ . Рассмотрим особенности этих решений более детально.

1) В случае выполнения неравенств  $\frac{K_1}{K_2} \geq \frac{b-c}{c-a}$  и  $\frac{K_1}{K_2} \geq \frac{c-a}{b-c}$ , минимум функции (12) определяется минимальным из 2-х значений согласно соотношению (19):

$$\min \left\{ \frac{K_2}{3} \left( b + c - 2a - 2 \sqrt{\frac{K_2(b-a)(c-a)}{(K_1+K_2)}} \right), \frac{K_1}{3} \left( 2b - a - c - 2 \sqrt{\frac{K_1(b-a)(b-c)}{(K_1+K_2)}} \right) \right\},$$

(19)

а значение оптимального объема поставки определяется соответственно одним из 2-х значений, определенных элементами множества  $\left\{ -qa + qt^* - q \sqrt{\frac{K_2(b-a)(c-a)}{(K_1+K_2)}}, qt^* - qb + q \sqrt{\frac{K_1(b-a)(b-c)}{(K_1+K_2)}} \right\}$ .

2) В случае выполнения неравенств  $\frac{K_1}{K_2} \geq \frac{b-c}{c-a}$  и  $\frac{K_1}{K_2} < \frac{c-a}{b-c}$ , минимум функции (12) определяется минимальным из 3-х значений согласно соотношению (20):

$$\min \left\{ \frac{K_2}{3} \left( b+c-2a-2 \sqrt{\frac{K_2(b-a)(c-a)}{(K_1+K_2)}} \right), \frac{K_1(c-a)^2+K_2(b-c)^2}{3(b-a)}, \frac{K_1}{3} (2b-a-c) \right\},$$

(20)

а значение оптимального объема поставки определяется соответственно одним из 3-х значений, определенных элементами множества  $\left\{ -qa + qt^* - q \sqrt{\frac{K_2(b-a)(c-a)}{(K_1+K_2)}}, q(t^* - c), q(t^* - c) \right\}$ .

3) В случае выполнения неравенств  $\frac{K_1}{K_2} < \frac{b-c}{c-a}$  и  $\frac{K_1}{K_2} \geq \frac{c-a}{b-c}$ , минимум функции (12) определяется минимальным из 3-х значений согласно соотношению (21):

$$\min \left\{ \frac{1}{3} K_2 (b+c-2a), \frac{K_1(c-a)^2 + K_2(b-c)^2}{3(b-a)}, \frac{K_1}{3} \left( 2b-a-c-2\sqrt{\frac{K_1(b-a)(b-c)}{(K_1+K_2)}} \right) \right\}, \quad (21)$$

а значение оптимального объема поставки определяется соответственно одним из 3-х значений, определенных элементами множества  $\{q(t^* -$

$$a), q(t^* - c), qt^* - qb + q\sqrt{\frac{K_1(b-a)(b-c)}{(K_1+K_2)}}\}.$$

4) В случае выполнения неравенств  $\frac{K_1}{K_2} < \frac{b-c}{c-a}$  и  $\frac{K_1}{K_2} < \frac{c-a}{b-c}$ , минимум функции (12) определяется минимальным из 3-х значений согласно соотношению (22):

$$\min \left\{ \frac{1}{3} K_2 (b+c-2a), \frac{K_1(c-a)^2 + K_2(b-c)^2}{3(b-a)}, \frac{K_1}{3} (2b-a-c) \right\}, \quad (22)$$

а значение оптимального объема поставки определяется соответственно одним из 3-х значений, определенных элементами множества  $\{q(t^* - a), q(t^* - c), q(t^* - b)\}$ .

Для задачи оптимизации объема поставки (13) в диссертационной работе представлен следующий алгоритм получения аналитического решения в случае треугольного распределения случайной величины  $\Delta t$ . Согласно этому алгоритму, рассматривается несколько диапазонов переменной  $Q$  для поиска ее оптимального значения, на каждом из которых решается задача оптимизации (13). Введем обозначения  $K_1 = \frac{2qz}{(b-a)(c-a)}$ ,  $K_2 =$

$$\frac{2pQ}{(b-a)(b-c)}, \quad P = \frac{-2K_1c(a+b-c) + K_1(a^2 - b^2) - 2K_2b^2}{K_1 + K_2}, \quad T_1 = b - \sqrt{P}, T_2 = b + \sqrt{P},$$

$$T = t^* - t_0 - \frac{Q}{q}.$$

1) Для диапазона переменной  $Q$ , определенного неравенствами  $0 \leq Q \leq q(t^* - t_0 - b)$ , соответствующими условиям  $\alpha \leq t^*$ , или  $t_0 + \frac{Q}{q} + b \leq t^*$ , целевая функция (13) принимает следующий вид:  $F(Q) = qz \left( \left( t^* - t_0 - \frac{Q}{q} \right) - \frac{1}{3}(b-a) \right)$ , а оптимальное решение по целевой функции и пере-

