

На правах рукописи

СКИРЮК Олег Святославович

**МОДЕЛИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА  
ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА И  
РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОГО  
ОПИСАНИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ**

Специальность 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы  
экономики»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Пермь – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре информационных технологий и автоматизированных систем

**Научный руководитель:** доктор экономических наук, профессор  
Файзрахманов Рустам Абубакирович

**Официальные оппоненты:** доктор экономических наук, профессор Буреш  
Ольга Викторовна, профессор кафедры  
прикладной информатики в экономике и  
управлении ФГБОУ ВПО «Оренбургский  
государственный университет»

кандидат экономических наук, доцент  
Ризванов Дмитрий Анварович, доцент кафедры  
вычислительной математики и кибернетики  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный  
авиационный технический университет»

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВПО «Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет»

Защита состоится «26» декабря 2013 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.09 при ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, УГАТУ, актовый зал 1 корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «22» ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, доктор  
экономических наук, профессор



М. К. Аристархова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В современных условиях факторы спроса и предложения являются одними из ключевых предпосылок формирования планов производства и реализации продукции предприятия.

Процесс разработки планов производства и реализации продукции всегда связан с разрешением достаточно сложных задач, таких как прогнозирование спроса и предложения, планирование ресурсов и мощностей предприятия, управление материальными потоками и т.д. Отечественная и зарубежная практика показывает, что совокупный положительный эффект возможен только тогда, когда управление всеми производственными процессами и материальными потоками предприятия рассматривается не как отдельная независимая задача, а как составная часть процессов управления предприятием, подчиненная единой рыночной стратегии компании. Особенно это касается управления запасами, процессов планирования поставок, производства и реализации продукции.

Сегодня на большинстве отечественных и зарубежных предприятий задачи объемного планирования поставок, производства и реализации до сих пор рассматриваются как обособленные задачи, в то время как необходим комплексный подход к объемному планированию производства с учетом возможностей сырьевых рынков, производства и рынков сбыта. Причем, при формировании планов производства и реализации продукции, объемы предложения сырья и цены поставщиков, а также объемы спроса и цены на готовую продукцию не всегда могут быть точно известными. Прогнозы средних величин рыночных факторов не всегда могут быть адекватными реальным тенденциям. Такая ситуация в экономико-математическом моделировании представляет собой ситуацию неопределенности, которая разрешается, ввиду отсутствия необходимого объема статистических данных, путем использования, вместо четких или вероятностных факторов, так называемых, нечетких факторов. Для описания нечетких факторов применяется теория нечетких множеств. Поэтому такие понятия, как объем спроса и предложения на планируемом интервале, цена продажи и т.п. могут быть представлены как нечеткие переменные, широко применяемые в экономико-математическом моделировании.

В диссертационном исследовании показано, что модели объемного оптимального планирования производства и реализации продукции на основе комплексного описания логистической цепочки являются достаточно сложными математическими моделями, особенно в условиях наличия нечетких факторов. При этом получение практически применимого решения является трудоемкой и малоизученной задачей.

Экономическая значимость обозначенной проблемы и отсутствие пригодных для практического использования теоретических и методологических подходов к решению комплексной задачи формирования оптимальных объемных планов производства и реализации продукции в

условиях нечеткого описания факторов среды, обусловили актуальность диссертационного исследования, определили цель и логику построения диссертации.

**Степень разработанности темы исследования.** Решением задач в области планирования производства при помощи экономико-математических методов и моделей занимались и продолжают заниматься в настоящее время в России и за рубежом.

Теоретической основой планирования производства служат теории организации и внутрифирменного планирования производства, систематизированных и развиваемых в трудах отечественных и зарубежных ученых и экономистов М.И. Бухалкова, А.И. Ильина, Н.Л. Зайцева, В.И. Титова, Г.Б. Клейнера, В.В. Царева, О.М. Горелика, В.Я. Горфинкеля, В.И. Захарченко, О.Г. Туровца, В.К. Склярченко, В.М. Прудникова, Х.З. Бадаш, Н.С. Сачко, А.Д. Шеремет, М. Мескона, М. Альберта, Ф. Хедоури, Дж. Стивенсона, Р.Б. Чейза и многих других.

Исследования в области управления запасами на основе экономико-математических методов и моделей проводились в работах отечественных и зарубежных ученых А.А. Первозванского, В.А. Саковича, Ю.И. Рыжикова, М.В. Лычагина, А.Н. Стерлиговой, Г.Л. Бродецкого, В.С. Лукинского, Ф. Харриса, Р. Уилсона, Г. Вагнера, Т. Уайтина, Е. Гафта, Р. Феттера, Д. Дж. Бауэрсокса, Д.Дж. Клосса, Дж. Букана, Ф. Хэнсменна, Дж. Хедли, А.С. Манне, Д. Уотерса, Дж. Ф. Шапиро и многих других.

Исследования в области управления и планирования производства на основе экономико-математических методов и моделей проводились в работах отечественных и зарубежных ученых Л.В. Канторовича, А.А. Первозванского, К.В. Инютиной, М.В. Лычагина, В.Н. Ярославцева, М.Г. Завельского, Н.Б. Мироносецкого, К.А. Багриновского, В.М. Матюшок, Б.И. Кузина, В.Н. Юрьева, Г.М. Шахдинарова, А.В. Пархоменко, Б.И. Герасимова, А.В. Мищенко, В.Ф. Сытника, С.А. Ашманова, О.Б. Низамутдинова, Р.А. Файзрахманова, А.В. Архипова, Е.В. Долговой, Г.Г. Куликова, Б.Г. Ильясова, Л.А. Исмагиловой, И.Г. Сергеевой, Г. Вагнера, Т. Уайтина и многих других.

Исследования в области теории нечетких множеств и нечеткого математического программирования в планировании производства проводились в работах отечественных и зарубежных ученых С.А. Орловского, Ю.П. Зайченко, А.О. Недосекина, А. Овсянко, П.В. Севастьянова, А.Е. Алтунина, М.В. Семухина, Г.Э. Яхъевой, Л.А. Заде, Р.Е. Беллмана, Д. Дюбуа, Г. Праде, Г. Циммермана, Я. Ли, П. Пэя, К. Халима, С. Чанга.

Анализ оптимизационных моделей показывает, что каждая модель решает определенную задачу либо управление запасами, либо планирование производства, либо планирование реализации. Большинство моделей не позволяют учесть нечетко заданные параметры объемов спроса, предложения, цен продажи и т.д. Данная ситуация свидетельствует о необходимости исследований по разработке комплексных моделей, объединяющих задачи управления запасами, планирования производства и реализации в условиях нечеткого описания факторов среды. Модели комплексного планирования

рассматривались в работах ученых школы кафедры ИТАС ПНИПУ О.Б. Низамутдинова, Р.А. Файзрахманова, Е.В. Долговой, А.В. Архипова. Данное диссертационное исследование является развитием подходов, изложенных в работах этих ученых, в условиях нечеткого описания факторов среды.