менной  $Q$  определяются как  $F_{\min 1}^* = qz \left( \frac{2}{3}b + \frac{1}{3}a \right)$  и  $Q_{\min 1}^* = q(t^* - t_0 - b)$  соответственно.

2) Для диапазона переменной  $Q$ , определенного неравенствами  $q(t^* - t_0 - b) \leq Q \leq q(t^* - t_0 - c)$ , соответствующими условиям  $t_0 + \frac{Q}{q} + c \leq t^* \leq t_0 + \frac{Q}{q} + b$ , целевая функция (13) принимает следующий вид:  $F(T) = K_1 \int_{\alpha}^c (T - \Delta t)(\Delta t - a)d\Delta t + K_1 \int_{\alpha}^T (T - \Delta t)(b - \Delta t)d\Delta t - K_2 \int_T^b (T - \Delta t)(b - \Delta t)d\Delta t$ . Для нахождения значений  $T$ , обеспечивающих ее минимум, необходимо найти ее стационарные точки. Поскольку переменная  $T$  входит как в подынтегральные функции, так и в выражения нижнего и верхнего пределов интегрирования, для нахождения производной функции применялась известная формула Лейбница. В случае 2 для нахождения оптимального значения возникает необходимость рассмотрения нескольких вариантов соотношения параметров  $P$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $T_1$  и  $T_2$ .

2.1)  $P \leq 0$ . В этом случае оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 2.1}^* = F(b)$  и  $Q_{\min 2.1}^* = q(t^* - t_0 - b)$  соответственно.

2.2)  $P > 0$ ,  $c \leq T_1 < b < T_2$ . В этом случае оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 2.2}^* = F(T_1)$  и  $Q_{\min 2.2}^* = q(t^* - t_0 - T_1)$  соответственно.

2.3)  $P > 0$ ,  $T_1 \leq c < b < T_2$ . В этом случае оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 2.3}^* = F(c)$  и  $Q_{\min 2.3}^* = q(t^* - t_0 - c)$  соответственно.

Таким образом, решение оптимизационной задачи (13) для случая 2 будет определяться одним из значений  $F_{\min 2.1}^*$ ,  $F_{\min 2.2}^*$  или  $F_{\min 2.3}^*$ , в зависимости от соотношения параметров. Обозначим это решение как  $F_{\min 2}^*$ . Оптимальный объем заказа будет определяться соответствующим значением  $Q_{\min 2.1}^*$ ,  $Q_{\min 2.2}^*$  или  $Q_{\min 2.3}^*$ , обозначим его как  $Q_{\min 2}^*$ .

3) Для диапазона переменной  $Q$ , определенного неравенствами  $q(t^* - t_0 - c) \leq Q \leq q(t^* - t_0 - a)$ , соответствующими условиям  $t_0 + \frac{Q}{q} + a \leq t^* \leq t_0 + \frac{Q}{q} + c$ , целевая функция (13) принимает следующий вид:  $F(T) = K_1 \int_{\alpha}^T (T - \Delta t)(\Delta t - a)d\Delta t - K_2 \int_T^c (T - \Delta t)(\Delta t - a)d\Delta t - K_2 \int_c^b (T - \Delta t)(b - \Delta t)d\Delta t$ . Как и в случае 2 для нахождения значений  $T$ , обеспечивающих ее минимум, находились ее стационарные точки, а для нахождения производной была использована формула Лейбница парамет-

рического дифференцирования определенных интегралов. В работе показано, что в данном случае, как и в предыдущем, необходимо рассмотреть несколько случаев, определяемых соотношениями параметров  $P$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $T_1$  и  $T_2$ .

3.1)  $P \leq 0$ . В этом случае оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 3.1}^* = F(a)$  и  $Q_{\min 3.1}^* = q(t^* - t_0 - a)$  соответственно.