Важность и актуальность указанных задач определили направление настоящего исследования.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является разработка моделей и инструментальных средств формирования планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды, способствующих повышению эффективности функционирования производственно-экономической системы.

Реализация поставленной цели требует решения следующих задач:

1. Разработать экономико-математическую модель формирования планов производства и реализации продукции на основе комплексного подхода к управлению запасами, планированию производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды.

2. Разработать методику и алгоритмы формирования планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды.

3. Разработать программное обеспечение для поддержки принятия решений по планированию производства, реализации продукции и управлению запасами в условиях нечеткого описания факторов среды.

**Объект исследования.** Объектом диссертационного исследования являются процессы планирования основной деятельности и управления запасами в производственно-экономической системе.

**Предмет исследования.** Предметом диссертационного исследования являются методы и модели планирования производства и реализации в условиях нечеткого описания факторов среды.

**Научная новизна исследования.** Научная новизна заключается в разработке моделей, методик, алгоритмов и программного обеспечения для формирования планов производства и реализации продукции, отличающихся комплексным описанием процессов управления запасами, планирования производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды.

Наиболее существенные результаты диссертационного исследования, имеющие научную новизну:

1. Разработана экономико-математическая модель формирования планов производства и реализации продукции, отличающаяся комплексным описанием процессов управления запасами, планирования производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды, позволяющая оптимизировать план поставок сырья, уровень необходимых запасов, планы производства и реализации продукции по критерию максимума валовой прибыли, обеспечить согласованность этих планов (п.п. 1.1, 1.2, 1.4 паспорта научной специальности 08.00.13).

2. Разработана методика и алгоритмы формирования планов производства и реализации продукции с использованием теории нечетких множеств для описания динамики изменения неопределенных факторов среды, позволяющие, с учетом базовых стратегий управления запасами, сформировать эффективные решения по комплексному планированию процессов производства, реализации и управления запасами с целью обеспечения прибыльности производственно-экономической системы (п. 1.2 паспорта научной специальности 08.00.13).

3. Разработано программное обеспечение для поддержки принятия решений по планированию производства, реализации продукции и управлению запасами, отличающееся от существующих программ наличием инструментария для формирования эффективных планов производства в условиях наличия неопределенных факторов с использованием теории нечетких множеств, для описания которых используются треугольные функции принадлежности. На программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации. Программное обеспечение допускает интегрирование с информационной системой предприятия (п. 2.3 паспорта научной специальности 08.00.13).

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования.**

Теоретическая значимость исследований заключается в разработке экономико-математических моделей формирования планов производства и реализации продукции предприятия в условиях нечеткого описания факторов среды. Полученные модели могут быть использованы в качестве основы для дальнейших исследований с целью получения новых теоретических и практических выводов.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что предложенные модели и инструментальные средства способствуют разработке и принятию научно обоснованных и рациональных решений при планировании производства и управлении запасами в условиях недостаточных данных о рыночном спросе и предложении. Предложенные модели позволяют выполнить расчет необходимых производственных запасов, а также планов производства и реализации продукции с учетом выбранной стратегии управления запасами в условиях нечеткого описания факторов среды по критерию максимизации ожидаемой прибыли.

Результаты исследования могут быть использованы на промышленных предприятиях при решении задач планирования производства и управления запасами с целью максимизации ожидаемой прибыли предприятия. Полученные модели и методики рекомендуется использовать в учебном процессе при обучении специалистов в области математических методов и инструментальных средств в экономике.

**Методология и методы исследования.** Диссертационное исследование базируется на теоретических и методологических публикациях отечественных и зарубежных ученых. В процессе исследования применялись общенаучные методы исследования, методы математического, экономического и системного анализа.

При исследовании теоретических аспектов формирования планов производства и реализации использовались выводы теории стратегического и внутрифирменного планирования, теории организации производства, теории экономики предприятия и управления производством, теории управления запасами.

При разработке моделей, методик, алгоритмов использовались выводы теории экономико-математического моделирования, теории нечетких множеств и экспертных оценок, теории вероятностей и математической статистики, теории принятия решений, методы математического программирования и теории игр, методы принятия решений.

При проектировании и разработке программного обеспечения для поддержки принятия решений использовалась методология SADT, технология объектно-ориентированного программирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Экономико-математическая модель формирования планов производства и реализации продукции на основе комплексного подхода к управлению запасами, планированию производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды.

2. Методика и алгоритмы формирования планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды.

3. Программное обеспечение для поддержки принятия решений по планированию производства, реализации продукции и управлению запасами в условиях нечеткого описания факторов среды.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных результатов исследования основана на использовании признанных положений отечественной и зарубежной науки в области планирования и организации производства на предприятии, управления запасами, корректном применении методов теории экономико-математического моделирования, теории нечетких множеств, теории математического программирования, подтверждена апробацией разработанных моделей и инструментальных средств в условиях производства.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» (г. Пермь, 2010, 2011, 2012, 2013); на Всероссийской научно-практической конференции «Инвестиционная экономика: проблемы, поиски, решения» (г. Санкт-Петербург, 2012); на научно-практической конференции с Международным участием «Инновационная модель экономики и развитие промышленности (ИНПРОМ-2013)» (г. Санкт-Петербург, 2013); на III Международной заочной научно-практической конференции «Решение проблем развития предприятий: роль научных исследований» (г. Краснодар, 2013); на XIII Международной заочной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы экономики и управления» (г. Москва, 2013); на научных семинарах кафедры ИТАС ПНИПУ (г. Пермь, 2012, 2013). Основные результаты исследований обсуждались также на научно-методических советах производственных предприятий ООО

«Производство керамического кирпича на Закаменной» (г. Пермь, 2012) и ОАО «Горнозаводскцемент» (г. Горнозаводск, 2012).

Ряд положений диссертации нашли практическое применение в учебном процессе в Пермском национальном исследовательском политехническом университете при подготовке и проведении дисциплин «Математические модели в организации производственных процессов», «Теоретические основы экономической статистики», «Нечеткие множества и отношения».

**Публикации.** Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 14 научных работах, из них 4 в научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России. Получено свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения «Система поддержки принятия решений по планированию производства и управлению запасами» (№2013616516), основанного на результатах диссертационного исследования.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 102 наименований и приложений. Работа изложена на 124 страницах печатного текста, содержит 12 таблиц, 24 рисунка.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, отсутствие комплексных исследований, обеспечивающих совместное моделирование процессов управления запасами, планирования и реализации продукции предприятия с учетом неопределенных факторов среды, которые могут быть представлены с помощью моделей теории нечетких множеств. Показана важность решения комплексной задачи по критерию максимизации ожидаемой прибыли производственно-экономической системы. Определены цели, задачи, объект и предмет диссертационного исследования, проанализирована степень изученности проблемы исследования, определена и раскрыта научная новизна, представлена теоретическая и методологическая основа исследования, отмечена теоретическая и практическая ценность результатов.