3.2)  $P > 0$ ,  $T_1 < a < T_2 \leq c$ . В этом случае оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 3.2}^* = F(T_2)$  и  $Q_{\min 3.2}^* = q(t^* - t_0 - T_2)$  соответственно.

3.3)  $P > 0$ ,  $T_1 < a < c \leq T_2$ . В этом случае оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 3.3}^* = F(c)$  и  $Q_{\min 3.3}^* = q(t^* - t_0 - c)$  соответственно.

Таким образом, решение оптимизационной задачи (13) для случая 3 будет определяться одним из значений  $F_{\min 3.1}^*$ ,  $F_{\min 3.2}^*$  или  $F_{\min 3.3}^*$ , в зависимости от соотношения параметров, обозначим это решение как  $F_{\min 3}^*$ . Оптимальный объем заказа будет определяться соответствующим значением  $Q_{\min 3.1}^*$ ,  $Q_{\min 3.2}^*$  или  $Q_{\min 3.3}^*$ , обозначим его как  $Q_{\min 3}^*$ .

4) Для диапазона переменной  $Q$ , определенного неравенством  $Q \geq q(t^* - t_0 - a)$ , соответствующим условиями  $a \geq t^*$ , или  $t_0 + \frac{Q}{q} + a \geq t^*$ , целевая функция (13) принимает следующий вид:  $F(Q) = pQ^* \left( \left( t_0 + \frac{Q}{q} - t^* \right) + \frac{1}{3}(b - a) \right)$ , а оптимальное решение по целевой функции и переменной  $Q$  выражаются как  $F_{\min 4}^* = pQ^* \left( \frac{1}{3}b - \frac{4}{3}a \right)$  и  $Q_{\min 4}^* = q(t^* - t_0 - a)$  соответственно.

Итоговое решение оптимизационной задачи (13) определяется, как минимум из решения задачи (13) на 4 рассмотренных диапазонах (случаи 1-4):  $\min_Q F(Q) = \min\{F_{\min 1}^*, F_{\min 2}^*, F_{\min 3}^*, F_{\min 4}^*\}$ , а значение оптимального объема поставки определяется соответствующим элементом множества  $\{Q_{\min 1}^*, Q_{\min 2}^*, Q_{\min 3}^*, Q_{\min 4}^*\}$ .

В диссертации проведен анализ чувствительности оптимального момента назначения поставки к входным параметрам стохастических моделей (5) и (7), основанный на их аналитических решениях, полученных для случая треугольных распределений. Расчеты проведены с использованием тестовых данных с использованием языка MATLAB.

В таблице 1 и на рисунке 2 приведены результаты расчета оптимального момента поставки в зависимости от параметра  $p$  - суточной стоимости хранения единицы продукции. В данном примере время окончания товара  $\alpha = 10$  дней, прибыль от продажи единицы продукции  $z = 10$  усл.ед., а случайная величина  $\Delta t$  распределена по треугольному закону распределения с параметрами  $a = -2, b = 7, c = 2$ .

Таблица 1. Расчет оптимального момента поставки в зависимости от параметра  $p$ .

$a$	$c$	$b$	$p$	$\alpha_0$	$z$	$f_1$	$f_2$	$t^*$
-2,00	2,00	7,00	5,00	10,00	10,00	8,76	8,10	9,55
-2,00	2,00	7,00	10,00	10,00	10,00	12,08	9,38	10,19
-2,00	2,00	7,00	15,00	10,00	10,00	15,14	10,00	10,50
-2,00	2,00	7,00	20,00	10,00	10,00	18,14	10,38	10,69
-2,00	2,00	7,00	25,00	10,00	10,00	21,10	10,65	10,82
-2,00	2,00	7,00	30,00	10,00	10,00	24,05	10,84	10,92
-2,00	2,00	7,00	35,00	10,00	10,00	26,99	11,00	11,00
-2,00	2,00	7,00	40,00	10,00	10,00	29,93	11,13	11,06
-2,00	2,00	7,00	45,00	10,00	10,00	32,86	11,23	11,12
-2,00	2,00	7,00	50,00	10,00	10,00	35,79	11,32	11,16

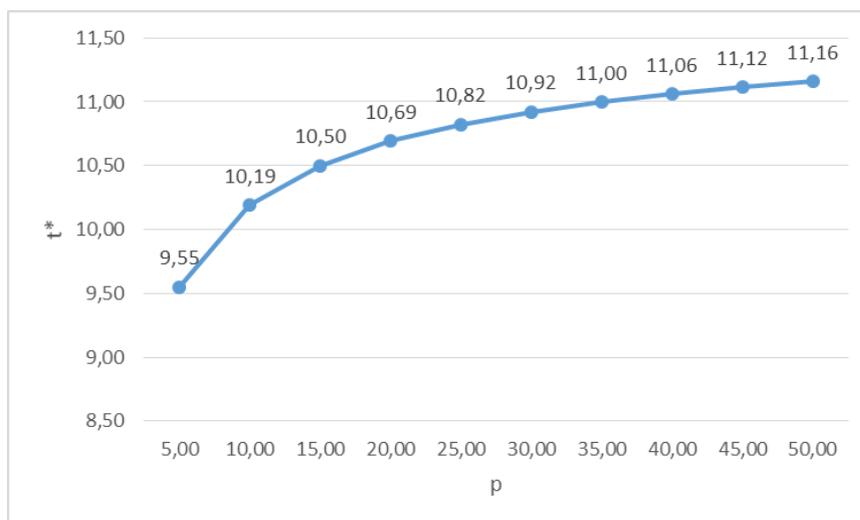


Рисунок 2. Смещение момента поставки в зависимости от параметра  $p$ .

В таблице 2 и на рисунке 3 приведены результаты расчета оптимального момента поставки в зависимости от параметров  $p$  - суточной стоимости хранения единицы продукции и  $z$  - прибыли от продажи единицы продукции. В данном примере ожидаемое время окончания товара  $\alpha = 10$  дней, а случайная величина  $\Delta \alpha$  распределена по треугольному закону распределения с параметрами  $a = -2, b = 7, c = 2$ .

Таблица 2. Расчет оптимального момента поставки в зависимости от параметров  $p$  и  $z$ .

$z \backslash p$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	9,55	8,79	8,33	8,00	7,74	7,52	7,33	7,16	7,01	6,87
10	10,19	9,55	9,12	8,79	8,54	8,33	8,15	8,00	7,87	7,74
15	10,50	9,94	9,55	9,25	9,00	8,79	8,62	8,46	8,33	8,21
20	10,69	10,19	9,83	9,55	9,32	9,12	8,94	8,79	8,66	8,54
25	10,82	10,37	10,04	9,77	9,55	9,36	9,19	9,05	8,91	8,79
30	10,92	10,50	10,19	9,94	9,73	9,55	9,39	9,25	9,12	9,00
35	11,00	10,61	10,31	10,08	9,88	9,70	9,55	9,41	9,29	9,17
40	11,06	10,69	10,42	10,19	10,00	9,83	9,68	9,55	9,43	9,32
45	11,12	10,76	10,50	10,29	10,10	9,94	9,80	9,67	9,55	9,44
50	11,16	10,82	10,57	10,37	10,19	10,04	9,90	9,77	9,66	9,55

На рисунке 3, полученном с помощью функции `meshz()` на языке MATLAB, схематично показано смещение момента поставки в зависимости от параметров  $p$  и  $z$ .

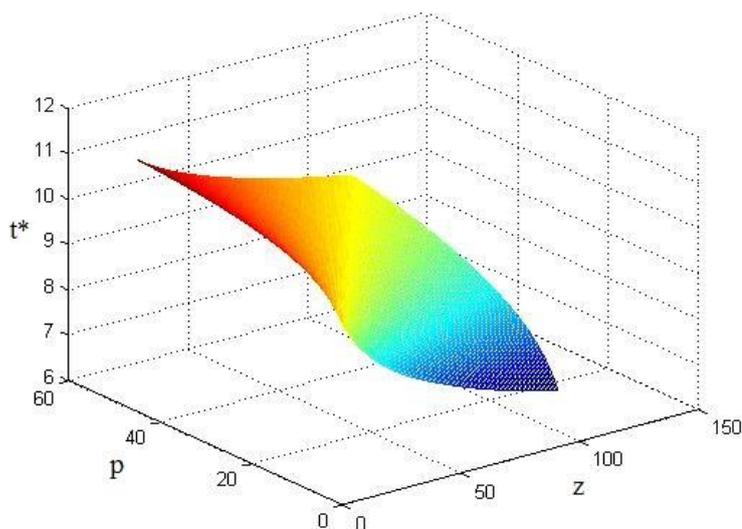


Рисунок 3. Смещение момента поставки в зависимости от параметров  $p$  и  $z$ .