**В первой главе** рассмотрены подходы к формированию планов производства и реализации продукции в производственно-экономических системах, исследованные в работах отечественных и зарубежных ученых. В рамках исследования рассмотрена совокупность внешних и внутренних факторов, которые, в общем случае, могут быть детерминированными, случайными, неопределенными величинами или процессами. Однако наличие неопределенных факторов позволяет разрешить эту «неопределенность» путем использования моделей нечетких переменных, широко применяемых в экономико-математическом моделировании.

Рассмотрены базовые стратегии производства и управления запасами. Произведен обзор и анализ существующих экономико-математических моделей формирования планов производства и реализации, подчеркнута актуальность разработки комплексных моделей в условиях нечеткого описания факторов среды с использованием моделей нечетких переменных, определены направления диссертационного исследования.



**Во второй главе** разработаны комплексные модели, методики, алгоритмы управления запасами, формирования планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды для однопродуктовых и многопродуктовых производственных систем. Показано, что в условиях неопределенных факторов среды, использование моделей нечетких переменных для их описания позволяет сформулировать задачу определения максимальной ожидаемой прибыли производственно-экономической системы в виде задачи нечеткого математического программирования.

**Третья глава** посвящена разработке программного обеспечения для поддержки принятия решений по планированию производства и управлению запасами на основе предложенных комплексных моделей.

**Четвертая глава** посвящена апробации разработанных моделей и инструментальных средств на данных предприятия ОАО «Горнозаводскцемент» и анализу полученных результатов.

**В заключении** содержатся выводы теоретического и практического характера.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Разработана экономико-математическая модель формирования планов производства и реализации продукции, отличающаяся комплексным описанием процессов управления запасами, планирования производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды, позволяющая оптимизировать план поставок сырья, уровень необходимых запасов, планы производства и реализации продукции по критерию максимума валовой прибыли, обеспечить согласованность этих планов**

Рассматривается производственно-экономическая система предприятия, взаимодействующая с системами рынка сырья и рынка сбыта (рис. 1).

Предприятие производит продукцию нескольких видов, для которой требуется несколько видов сырья. При этом производство может быть многостадийным, при котором сначала изготавливаются полуфабрикаты, а затем готовая продукция. Также возможны ситуации производства нескольких видов продукции на одном и том же оборудовании (производственной линии), совместное потребление сырья или полуфабрикатов одного вида.

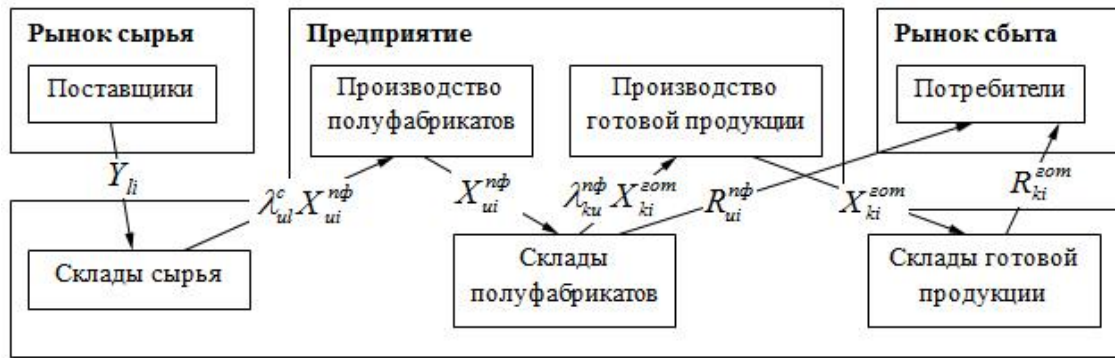


Рисунок 1 – Схема производственно-экономической системы предприятия

Для обеспечения производства предприятие располагает производственными помещениями, складами сырья, полуфабрикатов и готовой продукции ограниченной вместимости. Сырье поставляется от одного или нескольких поставщиков и отгружается на соответствующий склад. При этом поставка каждого вида сырья осуществляется согласно одной из базовых стратегий управления запасами (стратегия с фиксированным интервалом, стратегия с фиксированным размером заказа).

В процессе производства сырье поступает со склада сырья и по известной технологии с учетом норм потребления, производственных мощностей (оборудования и трудовых ресурсов), имеющихся в наличии запасов сырья изготавливаются полуфабрикаты, необходимые для производства готовой продукции. Затем полуфабрикаты поступают в качестве сырья для производства готовой продукции, либо поставляются потребителям. В процессе производства готовая продукция отгружается на склад готовой продукции, откуда реализуется потребителям.

В данной производственной системе осуществляется планирование на определенный интервал времени производства  $k$  видов продукции, для которых требуется  $u$  видов полуфабрикатов и  $l$  видов сырья. Для этого в зависимости от целей планирования первоначально осуществляется разбивка интервала планирования на  $n$  этапов (рис. 3), например месяцы, кварталы, годы. Далее по каждому этапу осуществляется прогноз основных показателей.

Как известно, прогнозирование основных показателей (объем спроса и предложения, цена, затраты и т.д.) может быть выполнено при помощи традиционных вероятностно-статистических методов, либо методами теории множеств. Например, величина затрат или цен может быть спрогнозирована путем продолжения тенденции временного ряда на перспективу, по средней ожидаемой величине и т.д. Причем это возможно если применение вероятностно-статистических методов не вызывает затруднений. Трудности могут быть вызваны отсутствием достаточного объема статистических данных, неточностью в статистических данных, отсутствием необходимых условий однородности и массовости событий, отсутствием тенденций в будущем, имевших место в прошлом, невозможностью учета качественных характеристик. Например, величина спроса на продукцию или предложения сырья не всегда может быть описана известным законом распределения,

особенно при резких колебаниях во временном ряде. В таких условиях возможно прогнозирование методами теории нечетких множеств.

В данном диссертационном исследовании основные показатели моделируются нечеткими переменными, определяемыми тройкой  $\langle N, R^+, A \rangle$ , где  $N$  – наименование переменной,  $R^+$  – область определения переменной представленной положительными рациональными числами,  $A$  – нечеткое множество. Нечеткое множество представимо в виде  $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in R^+\}$ , где  $x$  – значение,  $\mu_A(x)$  – функция принадлежности значений  $x$  нечеткому множеству  $A$ . Функция принадлежности определяется, например, при помощи методов экспертного оценивания. При известной случайной величине показателя в качестве функции принадлежности выбирается закон распределения этой величины, например для нормального закона распределения функция принадлежности представима в виде

симметричной функции  $\mu_A(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right]$ , где  $c$  – центр нечеткого множества,  $\sigma$  – мера разброса значений относительно центра.

Наиболее часто применяемыми являются специальные виды множеств: треугольные и трапециевидные числа (рис. 2). Их популярность объясняется характеристикой основных степеней оцениваемого показателя: пессимистичная, наиболее вероятная и оптимистичная оценки.

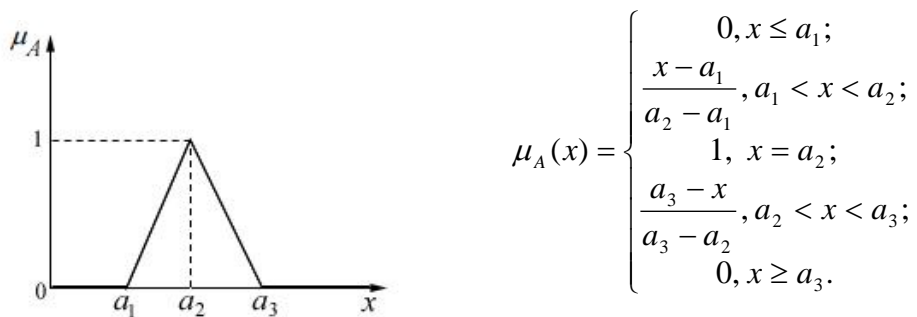


Рисунок 2 – Нечеткое треугольное число и его функция принадлежности

Таким образом, на момент начала каждого этапа (рис. 3) моделируются нечеткие переменные цен закупок  $P_{li}^{зак.с.}$ , тарифов транспортировки  $P_{li}^{мп}$ , максимально возможных объемов поставок  $S_{li}$  сырья вида  $l$  от поставщика. Определяются объемы страховых запасов  $z_{li}^{cmp.c}$  сырья вида  $l$ ,  $z_{ui}^{cmp.nф}$  полуфабрикатов вида  $u$ ,  $z_{ki}^{cmp.г}$  готовой продукции вида  $k$ . Страховые запасы определяются на случаи ненадежности поставки, возникновения брака и т.д. При расчете страхового запаса могут применяться разные методы, например метод прямого счета, вероятностный подход и т.д.

На момент окончания каждого этапа (рис. 3) моделируются нечеткие переменные совокупных объемов спроса  $D_{ui}^{нф}$ ,  $D_{ki}^{гом}$ ; производственных

мощностей  $M_{ui}^{n\phi}$ ,  $M_{ki}^{zom}$ ; цен продажи  $P_{ki}^{zom}$ ,  $P_{ui}^{n\phi}$ ; переменных  $C_{ui}^{np.n\phi}$ ,  $C_{ki}^{np.z}$  и постоянных производственных затрат  $C_i^{nocm}$ ; стоимости  $C_{ki}^{mpyod.z}$ ,  $C_{ui}^{mpyod.n\phi}$  труда рабочей силы; стоимости хранения запасов  $C_{li}^{xp.c}$ ,  $C_{ui}^{xp.n\phi}$ ,  $C_{ki}^{xp.z}$  сырья вида  $l$ , полуфабрикатов вида  $u$  и готовой продукции вида  $k$ .

При данной производственно-экономической системе необходимо сформировать объемные планы производства и реализации, то есть найти нечеткие множества объемов поставок  $Y_{li}$  сырья вида  $l$ , объемов производства  $X_{ui}^{n\phi}$ ,  $X_{ki}^{zom}$  и реализации  $R_{ui}^{n\phi}$ ,  $R_{ki}^{zom}$  полуфабрикатов и готовой продукции, объемов запасов сырья  $Z_{li}^c$  вида  $l$ , полуфабрикатов  $Z_{ui}^{n\phi}$  вида  $u$ , готовой продукции  $Z_{ki}^{zom}$  вида  $k$ , определить оптимальные значения  $\hat{y}_{li}$ ,  $\hat{x}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{x}_{ki}^{zom}$ ,  $\hat{r}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{r}_{ki}^{zom}$ ,  $\hat{z}_{li}^c$ ,  $\hat{z}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{z}_{ki}^{zom}$ .

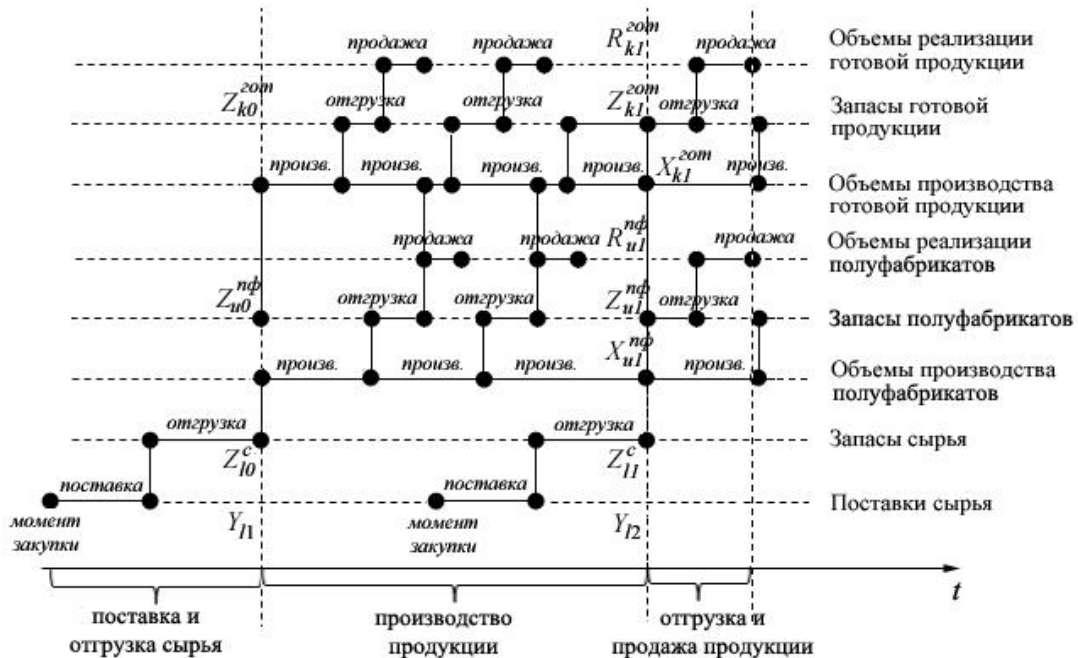


Рисунок 3 – Условная схема движения материальных потоков в производственно-экономической системе предприятия

Для решения поставленной задачи планирования разработана многопродуктовая комплексная модель (1) – (10).

Полученная модель является задачей нечеткого математического программирования, критерием оптимизации которой является величина валовой прибыли (1), складываемая из компонент доходов от продаж и затрат на производство продукции, полуфабрикатов, закупки и поставки сырья.