**6. С использованием разработанных моделей оптимизации момента и объема поставок для автотранспортных и железнодорожных однономенклатурных поставок получены решения задач оптимального управления запасами, свидетельствующие о возможном снижении издержек на 5-7%.**

Модели минимизации дополнительных издержек, включая издержки выплаты неустоек, проходили апробацию в компании ООО «Сахар-Пром» в течение 2018-2019 гг. в части разработок графиков поставок сахара автомобильным и железнодорожным транспортом. В качестве издержек рас-

сматривались дополнительные издержки хранения, издержек дефицита, возникающие из-за случайных отклонений фактического спроса от прогнозируемого и фактического времени поставки от назначенного, а также выплаты неустоек в связи нарушением договорных обязательств при работе с розничными торговыми сетями. Эти показатели оказывают существенное влияние на расчет себестоимости и недополучение прибыли. Результатом внедрения этих оптимизационных моделей стало сокращение суммарных дополнительных издержек (хранения, дефицита, выплаты неустоек) в среднем на 5-7%, что отражено в акте о внедрении.

### **III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В заключении диссертации приведены основные результаты работы, обсуждена ее практическая значимость.

В частности отмечено, что повышение эффективности управления запасами в условиях неопределенности спроса и времени поставки может быть достигнуто на основе учета дополнительных издержек, обусловленных сверхнормативным хранением, дефицитом, выплатами штрафов и пени, потерями продукции ограниченного срока хранения, риском потери клиентов и т.д., которые носят стохастический характер и существенно влияют на прибыль компании, с уточненными критериями на минимум издержек управления запасами и максимум прибыли. Автором обоснована целесообразность применения треугольного закона распределения для описания рассматриваемых стохастических параметров и на их основе получены аналитические решения оптимизационных задач определения объемов и сроков поставок.

Разработанные в диссертации оптимизационные модели могут быть полезны для построения научно обоснованной бизнес-стратегии управления товарными запасами торгового или производственного предприятия. Они могут составлять основу информационных систем поддержки принятия решений управления запасами. Практическое использование разработанных моделей позволит снизить общие издержки за счет оптимизации параметров системы управления запасами, тем самым увеличить прибыль торговых и производственных компаний, что в свою очередь ведет к повышению их конкурентоспособности.

#### **IV. СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### **Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях:**

1. Maslov, S.E. Model of optimizing the delivery moment taking into account the uncertainty of demand / S.E. Maslov, O.A. Kosorukov, Journal of Social Sciences Research. – 2018. – Issue 3. – P. 135-143.
2. Маслов, С. Е. Модель определения времени поставки с учетом неопределенности спроса / С. Е. Маслов, О. А. Косоруков // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 4 (87). – С. 45-52.
3. Маслов, С. Е. Расчет оптимального момента поставки с учетом неопределенности спроса / С. Е. Маслов // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 5 (88). – С. 82-90.
4. Маслов, С. Е. Модель оптимизации объема поставки с учетом неопределенности спроса / С. Е. Маслов, О. А. Косоруков // Финансовая экономика. – 2019. – № 1. – С. 191-197.
5. Маслов, С. Е. Модель оптимизации объема поставки с учетом неопределенности времени поставки / С. Е. Маслов // Финансовая экономика. – 2019. – № 1. – С. 507-512.
6. Маслов, С. Е. Оптимизация момента поставки в условиях неопределенности / С. Е. Маслов // Финансовая экономика. – 2019. – № 2. – С. 191-197.
7. Маслов, С. Е. Модели оптимизации времени и объема поставки в условиях неопределенности с учетом рисков неустоек и потери клиентов / С. Е. Маслов, О.А. Косоруков // Финансовая экономика. – 2019. – № 3. – С. 473-479.

##### **Статьи, опубликованные в прочих научных изданиях:**

8. Маслов, С. Е. Стохастическая модель оптимального выбора объема поставки / С. Е. Маслов // Актуальные вопросы экономических наук и современного менеджмента: сб. ст. по матер. XVII-XVIII междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СибАК. – 2019. – № 1(12). – С. 32-42.
9. Маслов, С. Е. Оптимизация объема закупки с учетом смещения времени поставки. / С. Е. Маслов // Научный диалог: Экономика и менеджмент: сб. ст. по матер. XIX междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : – 2019. – С. 26-33.