В систему ограничений входят требования в максимальном удовлетворении спроса (4), (5) и обеспечении производства сырьем, полуфабрикатами (7), (8); ограничения по доступной производственной мощности (2), (3); доступным объемам сырья (9) и объемам складов (10).

$$\begin{aligned}
(1) \quad & \Pi = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ki}^{zom} R_{ki}^{zom} + \sum_{u=1}^v \sum_{i=1}^n P_{ui}^{n\phi} R_{ui}^{n\phi} - \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n (C_{ki}^{np.z} + C_{ki}^{mpy\phi.z}) X_{ki}^{zom} - \\
& - \sum_{u=1}^v \sum_{i=1}^n (C_{ui}^{np.n\phi} + C_{ui}^{mpy\phi.n\phi}) X_{ui}^{n\phi} - \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ki}^{xp.z} Z_{ki}^{zom} - \sum_{u=1}^v \sum_{i=1}^n C_{ui}^{xp.n\phi} Z_{ui}^{n\phi} - \\
& \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n (P_{li}^{zak.c.} + P_{li}^{mp.}) Y_{li} - \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n C_{li}^{xp.c.} Z_{li}^c - \sum_{i=1}^n C_i^{nocm} \rightarrow \max \\
(2) \quad & \sum_{k \in K} \left( X_{ki}^{zom} \prod_{\substack{j \in K \\ j \neq k}} M_{ji}^{zom} \right) \leq \prod_{j \in K} M_{ji}^{zom}; \sum_{u \in U} \left( X_{ui}^{n\phi} \prod_{\substack{j \in U \\ j \neq u}} M_{ji}^{n\phi} \right) \leq \prod_{j \in U} M_{ji}^{n\phi}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(3) \quad & X_{ki}^{zom} \leq M_{ki}^{zom}; X_{ui}^{n\phi} \leq M_{ui}^{n\phi}, \quad k \notin K, \quad u \notin U, \quad k = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(4) \quad & R_{ki}^{zom} = X_{ki}^{zom} + Z_{k,i-1}^{zom} - Z_{ki}^{zom}; R_{ki}^{zom} \leq D_{ki}^{zom}, \quad k = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(5) \quad & R_{ui}^{n\phi} = X_{ui}^{n\phi} + Z_{u,i-1}^{n\phi} - Z_{ui}^{n\phi}; R_{ui}^{n\phi} \leq D_{ui}^{n\phi}, \quad u = \overline{1, v}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(6) \quad & Z_{ki}^{zom} \geq z_{ki}^{cmp.z}; Z_{ui}^{n\phi} \geq z_{ui}^{cmp.n\phi}, \quad k = \overline{1, m}, \quad u = \overline{1, v}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(7) \quad & Z_{ui}^{n\phi} = Z_{u,i-1}^{n\phi} + X_{ui}^{n\phi} - \sum_{k \in K_u} \lambda_{ku}^{n\phi} X_{ki}^{n\phi}, \quad u = \overline{1, v}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(8) \quad & Z_{li}^c = Z_{l,i-1}^c + Y_{li} - \sum_{u \in U_l} \lambda_{ul}^c X_{ui}^{n\phi}; Z_{li}^c \geq z_{li}^{cmp.c}, \quad l = \overline{1, r}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(9) \quad & Y_{li} \leq S_{li}, \quad l = \overline{1, r}, \quad i = \overline{1, n}; \\
(10) \quad & Z_{ki}^{zom} \leq v_i^{zom}; Z_{ui}^{n\phi} \leq v_i^{n\phi}; Z_{li}^c \leq v_{li}^c, \quad k = \overline{1, m}, \quad u = \overline{1, v}, \quad l = \overline{1, r}, \quad i = \overline{1, n},
\end{aligned}$$

где  $K$  - четкое множество видов продукции, использующих одинаковые производственные мощности;  $U$  - четкое множество видов полуфабрикатов, использующих одинаковые производственные мощности;  $U_l$  - семейства четких множеств видов полуфабрикатов, использующих для производства сырье вида  $l$ ;  $K_u$  - семейства четких множеств видов продукции, использующих для производства полуфабрикаты вида  $u$ .

Разработанная модель также справедлива для стратегии управления запасами с фиксированным объемом поставки  $q_l$  для сырья вида  $l$ . В этом случае объем поставки определяется выражением  $Y_{li} = N_{li} q_l$ , где  $N_{li}$  - число поставок объемом  $q_l$  на этапе  $i$ . В частном случае, при однопродуктовом производстве ( $k = 1$ ) модель (1) – (10) сводится к виду (11) – (18).

В результате решения оптимизационной задачи (1) – (10) определяются нечеткие множества объемов поставок  $Y_{li}$  сырья вида  $l$ , объемов  $X_{ui}^{n\phi}$ ,  $X_{ki}^{zom}$  производства и реализации  $R_{ui}^{n\phi}$ ,  $R_{ki}^{zom}$  полуфабрикатов и готовой продукции,

объемов запасов  $Z_{li}^c$ ,  $Z_{ui}^{n\phi}$ ,  $Z_{ki}^{zom}$  сырья вида  $l$ , полуфабрикатов вида  $u$ , готовой продукции вида  $k$ , а также прибыли  $\Pi$ .

Единственное решение  $\hat{y}_{li}$ ,  $\hat{x}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{x}_{ki}^{zom}$ ,  $\hat{r}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{r}_{ki}^{zom}$ ,  $\hat{z}_{li}^c$ ,  $\hat{z}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{z}_{ki}^{zom}$  определяется с помощью методов дефаззификации (метод центра тяжести, метод максимума и т.д.), поиска компромиссного решения с использованием критериев принятия решений (Гурвица, Байеса и т.д.), метода  $\alpha$  – среза.

$$\left\{ \begin{aligned} \Pi = \sum_{i=1}^n P_i^{n\phi} R_i - \sum_{i=1}^n (C_i^{np} + C_i^{m\phi}) X_i - \sum_{i=1}^n X_i^{xp.zom} Z_i^{zom} - \\ - \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n (P_{li}^{zak.c} + P_{li}^{mp}) Y_{li} - \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n C_{li}^{xp.c} Z_{li}^c - \sum_{i=1}^n C_i^{nocm} \rightarrow \max \end{aligned} \right. \quad (11)$$

$$X_i \leq M_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (12)$$

$$R_i = X_i + Z_{i-1}^{zom} - Z_i^{zom}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (13)$$

$$R_i \leq D_i; \quad Z_i^{zom} \geq z_i^{cmp.z}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (14)$$

$$Z_{li}^c = Z_{l,i-1}^c + Y_{li} - \lambda_l^c X_i; \quad Z_{li}^c \geq z_{li}^{cmp.c}, \quad l = \overline{1, r}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (15)$$

$$Y_{li} \leq S_{li}, \quad l = \overline{1, r}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (16)$$

$$Z_i^{zom} \leq v_i^{zom}; \quad Z_{li}^c \leq v_{li}^c, \quad l = \overline{1, r}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (18)$$

При наличии накопленной статистике исходными данными для моделей (1) – (10), (11) – (18) также могут являться прогнозные значения, либо доверительные интервалы, получаемые путем прогнозирования по определенному методу (классический анализ временных рядов, экспоненциальное сглаживание, построение уравнения регрессии и т.д.), либо интервалы, полученные из закона распределения случайной величины при заданной вероятности. В этом случае модели сводятся к решению задач интервального программирования.

**2. Разработана методика и алгоритмы формирования планов производства и реализации продукции с использованием теории нечетких множеств для описания динамики изменения неопределенных факторов среды, позволяющие, с учетом базовых стратегий управления запасами, сформировать эффективные решения по комплексному планированию процессов производства, реализации и управления запасами с целью обеспечения прибыльности производственно-экономической системы**

Для решения задачи планирования многопродуктового производства в условиях нечеткого описания факторов среды предлагается следующая методика, основанная на модели (1) – (10):

1. Определить интервал планирования, внутри которого выбрать  $n$  этапов,  $i = \overline{1, n}$ . Например, разбивка по месяцам, кварталам и т.д.

2. Определить ассортимент выпускаемой продукции из  $k$  видов, а также необходимые для их производства  $l$  видов сырья и  $u$  видов полуфабрикатов, нормы сырья и полуфабрикатов  $\lambda_{ul}^c$ ,  $\lambda_{ku}^{n\phi}$  для производства готовой продукции.

3. Определить страховые запасы  $z_{li}^{cmp.c}$ ,  $z_{ui}^{cmp.n\phi}$ ,  $z_{ki}^{cmp.z}$  сырья вида  $l$ , полуфабрикатов вида  $u$  и готовой продукции вида  $k$  на случаи ненадежности поставки, возникновения брака и т.д. Определить объемы складов сырья  $v_{li}^c$ , полуфабрикатов  $v_i^{n\phi}$ , готовой продукции  $v_i^{zom}$ .

4. На момент начала каждого этапа определить нечеткие переменные цен закупки  $P_{li}^{zak.c}$  и тарифов транспортировки  $P_{li}^{mp}$ , максимально возможных объемов поставок сырья  $S_{li}$  от поставщика. Определить остатки сырья  $Z_{l0}^c$  вида  $l$ , полуфабрикатов  $Z_{u0}^{n\phi}$  вида  $u$ , готовой продукции  $Z_{k0}^{zom}$  вида  $k$  на начало планового периода.

5. На момент окончания каждого этапа определить нечеткие переменные совокупных объемов спроса  $D_{ki}^{zom}$ ,  $D_{ui}^{n\phi}$ , производственных мощностей  $M_{ui}^{n\phi}$ ,  $M_{ki}^{zom}$ , цен продажи  $P_{ki}^{zom}$ ,  $P_{ui}^{n\phi}$ , переменных  $C_{ki}^{np.z}$ ,  $C_{ui}^{np.n\phi}$  и постоянных  $C_i^{nocm}$  производственных затрат, стоимости труда рабочей силы  $C_{ki}^{mpyd.z}$ ,  $C_{ui}^{mpyd.n\phi}$ , стоимости хранения запасов  $C_{li}^{xp.c}$ ,  $C_{ui}^{xp.n\phi}$ ,  $C_{ki}^{xp.zom}$  сырья вида  $l$ , полуфабрикатов вида  $u$  и готовой продукции вида  $k$ .

6. Зафиксировать дискретное множество  $\alpha$ -уровней,  $\alpha \in [0;1]$ . По каждому уровню из нечетких множеств, определенных в п. 5, 6 выбрать интервалы. Решить совокупность полученных интервальных задач математического программирования.

7. Из полученных решений составить по  $\alpha$ -уровням нечеткие множества объемов поставок сырья  $Y_{li}$ , объемов производства  $X_{ki}^{zom}$ ,  $X_{ui}^{n\phi}$  и реализации  $R_{ki}^{zom}$ ,  $R_{ui}^{n\phi}$  готовой продукции, запасов  $Z_{li}^c$ ,  $Z_{ui}^{n\phi}$ ,  $Z_{ki}^{zom}$  сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, а также критерия прибыли  $\Pi$ .

8. При помощи методов дефаззификации (метод центра тяжести, метод максимума и т.д.), либо поиска компромиссного решения с использованием критериев принятия решений (Гурвица, Байеса и т.д.), либо метода  $\alpha$  – среза определить единственное решение  $\hat{y}_{li}$ ,  $\hat{x}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{x}_{ki}^{zom}$ ,  $\hat{r}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{r}_{ki}^{zom}$ ,  $\hat{z}_{li}^c$ ,  $\hat{z}_{ui}^{n\phi}$ ,  $\hat{z}_{ki}^{zom}$  из каждого нечеткого множества  $Y_{li}$ ,  $X_{ki}^{zom}$ ,  $X_{ui}^{n\phi}$ ,  $R_{ki}^{zom}$ ,  $R_{ui}^{n\phi}$ ,  $Z_{li}^c$ ,  $Z_{ui}^{n\phi}$ ,  $Z_{ki}^{zom}$  соответственно.

9. Проанализировать результаты, принять решение к исполнению полученных планов производства и реализации, либо вернуться к п.2 и осуществить пересчет планов при других данных.

10. Принять планы производства и реализации к исполнению.

Результаты построения экономико-математической комплексной модели (1) – (10) и методики положены в основу алгоритма (рис. 4).

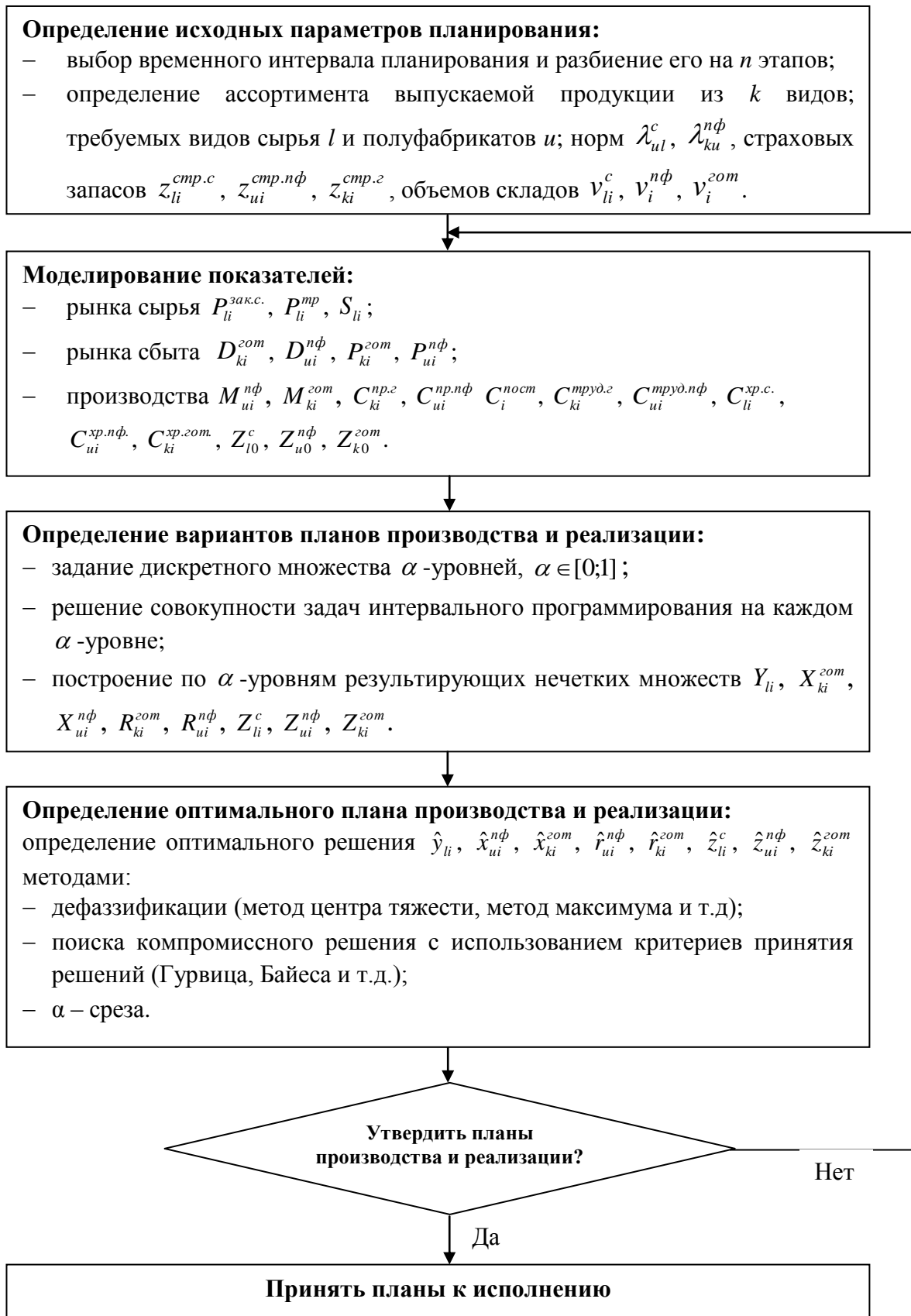


Рисунок 4 – Алгоритм формирования оптимальных планов производства и реализации



**3. Разработано программное обеспечение для поддержки принятия решений по планированию производства, реализации продукции и управлению запасами, отличающееся от существующих программ наличием инструментария для формирования эффективных планов производства в условиях наличия неопределенных факторов с использованием теории нечетких множеств, для описания которых используются треугольные функции принадлежности. На программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации. Программное обеспечение допускает интегрирование с информационной системой предприятия**

На основе моделей, методик и алгоритмов разработано программное обеспечение для поддержки принятия решений по планированию производства, реализации продукции и управлению запасами.

Программное обеспечение позволяет:

1. Осуществлять ввод (экспорт) исходных данных.
2. Формировать оптимальные планы поставок сырья, производства и реализации продукции, планы создания производственных запасов с учетом выбранной стратегии.
3. Представлять результаты расчетов в виде таблиц и диаграмм;
4. Экспортировать результаты в другие системы, например в электронную таблицу MS Excel.

Программное обеспечение основано на архитектуре клиент-сервер. Клиент представлен интерфейсом, разработанным на платформе J2SE (Java 1.6) при использовании фреймворков Swing, AWT и дополнительных библиотек, реализующих вспомогательный функционал. При реализации использован объектно-ориентированный подход, который позволяет представить процесс формирования планов производства и реализации в виде совокупности объектов определенных классов и в дальнейшем оперировать ими.

На стороне сервера используется сервер баз данных Oracle 11g. Для программного обеспечения разработаны концептуальная, логическая и физическая модели данных (рис. 5).

Процесс работы с программным обеспечением начинается с главного окна, в котором размещено навигационное меню. Навигационное меню содержит пункты «Модель», «Ведение данных», «Справка». При создании модели пользователю предлагается указать параметры и рассчитать план производства и реализации.

После выполнения расчета модели по кнопке «Расчет», план производства и реализации представляется в виде таблицы и диаграммы (рис. 6), также рассчитывается и отображается значение планируемой прибыли.

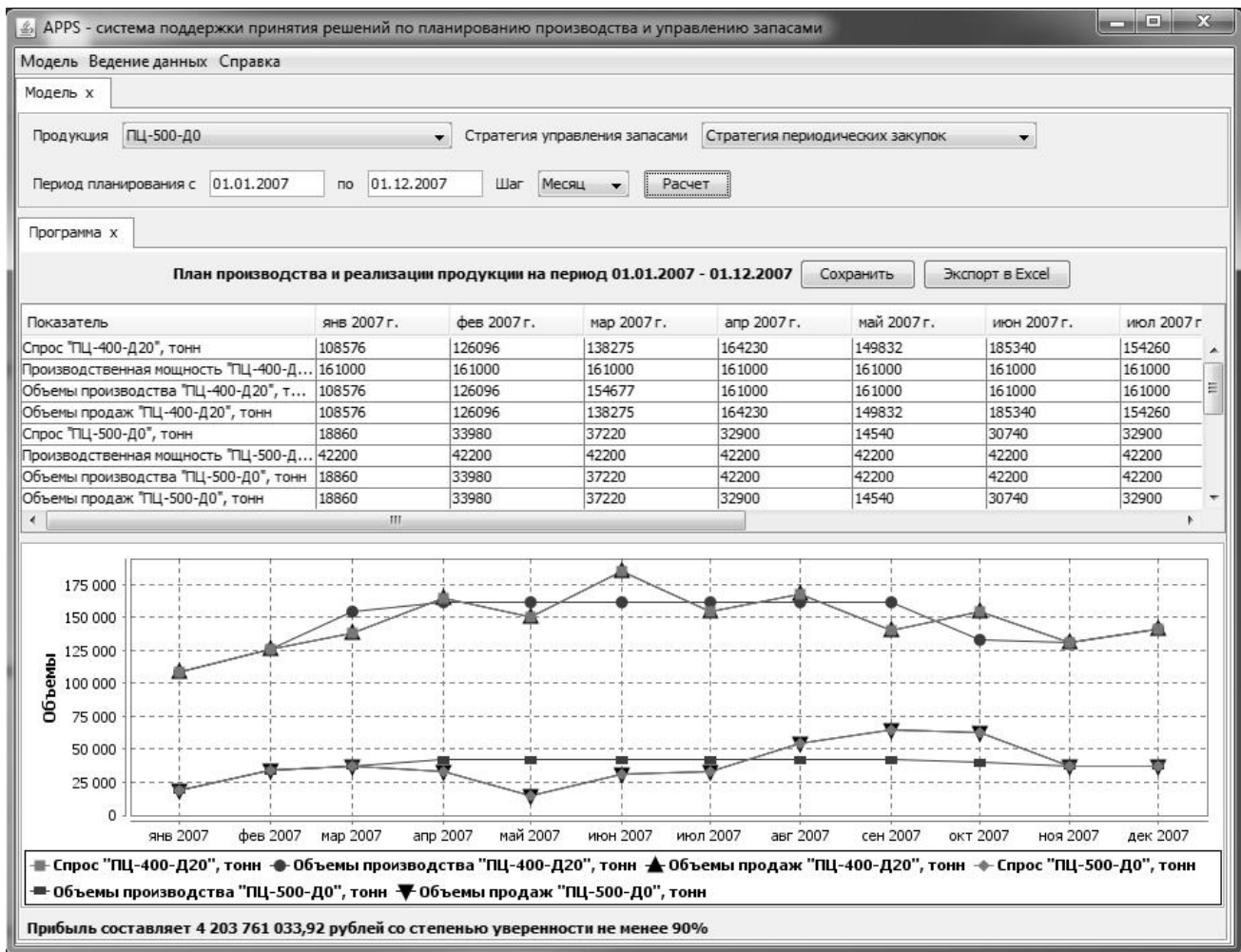


Рисунок 6 – Интерфейс программного обеспечения для поддержки принятия решений



## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В данном диссертационном исследовании рассмотрена актуальная для современной экономики задача разработки моделей и инструментальных средств для формирования объемных планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды. Для решения этой задачи разработаны соответствующие экономико-математические модели и инструментальные средства.

В ходе диссертационного исследования получены следующие результаты, имеющие научное и практическое значение:

1. Рассмотрены подходы к формированию планов производства и реализации продукции, представленные в научных трудах отечественных и зарубежных ученых. В рамках исследования определена совокупность различных факторов, оказывающих влияние на процессы функционирования производственно-экономических систем. Показано, что факторы неопределенности вынуждают искать единый подход к моделированию процессов управления производственными запасами и планирования производства и реализации продукции. Подход этот заключается в использовании теории нечетких множеств и нечетких отношений, позволяющей сформировать «нечеткую» модель оптимизации деятельности производственно-экономической системы.

2. Разработана модель формирования планов производства и реализации продукции на основе комплексного подхода к управлению запасами, планированию производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды по критерию максимизации ожидаемой прибыли. Модели позволяют оптимизировать план поставок сырья, уровень необходимых запасов, планы производства и реализации продукции по критерию максимума валовой прибыли, обеспечить согласованность этих планов.

3. Разработана методика и алгоритмы формирования планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды. Методика и алгоритмы позволяют сформировать эффективные решения по комплексному планированию процессов производства, реализации и управления запасами с учетом базовых стратегий управления запасами и с целью обеспечения прибыльности производственно-экономической системы. Полученная методика и алгоритмы могут быть рекомендованы для использования при планировании производства на промышленных предприятиях, а также для разработки программных комплексов.

4. Разработано программное обеспечение для принятия решений по планированию производства, реализации продукции и управлению запасами в условиях нечеткого описания факторов среды. Программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс расчета оптимальных планов производства и реализации, таблично и графически представить результаты расчетов для принятия обоснованного решения. На программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации. Программное

обеспечение допускает интегрирование с информационной системой предприятия.

5. Проведена апробация разработанных моделей и инструментальных средств на данных предприятия ОАО «Горнозаводскцемент». Расчет планов производства и реализации продукции на исторических данных предприятия показал возможность повышения ожидаемой прибыли предприятия на 32%.

Данные выводы соответствуют поставленным задачам и на этом основании можно считать, что цель диссертационного исследования достигнута. В качестве дальнейших направлений исследования можно отметить разработку моделей многокритериальной оптимизации, имитационное моделирование процесса формирования планов производства и реализации продукции в условиях нечеткого описания факторов среды.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

### *Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Скирюк О.С., Файзрахманов Р.А. Разработка и анализ однопродуктовых динамических моделей формирования оптимальной производственной программы в условиях детерминированного описания среды // Вестник Пермского университета. – 2011. – Вып. 4 (11). – С. 64–73.

2. Скирюк О.С. Модели формирования оптимальной производственной программы с учетом стратегий управления запасами и полной неопределенности среды предприятия // Научное обозрение: экономика и управление. – 2012. – № 4. – С. 77–87.

3. Скирюк О.С. Разработка моделей формирования оптимальной производственной программы с учетом стратегий управления запасами и вероятностной неопределенности спроса // Научное обозрение: экономика и управление. – 2012. – № 4. – С. 88–98.

4. Файзрахманов Р.А., Скирюк О.С., Альмухаметов В. Разработка однопродуктовых динамических моделей формирования оптимальной производственной программы в условиях вероятностного описания среды // Вестник Орловского государственного университета. Серия: Новые гуманитарные исследования. – 2012. – № 4. – С. 174–176.

### *В других изданиях*

5. Файзрахманов Р.А., Скирюк О.С. Анализ стратегий закупок в ситуации неполного удовлетворения спроса поставщиком // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: Материалы краевой научно-технической конференции. – Пермь: ПГТУ, 2010. – С. 144–148.

6. Файзрахманов Р.А., Скирюк О.С. Метод определения эффективности стратегий закупок с учетом возможностей предприятия на основе расчета затрат, связанных с запасами // Вестник ПГТУ: Электротехника,

информационные технологии, системы управления. – Пермь: ПГТУ, 2010. – № 4. – С. 148–154.

7. Файзрахманов Р.А., Скирюк О.С. Разработка однопродуктовых динамических детерминированных моделей оптимальной производственной программы с учетом сезонности продаж, производственных и сырьевых ограничений // Вестник ПГТУ: Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: ПГТУ, 2011. – № 5. – С. 45–52.

8. Файзрахманов Р.А., Скирюк О.С. Методика формирования и оценки оптимальной производственной программы на основе прогноза спроса // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: Материалы краевой научно-технической конференции. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – С. 184–188.

9. Файзрахманов Р.А., Скирюк О.С. Разработка комплексных моделей формирования оптимальной производственной программы в условиях полной неопределенности спроса // Вестник ПНИПУ: Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – № 6. – С. 25–30.

10. Скирюк О.С. Формирование оптимальной производственной программы в современных условиях России: проблемы и решение их при помощи экономико-математических методов // Инвестиционная экономика: проблемы, поиски, решения: Сборник научных статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: Издательство «КультИнформПресс», 2012. – С. 116–119.

11. Скирюк О.С. Экономико-математические методы и модели планирования производства в условиях неопределенной среды предприятия // Инновационная модель экономики и развитие промышленности (ИНПРОМ-2013): труды Международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – С. 144–148.

12. Скирюк О.С. Многопродуктовые нечеткие модели формирования оптимальной производственной программы с учетом стратегий управления запасами // Материалы III Международной научно-практической конференции. – Краснодар: НИЦ «Априори», 2013. – С. 64–70.

13. Скирюк О.С. Многопродуктовые стохастические модели формирования оптимальной производственной программы с учетом стратегий управления запасами // Материалы XIII международной заочной научно-практической конференции. – М.: Издательство «Международный центр науки и образования», 2013. – С. 161–169.

14. Скирюк О.С. Система поддержки принятия решений по планированию производства и управлению запасами // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – № 2013616516 от 10.07.2013.

СКИРЮК Олег Святославович

МОДЕЛИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА  
ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА И РЕАЛИЗАЦИИ  
ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОГО ОПИСАНИЯ  
ФАКТОРОВ СРЕДЫ

Специальность 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы  
экономики»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/16  
Бумага офсетная. Печать ризографическая. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_  
Гарнитура «TimesNewRoman». Отпечатано в типографии  
«ПЕЧАТНЫЙ ДОМЪ» ИП ВЕРКО.  
Объем 1 п.л. Уфа, Карла Маркса 12, корп. 5.  
т/ф: 8(347) 27-27-600, 27-29-123